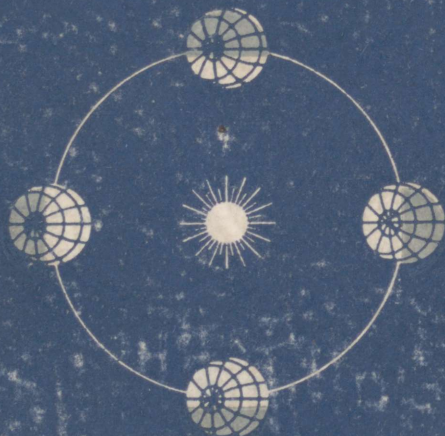


A-18500  
B. Vorontsov-Veljaminov

# ASTRONOOMIA



Eesti Riiklik Kirjastus

A-18500

PROF. B. A. VORONTSOV-VELJAMINOV

*Sundeksemplar*

6 " 07 ..... 1950 a.

# ASTRONOOMIA

ÕPIK

KESKKOOLI XI KLASSILE



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1950

Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt kinnitatud.

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

8177

ARHIIVKOGU

## Sissejuhatus.

§ 1. **Astronoomia aine.** Astronoomia uurib taevakehade ja nende süsteemide liikumist, ehitust ning arengut. See on vanim kõikidest teadustest: tema algeid leiame juba Aafrika ja Aasia kultuurrahvaste juures, kes elasid mitu tuhat aastat tagasi. Juba esimesed taeva vaatlejad panid tähele, et Päikese ja tähtede asukohtade järgi võib määrata aega. Näiteks päeva keskmomendil, keskpäeval, on Päike sel päeval taevas kõige kõrgemas asendis.

Kuu väliskuju („näo”) muutumise põhjal (sirp, täisketas jne.) ning teiste taevakehade asetuse järgi taevavõlvil on võimalik mõõta suuri ajavahemikke, võib teha kindlaks aasta-aegade vahetuse perioodilisust ning kestust, s. o. koostada kalendrit. Rändrahvad õppisid tähtede järgi määrama neile vajalikku liikumissuunda. Seda laadi teadmisi kasutasid reisijad, eriti meresõitjad.

Neid eesmärke teenindab astronoomia ka meie ajal. Tähti kasutatakse lennukite ja laevade kursi ning asendi määramiseks. Raadio kaudu edasiantav täpne aeg määratakse astronoomide poolt taevakehade vaatluste põhjal. Ilma taevakehade vaatluseta poleks olnud võimalik koostada ka täpseid geograafilisi kaarte.

Astronoomia tekkis inimese praktiliste vajaduste alusel ning arenes koos nendega.

Vaadeldes igapäevast Päikese tõusu ja loojangut ning näivat tähtede liikumist horisondi suhtes, arvasid inimesed, et kõik taevakehad tõepoolest liiguvad ümber liikumatu Maa.

Maapealne ja taevane eraldati teravasti üksteisest. See ekslik kujutus kummutati astronoomia arengukäigus. Astroonoomia järk-järgult tegi kindlaks maailma tõelise ehituse.

Jõuti selgusele, et Maa on samuti taevakeha nagu teisedki taevakehad, et ta nende hulgas millegi poolest eriliselt välja ei paista, et Maa ja temaga sarnased taevakehad — planeedid liiguvad ümber Päikese, et tähed on meie Päikesega sarnased taevakehad, s. o. koosnevad hõõguvast gaasist, ja on mõõteilt Maast hoopis suuremad, sageli koguni kolossaalselt ületavad mõõteilt meie määratu suurt Päikest.

Kauge mineviku inimeste eksiarvamustel põhinevad varemad naiivsed kujutlused maailmast on peegeldunud usulistes õpetustes. Nende õpetuste järgi maailm on loodud jumala või jumalate poolt ja nagu püsiks muutumatus olekus. Maailma tõelise ehituse avastamine näitas inimestele, et maailm tõepoolest pole sugugi selline, millisena teda kujutatakse nn. „pühades” raamatutes.

Lahti öelnud vanadest eksiarvamustest, asusid teadlased julgesti looduse tundmaõppimisele, ning ei arvestanud enam vanu eelarvamusi. Tundes looduse seadusi, said inimesed võimaluse teda alistada, sundisid teda ennast teenima. Täpselt teades selliste taevanähtuste põhjusi nagu päikesevarjutused, komeetide ilmumine jt., lakkasid inimesed tundmast ebausklikku hirmu nende ees. Maailma tõelise ehituse mitte-tundmisel põhinev ebausik hävis ja ta võib püsida ainult mahajäänud inimeste juures, kes ei tunne maailma ehitust.

Ilma astronoomia aluste teadmiseeta ei saa omada eesrindlikku teaduslikku maailmavaadet.

Teadus taevakehadest jutustab meile, et on olemas taevakehi, mis pole meie Maaga sugugi sarnased, et mitte üksi Maa võib olla asustatud elavate olenditega, et maailmas kõik muutub looduse seaduste järgi, et maailm on igavene, et ta pole kunagi loodud, samuti ei lakka kunagi olemast.

Uurides astronoomiat me saame teada planeetidest — teistest Maadest, mis on ümbritsetud paljude kuudega, kaugetest tähtedest ja tähtede parvedest, mis on sedavõrd kaugel, et valgus, levides kiirusega ligi 300 000 km sekundis, on neist meieni teel aastaid, aastatuhandeid ja koguni miljoneid aastaid. Me saame teada, et on olemas tähti, millede aine on sajad korrad raskem kui seatina või elavhõbe, kuigi nende keemiline koostis on ühesugune meie Maaga. Kõrvuti nendega on olemas taevakehi, mis koosnevad gaasist, mis on tuhandeid kordi hõredam õhust.

Astronoomia andmed on kasulikud teiste teaduste arenguks, milledest mõned, näiteks füüsika, on aluseks inimeste tehnika arenemisele. Abistades teisi teadusi, kasutab astronoomia ise ka nende abi. Füüsikud aitavad astronoomidel leiutada uusi viise taevakehade uurimiseks, matemaatikud annavad uusi paremaid viise mitmesugusteks arvutusteks, milleta astronoomia ei saa läbi, jne.

Astronoomid sageli aitavad ajaloolastel kindlaks määrata, millal vanasti toimusid mõned sündmused. Näiteks oli teada, et vanas Kreekas ühe lahingu ajal (meedlaste ja lüüdiaste vahel) toimus haruldane nähtus — täielik päikesevarjutus. Astronoomid mõistsid välja arvutada, millal see toimus, ja nii saadi kindlaks määrata selle ajaloolise sündmuse aeg.

Astronoomia põhineb taevanähtuste vaatlustel. Ilma selliste vaatlusteta pole võimalik astronoomiast korralikult aru saada. Seepärast iga õpilane peab tutvuma põhiliste taevaste nähtustega ja sagedamini tähelepanelikult vaatlema tähistaevast, püüdes ise näha seda, millest kõneldakse õpikus. Paljusid neist nähtusist pole võimalik märgata, ühe korraga: nad selguvad alles mitmel ajal toimetatud vaatluste üksteisega võrdlemisel. Astronoomia õpib loodust tundma tema grandioossetes avaldustes ja see tundmaõppimine jääb raamatuliseks ning surnuks, kujutlused ebaselgeiks ja ebakindlaiks, kui ta ei põhine isiklikel kogemustel.

Lugege sagedamini suurt looduse raamatut — tähistaevast, mis alati laotub teie peade kohal.

## I JAGU.

# LIHTSAMAD TAEVANÄHTUSED JA MAA.

### I peatükk.

## Taevaskera.

Selles peatükis käsitletakse lihtsamaid taevanähtusi nii, nagu me neid näeme, nagu nad meile paistavad. Hiljem me saame teada, kuidas need nähtused toimuvad tõeliselt. Näiteks siin me kõneleme tähtede ja Päikese tõusust ning loojangust, kuigi need nähtavad, näivad ilmungid on tõeliselt esile kutsutud Maa pöörlemisest ümber telje.

**§ 2. Taevavõlv ja tähtkujud.** Kus me ka seisaksime lagedas kohas (põllul, stepis või merel), ikka näib taevas — olgu ta pilves või selge — meie pea kohale kummutatud kuplina. See taevakuppel ehk taevavõlv on päeval selge ilmaga helesinine, sompus ilmaga hall, aga selgel ööl näib olevat üle puistatud tähtedega.

Siis paistab Maa meile ringina, mille keskel me seisame ja mille ääred mööda horisonti nagu puutuvad kokku taevavõlviga. Me teame, et taevas Maaga tõepoolest kokku ei puutu ja et horisondijoon — see on vaadeldava maapinnaosa nähtav piir. Samuti ka taevavõlvi kui taevakuplit tõepoolest pole olemas. Taevakehad, s. o. Päike, Kuu ja tähed, ainult näivad asetatuna taevavõlvil — kõik nagu ühesugusel kaugusel meist. Tõeliselt aga on kõik need taevakehad meist väga erinevais ja väga suurtes kaugustes.

Taeva helesinine värv päeval tuleb sellest, et Maa õhkkond, mis ümbritseb maakera, hajutab teda läbivat päikesevalgust igas suunas. Kuid nagu teada, koosneb valge päikesevalgus kõigi vikerkaarevärvide segust, millest õhk hajutab helesiniseid kiiri suuremal määral kui teisevärvilisi kiiri. Seetõttu õhk nagu „värvub” helesiniseks.

Mida kõrgemale tõusta maapinnast, seda väiksem osa õhkkonnast jääb vaateleja pea kohale ja seda nõrgemalt hajutab ta päikesevalgust. Sealt (näiteks õige kõrge mäe tipust, lennukilt või stratostaadilt) paistab taevas hoopis tumedamana ja temal võib näha kõige heledamaid tähti koguni päeval. Teleskoobis samuti paistab taevas päeval tumedamana kui palja silmaga vaadates. Teleskoobiga võime tähti näha ka päeval. Järelikult, kui me päeval taevavõlvil tähti ei näe, siis ainult seetõttu, et neid takistab nägemast Maa õhkkonna poolt hajutatud päikesevalgus. Täieliku päikesevarjutuse ajal läheb taevas tumedaks ja tähti võib näha palja silmaga.

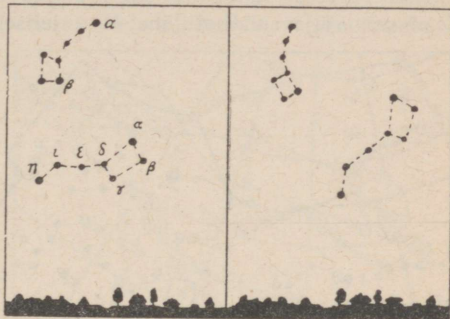
Meile näib, et öisel taevalaotusel säravaid tähti on arvult palju ja otse võimatu on neid üksikult tunda. Siiski tähelepanelikult taevast silmitsedes me veendume selles, et tähti polegi nii palju ja et neis orienteeruda polegi nii raske. Normaalnägemise puhul on korraga horisondi kohal näha mitte üle 3000 tähe.

Kogu tähistaevas on jaotatud piirkondadeks. Neid tähistaeva piirkondi nimetatakse tähtkujudeks.

Juba muistsed taeva vaatejad tuhandeid aastaid tagasi jaotasid tähistaeva piirkondadeks, milledes nad täiesti meelevaldselt rühmitasid tähed mitmesugusteks fantastilisteks kujunditeks — tähtkujudeks. Nad andsid neile täherühmadele (tähtkujudele) nimetused, mis on säilinud kuni meie päevini. Enamik sellistest nimetustest kõlavad meile nüüd imelikena, sest tähtkujud kannavad esemete ja olendite nimed, milledega tähtede paigutusel sageli ei ole midagi ühist.

Real juhtudel need nimetused olid seotud mitmesuguste muistsete legendidega.

Nii näiteks rühm tähtkujusid: Tsefeus, Kassiopéja, Perséus, Andróméda, Pegasus ja Lohe — on seotud vana-kreeka müütidega. Nende müütide järgi keisril Tsefeusel ja tema abikaasal Kassiopejal oli tütar — kaunitar Androméda. Keiser oli sunnitud andma teda merekoletisele Lohele puruks kiskuda. Legendaarne sangar Perseus, kes samal ajal oma tiivulisel ratsul Pegasusel lähedalt mööda lendas, võitis koletise ja päästis Androméda. See näide selgitab mõnede tähtkujude nimetuste tekkimist ja nende seost halli minevikuga.



Joon. 1. Suure Vankri ja Väikese Vankri tähtkujud mitmesuguseis asendeis horisondi suhtes.

Taevavõlvil eraldatakse kokku 88 tähtkuju. On küllalt, kui tunneme ja oskame leida taevavõlvil mõningaid neist, mis sisaldavad heledaid tähti. Tähtkujude ülesleidmise hõlbustamiseks ühendatakse mõttes nende kõige heledamad tähed sirgjoonte abil nõnda, et saadakse lihtsad geometrilised kujundid või skemaatilised joonised.

§ 3. Tähtkujude ülesleidmine taevas. Kõige enne peab igäüks oskama üles leida taevas Suure Vankri (Suure Karu) tähtkuju. Seda iseloomustavad seitse heledat tähte. Neid võib mõttes ühendada sirgloikudega nõnda, et saame kopa või käepidemega kastruli pildi (joon. 1). Tuleb aga silmas pidada, et vahel „kastriuli“ käepide on suunatud vasakule, vahel üles või alla, vahel aga see „kastriul“, kui ta on nähtav meie pea kohal, on kummutatud „põhjaga ülespidi“.

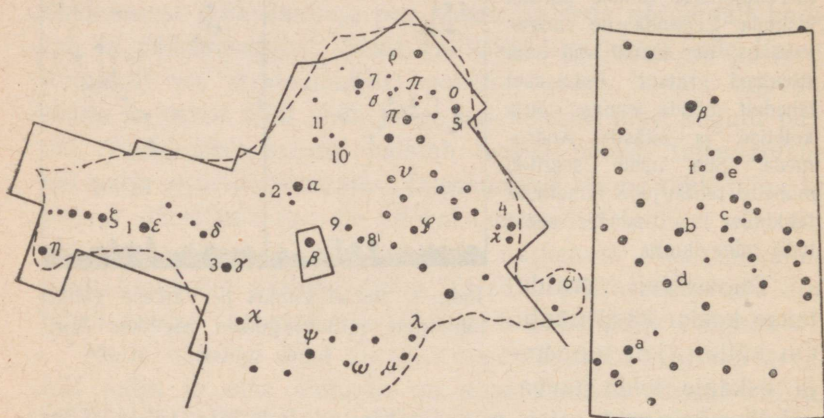
Joonisel 2 on kujutatud osa tähistaeva nüüdisaegsest kaardist Suure Vankri tähtkuju piirkonnas.

Joonisel 3 on toodud vanaaegne tähekaart, millel peale tähtede on joonistatud selle looma kaju, mille nime tähtkuju kannab.

Lähtudes Suure Vankri tähtkujust leidke Väikese Vankri (Väikese Karu) tähtkuju. Selle 7 peatähte (vähem heledad kui Suure Vankri

tähed), kui neid mõttes ühendada sirglõikudega, nagu näidatud joonisel 1, samuti moodustavad kopa, ainult suuruselt väiksema. Kõige heledam täht selles tähtkujus („kopa“ käepideme lõpul) kannab Polaartähe ehk Põhjanaela nime.

Põhjanaelast teisel pool, Suure Vankri poolt vaadatuna, umbes samas kauguses, on laotunud Kassiopeja tähtkuju. Teda iseloomustavad 5 küllalt heledat tähte, mis on asetatud tähe W või kummuli keeratud ja aluselt väljavenitatud tähe M kujuliselt.



Joon. 2. Suure Vankri tähtkuju. Vasakul on kujutatud tähistaeva kaardi piirkond tähtkujude nüüdisaegsete (pidevad jooned) ja endiste (punktiirjooned) piiridega. Ringikeste suurused vastavad tähtede heledustele. Paremäl on kujutatud suuremas mõõdus selle tähtkuju tähe  $\beta$  ümber oleva piirkonna kaart, see sisaldab nõrgemaid tähti kui need, mis on kantud vasakpoolsele kaardile.

Kassiopeja all asetseb Andromeda ja Pegasuse tähtkuju. Mõlemal pool joonest, mis ühendab Suurt Vankrit Kassiopejaga, asetsevad Luige, Lüüra ja Kotka (ühelt poolt) ning Veomehe, Kaksikute, Sõnni, Orioni, Suure Peni ja Väikese Peni tähtkujud (teiselt poolt).

Iga õpilane peab oskama nimetatud tähtkujusid taevast üles leida, pidades meeles nende heledate tähtede iseloomulikku asetust. Need tähtkujud on näidatud joonistel 4, 5 ja 6.

Tähtkujusid on hõlpsam taevast üles leida sellisel õhtul, mil seda ei sega Kuu hele valgus. Tuleb silmas pidada, et mõned tähtkujud (loendatute hulgast mõlemad Vankrid ja Kassiopeja) on nähtavad tae-

vas alati. Teised tähtkujud on vahel nähtavad, vahel aga asuvad horisondi all. Peale selle omab iga tähtkuju erinevail kellaegadel ja erinevail aastaegadel horisondi suhtes erinevat asendit. Tähtkujude hõlpsamaks leidmiseks on eriti sobiv liikuv taevakaart, sest ta näitab tähtkujude asetust horisondi ja ilmakaarte suhtes iga päeva ning kellaaja kohta aastas (vt. lisa VII).

Tähtkujude ülesleidmise hõlbustamiseks tuleb järjest üle minna ühelt juba tuttavalt tähtkujult teisele veel tundmatule. Seejuures tuleb

tähele panna, millises suunas tuttavast tähtkujust arvates asub see tähtkuju, mida me otsime. Tuleb panna tähele tähtede suhtelist heledust, mis on kaartidel märgitud mitmesuguses suuruses ringikeste abil. Milliste joontega on sobiv tähti omavahel ühendada, see on kaardil näidatud, kuigi see osutub puht-kokkuleppeliseks võtteks.



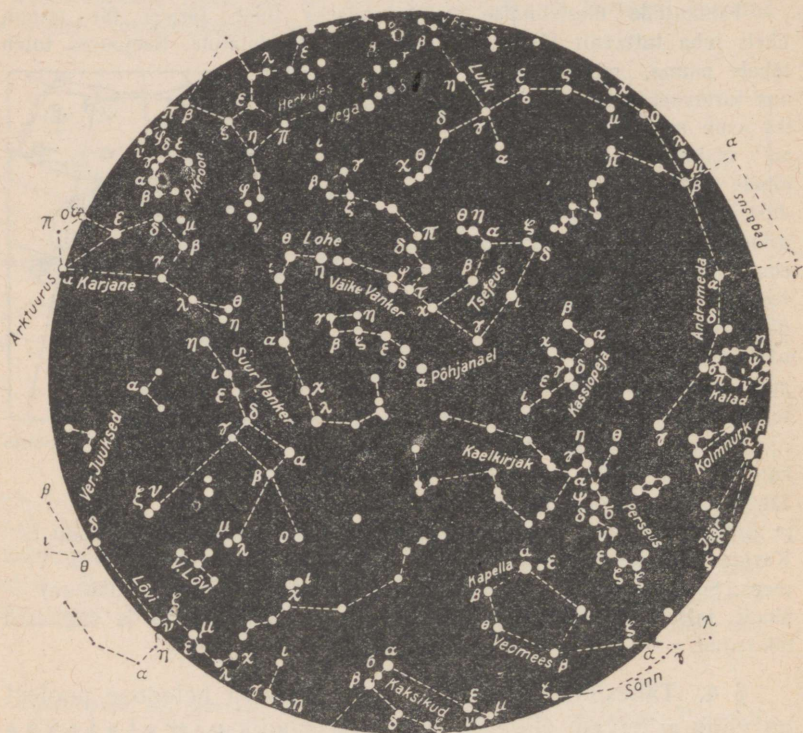
Joon. 3. Suure Vankri tähtkuju joonis vanaaegsel tähekaardil.

Eespool mainitud tähtkujudest on Lüüra (heleda tähega, nimega Veega), Luik ja Kotkas (tähega Altaïr) suvel nähtavad õhtuti, sügisel aga kogu öö; Karjane (Bootes) — heleda tähega Arktuurus — kevadel ja suvel; Veomees, Sõnn, Orion ja Suur Peni (Siiriusega, taeva heledaima tähega) — ainult talvel; Perseus, Andromeda ja Pegasus on suvised ja sügised tähtkujud.

**§ 4. Tähesuurused.** Tähed oma nähtava heleduse poolest on väga erinevad. Õige vanast ajast saadik nimetatakse kõige heledamaid tähti esimese suuruse tähtedeks. Tähti  $2\frac{1}{2}$  korda nõrgema heledusega nimetatakse teise suuruse tähtedeks jne. Kõige nõrgemad tähed, mis on terava silmaga nähtavad kuuvalguseta ööl, on kuuenda suuruse tähed. Oma heleduselt on nad 100 korda nõrgemad esimese suuruse tähtedest.

Sissejuurdunud vanaaegne nimetus „tähesuurus“ ei oma

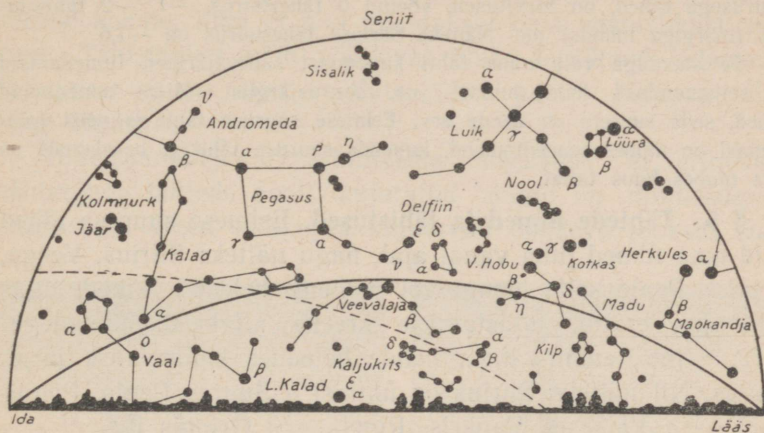
midagi ühist geomeetriliste moodsedega, tähe tõelise suurusega. Mõiste „tähesuurus” iseloomustab tähtede heledust. Mida nõrgema heledusega on



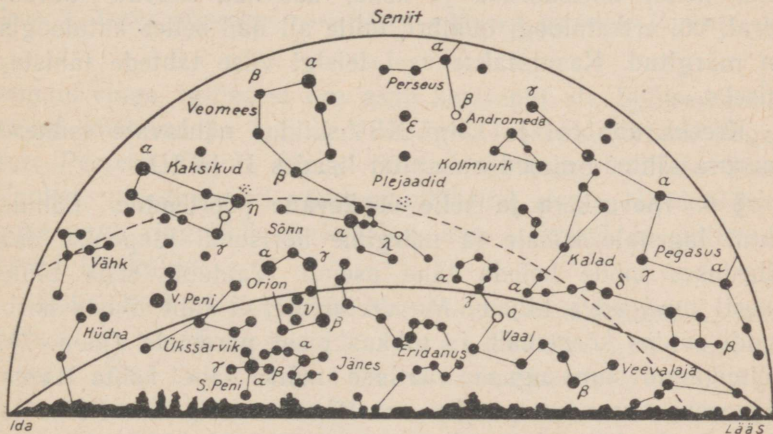
Joon. 4. Põhja-tähistaeva tähtkujud Põhjanaela ümbruses.

täht, seda suurema arvuga väljendatakse ta tähesuurus (heledusjärk). See on analoogiline näiteks sellega, kui mõnedest viljadest kõige suuremad kuuluvad esimesse sorti, väiksemad teise jne.

Suure Vankri seitsmest peamisest tähest koos ja Põhjaneal on teise suuruse tähtede näiteks. Esimese suuruse tähtede näiteks on Arktuurus, Altair.



Joon. 5. Taeva lõunapoolse osa tähtkujud 23. septembril kl. 22 paiku (NSV Liidu keskmistel laiustel).



Joon. 6. Taeva lõunapoolse osa tähtkujud 22. detsembril kl. 22 paiku (NSV Liidu keskmistel laiustel).

Tähtede heleduse täpse mõõtmise nõudel on tarvitusele võetud vahepealsed murrulised tähesuuruste tähistused, näiteks: 1,2 või 5,9. Taevakehade jaoks, mis on heledamad kui võrdlusaluseks võetud 1,0 suurusega tähed, on tarvitusele võetud 0 tähesuurus,  $-1$ ,  $-2$  tähesuurus (märgiga miinus) jne. Näiteks Siiriuse tähesuurus on  $-1,6$ .

Teleskoobiga võib näha tähti kuuendast suurusjärgust tumedamaid — seitsmendast, kaheksandast jne. suurusjärgust. Mida tumedamad tähed, seda suurem on nende arv. Esimese suuruse tähti ja neist heledamaid on umbes paarkümmend, kuuenda suuruse tähti ja heledamaid on aga umbes kuus tuhat.

**§ 5. Tähtede nimed ja tähistused.** Esimese suuruse tähed said oma nimed juba vanal ajal, nagu näiteks Siirius, Veega, Altair. Peale selle enam või vähem heledad tähed, igas tähtkujus eraldi, tähistatakse kreeka alfabeedi tähtedega:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  jne., enam-vähem nende heleduse kahanemise järjekorras. Nii näiteks Siirius on ühtlasi  $\alpha$  Suures Penis, Põhjanael —  $\alpha$  Väikeses Vankris, Rigel —  $\beta$  Orionis jne.

Paljud tähed tähistatakse ka ladina alfabeedi tähtedega. Lõpuks kõigi tähtede, nende hulgas ka õige nõrkade kohta, millede jaoks alfabeedi tähti loomulikult ei jätkuiski, võib anda nende tähesuuruse ja koha, kus nad asuvad taevaskeral, või erikataloogi numbri, mille all nad selles kataloogis on märgitud. Kasutatakse veel teisigi viise tähtede tähistamiseks.

Kreeka alfabeet ja kõigi NSV Liidus nähtavate esimese suuruse tähtede nimed on antud lisades II ja III.

**§ 6. Taevaskera ja selle ööpäevane pöörlemine.** Lähme õhtul lagedale kohale ja märgime horisondi idapoolse osa läheduses mõne heleda tähe asendi. Vaatame seda tähte uuesti tund aega hiljem. Me veendume, et täht tõusis horisondi suhtes kõrgemale ja nihkus pisut paremale (joon. 7). Toimetanud samasuguse vaatluse mõne tähe kohta taeva lääneosas, veendume selles, et tähed samuti kui Päike ja Kuu tõusevad horisondi idaosas, saavutavad suurima kõrguse taeva lõunaosas ja seejärel loojuvad horisondi lääneosas.

Järgmisel päeval nad toimivad samal viisil, nähtavasti tehes ühe ööpäeva jooksul täisringi mööda taevast.

Selle ööpäevase pöörlemise juures nihkuvad kõik tähed teisele kohale, ilma et nad muudaksid oma vastastikust asetust. Tähistaevas näib pöörlevat ühtse tervikuna kellaosuti liikumise suunas (kui vaadata lõuna poole) kiirusega üks ring ööpäevas.

Tähelepanelikumalt silmitsedes märkame, et erinevate tähtkujude tähtede poolt kujutatud ringid on mitmesuguse suurusega. Ühed tähtkujud kujutavad ööpäeva jooksul suu-



Joon. 7. Taeva idapoolses osas tähed nihkuvad paremale ja ülespoole.

remaind ringe, milledest osa asub horisoni all. Sellised tähtkujud tõusevad ja loojuvad ööpäeva jooksul, näiteks Pegasus, Perseus, Orion, Sõnn. Teised tähtkujud, näiteks Suur Vanker, moodustavad väiksemamõõtelisi ringe. Nende liikumise kogu ring jääb horisoni kohale — need on mitteloojuvad tähtkujud.

Kõik tähed näivad meile ühes ning samas kauguses. See pärast on kohane tähti vaadelda tingimisi, nagu asetseksid tähed meelevaldse raadiusega kujutatud kera sisepinnal, taevaskeral, mille keskpunktis asub vaatleja silm.

Tähtede tõelised kaugused meist on väga mitmesugused

ja me saame neid määrata ainult väga täpsete mõõtmiste ja arvutuste teel. Silm aga seda kauguste erinevust põrmugi ei märka ning sellised nähtused nagu tähtede tõus ja loojang ei sõltu nende kaugusest meist. Me kasutame taevaskera mõistet lihtsamate, nähtavate taevanähtuste, näiteks selliste kui taevakehade tõus ja loojang, tundmaõppimise hõlbustamiseks. Teame ju, et tõeliselt pole olemas ei taevavõlvi kui kindlat kuplit meie kohal, ega mingisugust reaalselt taevaskera. Vanasti aga võeti seda taevaskera mitte matemaatilise mõistena, nagu teeme seda meie, vaid tõeliselt eksisteeriva kristallist sfäärina.

Mõeldes tõusust, loojangust ja teistest sellistest nähtustest, me arvestame ainult suunda, millises tähed paistavad (näiteks horisondi lähedal, pea kohal jne.); seepärast on ükskõik, millise raadiusega taevaskera me endale kujutleme. Joonisest 8 selgub näiteks, et milline tahes täht, mis paistab vaatlejale mingisuguses suunas, on nähtav selles suunas hoolimata sellest, millisel sfääril me teda ka kujutleksime: kas sfääril raadiusega  $R_1$  või sfääril raadiusega  $R_2$ . Seepärast kõneldaksegi, et taevaskera omab määramatut ehk meelevaldset raadiust.

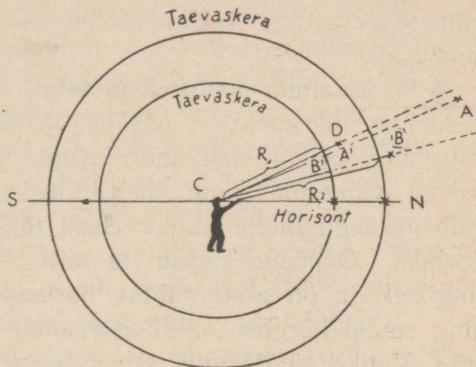
**§ 7. Nurga mõõtmised.** Eeldades, et kõik taevakehad tingimisi on asetatud taevaskeral (õigemini — me projekteerime nad sellele), võime mõõta ainult nurki vaatesuundade vahel, millistes me neid taevakehi näeme. Neile nurkadele vastavad taevaskeral ringi kaared.

Näiteks (vt. joon. 8) me kõneleme, et tähed  $A$  ja  $B$  asuvad taevaskeral üksteisest  $23^\circ$  kaugusel, kui nurk nende tähtede vaatesuundade  $CA$  ja  $CB$  vahel ( $\angle ACB$ ) on  $23^\circ$ . Taevaskeral sellele nurgale vastab kaar  $A'B'$ , mille suurus on samuti  $23^\circ$ . Täht  $A$  võib olla meist hoopis kaugemal kui täht  $D$ , kuid kui nad mõlemad paistavad peaaegu ühes ning samas suunas, siis me ütleme, et taevaskeral täht  $D$

on märksa lähemal tähele *A* kui tähele *B*, kuigi ruumis  
 joonkaugus (näiteks km-tes) *D*-st *A*-ni võib olla tunduvalt  
 suurem.

Analoogiliselt sellele Päike ja Kuu omavad peaaegu ühe-  
 suurust nähtavat nurkdiameetrit — umbes pool kraadi, kuigi  
 Kuu on tõepoolest Päikesest hoopis väiksem. See-eest aga  
 on ta meile sama palju kordi lähemal kui Päike ja seetõttu  
 näib viimasega nurkdiameetritl ühesuurusena. Mõttetu on

võrrelda Kuu nähta-  
 vat nurkdiameetrit  
 kopika või taldrikuga,  
 kui viimased pole ase-  
 tatud mõnesugusele  
 kindlale kaugusele.  
 Tõepoolest, väljasiru-  
 tatud käe kaugusel  
 kopikas katab ainult  
 Kuu, kuid kopikat sil-  
 male lähemale tuues  
 võime temaga var-  
 jata kogu maailma.  
 Kuud võib võrrelda  
 kopikaga, kui lisan-



Joon. 8. Taevakehade projekteerimine taevaskerale.

dada — milliselt kauguselt me seda kopikat vaatleme.  
 Samuti on mõttetu väljendused nagu: „Kuu tõusis hori-  
 sondist pool meetrit kõrgemale” või „Taevaskeral kaugus  
 ühelt tähelt teiseni oli 2 meetrit”. Nii siis taevaskeral  
 võib toimeta da ainult nurga mõõtmisi. Kui  
 kõneldakse taevakeha kõrgusest, siis selle terminiga (oskus-  
 sõnaga) tähistatakse tema nurkkaugust horisondist. Näiteks  
 taevakeha *B* kõrgust (vt. joon. 8) mõõdetakse nurgaga *BCN*.

Kui ajada põial ja nimetissõrm laiali ja sirutada käsi  
 välja, siis näeb täiskasvanud inimene nende sõrmede otste-  
 vahelist kaugust umbes  $16^\circ$  nurga all. Sellise „nurk-kvad-

randiga" võib toimetada nurkade mõõtmist taevaskeral muidugi väga ligikaudselt. Samuti on hea meeles pidada, et Suure Vankri tähtede  $\alpha$  ja  $\beta$  vaheline nurkkaugus on  $5^{\circ}$ ; Suure Vankri  $\alpha$  ja  $\delta$  vahel, samuti selle tähtkuju  $\beta$  ja  $\delta$  ning  $\delta$  ja  $\zeta$  vahel  $10^{\circ}$ , Suure Vankri  $\alpha$  ja Põhjanaela vahel aga ligi  $30^{\circ}$  (täpsemalt  $28^{\circ}$ ).

Eriliste astronoomiliste riistade abil on võimalik mõõta nurkkaugusi täpsusega kuni  $0,01''$ . Võrdlusnäitena märgime, et nurga all  $0,01''$  paistab tuletiku paksus kauguselt 20 km, inimese juus aga väljasirutatud käe kauguselt paistab  $20''$  nurga all.

**§ 8. Maailma poolused ja telg.** Tähelepanelikult taevast vaadeldes märkame, et ööpäeva jooksul Suure Vankri tähtkuju teeb taeval õige suure ringi, Väikese Vankri rattad teevad väiksema ringi, hele täheke vankri aisa otsas aga näib peaaegu liikumatuna. Seda tähte nimetataksegi Põhjanaelaks. Ööpäeva jooksul ta teeb peaaegu tähelepandamatu ringikese ja on alati nähtav horisoni suhtes peaaegu ühel ning samal kõrgusel, alati horisoni põhjapoolses osas. Väikese Vankri ülejäänud tähed teevad ööpäeva jooksul seda suuremaid ringe, mida kaugemal nad asetsevad Põhjanaelast.

Põhjanael ( $\alpha$  Väikese Vankris) leitakse üles nõnda: läbi Suure Vankri „tagumiste rataste” ( $\alpha$  ja  $\beta$  Suures Vankris) tõmmatakse mõttes sirge ja pikendatakse seda nende tähtede vahelise viiekordse kauguse võrra. Selle sirglõigu otsa juures leiamegi Põhjanaela.

Joonisel 1 on näidatud Suure Vankri asendi muutus horisoni suhtes ööpäeva jooksul ja Põhjanaela asendi muutumatus. Siiski on vaja endal vaatluste abil veenduda, et see nimelt nõnda ka toimub.

Järgmine huvitav katse, mis on kättesaadav igale päevapildistamisega tuttavale õpilasele, tõestab näitlikult taevaskera ööpäevase pöörlemise seadust. Kuuvalguseta selgel ööl

juhitaakse Põhjanaelale „lõpmatuse“ fokuseeritud fotoaparaat, mis on milgi kindlal alusel. Avatud aparaat jäetakse sellesse olekusse mitmeks tunniks ja siis ilmutatakse tehtud ülesvõte. Fotoplaadil (negatiivil) ilmnevad tähtede mustad jäljed (positiivil — heledad; joon. 9). Kõik nad on kontsentriliste kaarte kujulised. Nende kaarte joonsuurused on erinevad, kuid kraadimõõdul on nad võrdsed. Nende keskpunktis asetseb pöörlemiskeskpunkt.

Samasuguse pöörlemiskeskpunkti võime leida ka taeva lõunapoolkeral. Ta osutub taevaskeral punktis, mis on otse vastas samasugusele punktile taeva põhjapoolkeral, millest äsja kõnelesime. Kuid taevaskera keskpunktis asetseb meie silm. Järelikult vaadeldes taevast me veendume selles, et taevaskera tervikuna pöörleb mõnesuguse telje ümber, mis läbib meie silma. Taevaskera ööpäevase pöörlemise telge nimetatakse maailma teljeks. Selle suuna me leiame, kui oma silmast mõttes tõmbame sirge eespoolkirjeldatud viisil määratud taevavõlvipunkti, mis ei võta osa taevaskera ööpäevasest pöörlemisest.

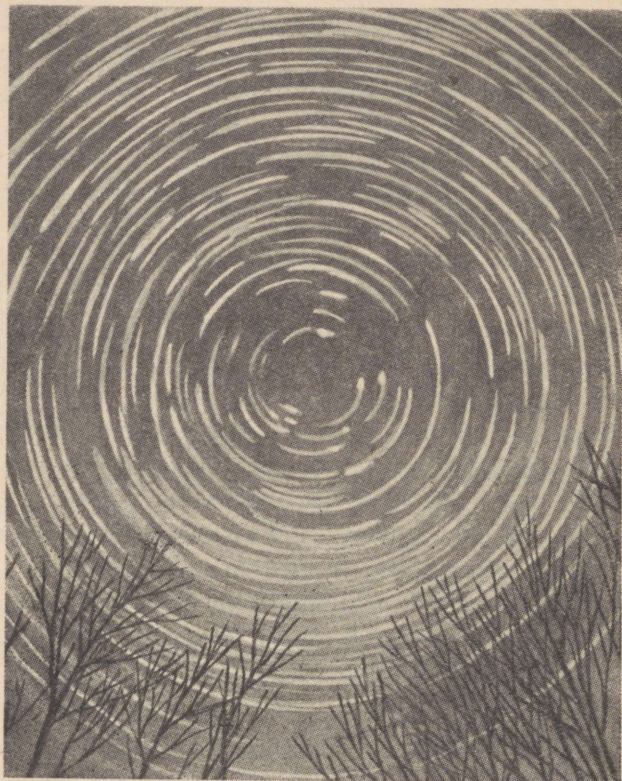
Maailma poolusteks nimetatakse taevaskera löikepunkte maailma teljega. Põhjanel asetseb maailma põhjapooluse läheduses (umbes  $10^{\circ}$  kaugusel). Maailma lõunapoolust näeme ainult Maa lõunapoolkeralt ja tema läheduses pole ühtegi heledat tähte.

Eespoolkirjeldatud fotol saadud kaarte keskpunkt ongi maailma põhjapooluseks.

**§ 9. Ekvaator, meridiaan ja keskpäevajoon.** Taevaskera väga tähtsateks joonteks ning punktideks on järgmised:

a) Taeva ekvaator. Taeva ekvaatori tasapinnaks nimetatakse tasapinda, mis läbib taevaskera keskpunkti risti maailma teljega, selle löikejoont taevaskeraga aga nimetatakse taeva ekvaatoriks. Nii\*siis: taeva ekvaator on suur ring taevaskeral, mille tasapind on risti maailma teljega.

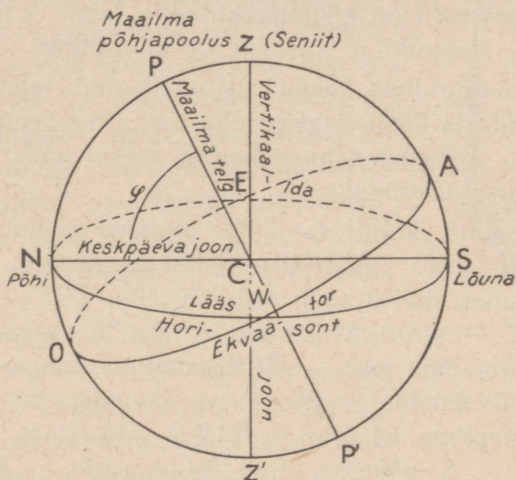
Ekvaator jaotab taevaskera kaheks poolkeraks — põhja- ja lõunapoolkeraks. Me näeme, et maailma telg, maailma poolused ja taeva ekvaator



Joon. 9. Taeva polaarpiirkonna foto, mis on tehtud liikumatu fotoaparaadiga.

on analoogilised Maa telje, pooluste ja ekvaatoriga. See on ka loomulik, sest loendatud nimetused on seotud taevaskera näiva pöörlemisega, mis aga ise on maakera tõelise pöörlemise tulemuseks.

b) Matemaatiliseks horisondiks nimetatakse taevaskera lõikejoont rõhttasapinnaga, mis läbib taevaskera keskpunkti. Sellest erinevalt nn. nähtav horisont on piiratud joonega, mida mööda, nagu meile näib, taevavõlv „ühineb” maaga. Horisondi tasapinda võib määrata vesiloe ehk vaaderpassi abil. Püstjoon on rõhttasapinnaga



Joon. 10. Taevaskera põhilised punktid ja jooned.

risti. Läbides vaatleja silma ta lõikab taevaskera lagipunktis ehk seniidis. Seniit on kõrgeim punkt vaatleja pea kohal. Püstjoone suuna määrab lood — niidi otsas rippuv koormus.

c) Taeva meridiaan. Meridiaani tasapinnaks nimetatakse tasapinda, mis läbib püstjoont ja maailma telge. See tasapind taevaskeraga lõikudes kujundab taeva meridiaani joone. Püsttasapind, mis läbib Põhjaneaala ja vaatlejat, osutubki ligikaudu meridiaani tasapinnaks.

Keskpäevajooneks nimetatakse meridiaani tasapinna ja horisondi tasapinna lõikejoont. See on — rõhtjoon.

d) Horisondi punktid. Horisont lõikub taeva meridiaaniga põhjapunktis ( $N$ ) ja lõunapunktis ( $S$ ), taeva ekvaatoriga aga ida- ( $E$ ) ja lääne- ( $W$ ) punktis. Kui asetume näoga maailma pooluse (Põhjanaela) poole, siis otse selle all horisondil on põhjapunkt, selja taga — lõunapunkt, paremal — idapunkt ja vasakul — läänepunkt.

Selles paragrahvis toodud definitsioonid tuleb kindlasti meeles pidada ja hästi selgeks teha, sest ilma nendeta jäävad lihtsaimadki taevased nähtused ning astronoomia praktilised rakendused arusaamatuks.

Et selgemini kujutleda kõike eespool öeldut, kujutame joonisel taevaskera (joon. 10). Sellel joonisel  $C$  on taevaskera keskpunkt, milles asub vaatleja silm,  $ZCZ'$  — püstjoon, seejuures  $Z$  — seniit,  $Z'$  — nadiir (seniidi vastaspunkt taevaskeral). Maailma telg —  $P'CP$ , maailma põhjapoolus —  $P$ , maailma lõunapoolus —  $P'$ . Taeva ekvaator, mille tasapind on risti maailma teljega —  $EAWO$ . Horisont —  $ESWN$ , lõunapunkt —  $S$ , põhjapunkt —  $N$ , idapunkt —  $E$  ja läänepunkt —  $W$ . On kerge mõista, et horisondi kohal on näha täpselt pool taevaskera ja pool taeva ekvaatorit, samuti ka seda, et punktides  $E$  ja  $W$  (mis on punktidest  $N$  ja  $S$  eemal  $90^\circ$  võrra) nii horisont kui ka ekvaator jagunevad pooleks.

Joon  $SCN$  on keskpäevajoon, mis kannab sellist nimetust seepärast, et keskpäeval asjade varjud langevad just selles suunas.

On vaja õppida joonistama taevaskera tahvlil või paberil. Harjutusteks võib maailma telje ja rõhttasapinna vahelist nurka  $PCN$  võtta millisena tahes. Nagu hiljem näeme, oleb see nurk vaatleja asukohast maakeral.

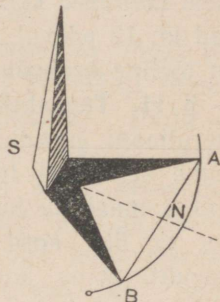
†§ 10. Keskpäevajoone praktiline määramine. Et praktiliselt määrata keskpäevajoone asendit maastikul, selle põhjal aga ka taeva meridiaani asendit, selleks on olemas palju meetodeid.

a) Öösel Põhjanaanaela järgi. Mõnesugusel viisil fikseerime liikumatult püstsuuna (niit koormusega) ja märgistame koha, millist ta puudutab maapinnal. Seejärel, hoides käes teist loodi, asetame selle ja oma silma nõnda, et Põhjanaanel ja mõlemad lood ühtiksid, s. o. et üks lood täiesti varjaks teist ja mõlemad nad varjaksid tähte. Märgistame maapinnal koha, mida seejuures puudutab teine lood. Mõlemaid loode läbiv tasapind on ilmselt meridiaani tasapinnaks ja maapinnal tehtud kahte märki ühendav sirge — keskpäevajooneks.

Et Põhjanaanel ei asu maailma pooluses, siis sellisel viisil keskpäevajoone määramisel võime eksida Leningradi laiusel  $2^{\circ}$  nurga võrra, enam põhja pool olevais kohtades veel rohkemgi.

b) Päeval Päikese järgi. Tasasel maapinnal kinnitame vertikaalasendisse (püstloodi) sirge varva (joon. 11). Hommikul märgistame sellel pinnal varva varju otsa  $A$  asendi ja varva alusest  $S$  kui keskpunktist raadiusega  $AS$ , mis võrdub varju pikkusega, tõmbame ringjoone. Varva vari hakkab järjest lühenema ning põhja poole pöörduma. Pärast keskpäeva ta hakkab pikenema, jätkates pöördumist. Märgistame meie ringjoonel punkti  $B$ , milles varju ots uuesti teda puudutab õhtul. Punktid  $A$  ja  $B$  ühendame sirgega, mille keskkoh  $N$ , ühendatud varva alusega  $S$ , annabki keskpäevajoone  $SN$  asendi.

Teoreetiliselt oleks võinud keskpäevajoone asendi mää-



Joon. 11. Keskpäevajoone asendi määramine.

rata lihtsalt, märgistades varju suuna sel momendil, kui ta osutub kõige lühemaks. Kuid praktiliselt on see viis liiga ebatäpne, sest keskpäeva läheduses, kui vari on kõige lühem, muutub ta pikkus väga aeglaselt, peaaegu märkamatu, varju suund aga muutub kiiresti.

c) Keskpäevajoont võib määrata kui varju suunda nn. tõelisel keskpäeval (§ 11 ja § 136), mis mitmesugustel põhjustel ei ühti (§ 140) selle momendiga, mil meie tavalised kellad (ka siis, kui nad „käivad õieti”) näitavad kl. 12 päeval. Kui ette arvutada, millal meil kella järgi on tõeline keskpäev, võib kasutada ka seda meetodit.

**§ 11. Taevakehade kulminatsioon.** Kui oleme määranud meridiaani asendi, jälgime tähistaeva pöörlemist. Me veendume selles, et iga taevakeha oma ööpäevasel pöörlemisel ümber maailma telje kaks korda lõikab meridiaani. Seejuures ta üks kord omab horisondi kohal kõige kõrgemat asendit, teine kord — kõige madalamat. Kulminatsiooniks nimetatakse taevakeha meridiaanist läbimineku nähtust. Ööpäeva jooksul on kaks kulminatsiooni — ülemine ja alumine, nende vahel on ajavahemik pool ööpäeva. Üks neist kulminatsioonidest (tõusvatel ja lojuvatel taevakehadel) või mõlemad (mitte-tõusvatel taevakehadel) võivad toimuda horisondi all ja on seetõttu nähtamatud.

Päikese ülemise kulminatsiooni momenti nimetatakse tõeliseks keskpäevaks. Päikese alumise kulminatsiooni momenti nimetatakse tõeliseks keskööks.

Esimese puhul neist on Päike nähtav, teise puhul mitte. Kuid polaarmaades vahel (§ 26) toimuvad Päikese mõlemad kulminatsioonid horisondi peal (s. o. ööd ei ole). Vahel aga toimuvad nad mõlemad horisondi all (s. o. Päike ei tõuse). Teiste taevakehade kulminatsiooni moment sõltub nende asendist taevaskeral ja aastaajast.

Vaadeldes mõnda tähte igal õhtul, me veendume selles, et antud kohas iga täht kulmineerib horisondi suhtes alati ühel ning samal kõrgusel; millisel nimelt — see sõltub tema asendist taevaskeral ja koha geograafilisest laiuusest (§ 131).

Päikese kõrgus horisondi suhtes tema ülemise kulminatsiooni momendil on erinev mitte üksi eri kohtades (näiteks Leningradis ja Sevastopolis), vaid ka eri aastaegadel (talvel ta on väiksem, suvel suurem). Kuu ja planeetide puhul on see kõrguse muutumine keerulisem.

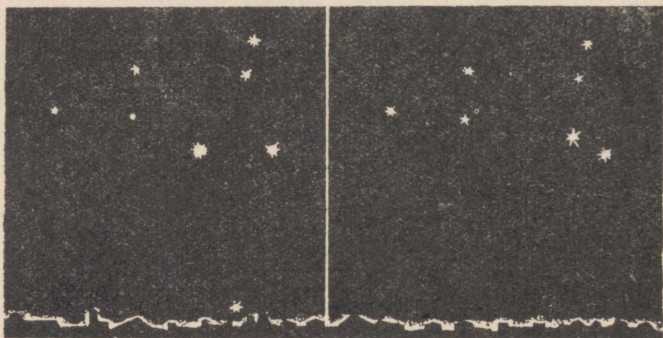
**§ 12. Planeedid ja nende näivad liikumised.** Peale tähtede on taevaskeral näha planeete ehk rändtähti (kreeka keeles *planao* — teelt kõrvale eksima, hulkuma). Palja silmaga võib näha viit planeeti: Merkuur, Veenus, Marss, Jupiter ja Saturn. Nad paistavad kui kõige heledamad tähed. Seepärast tundes kõige heledamaid tähti ja teades, millistes tähtkujudes nad asetsevad, võib üles leida planeedi mõnes tähtkujus „liigse” heleda tähena (joon. 12). Selles suhtes võib abiks olla ka tähistaeva võrdlemine tähekaardiga, millel planeedid kui taevaskeral alatasa oma asendit muutvad taevakehad pole muidugi märgitud.

Vaatlused näitavad, et iga planeet viibib teatud osa aastast Päikese läheduses ja siin ta 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 juba üsna õhtu alguses. Nii võib juhtuda, et antud momendil pole näha ühtegi planeeti.

Vaadeldes taevakehi inimesed veendusid selles, et kuna Marss, Jupiter ja Saturn võivad olla nähtavad öösel igal kellaajal, planeet Veenus, eriti aga Merkuur, millalgi ei lähe Päikesest kaugele kõrvale. Merkuuri ja Veenust võib näha ainult kahel juhul — kas õhtul läänes varsti pärast Päikese loojangut, või hommikul idas mitte kaua enne Päi-

kese tōusu. Seejuures Merkuur on vaevalt nähtav koidu või eha kiirtes, horisondi lähedal, koguni oma suurima näiva, s. o. nurkkauguse puhul Päikesest. Seega nii Merkuur kui ka Veenus paistavad vahel „hommikuste”, vahel „õhtuste” tähtedena (rahvalikus väljenduses) ja millalgi pole nähtavad keskööl. Nad on nähtavad ainult taeva lääne- või idapoolses osas.

Veenus paistab hoopis heledamalt kui kõik teised planeetid ja tähed ning on valget värvi. Jupiter on Veenusest



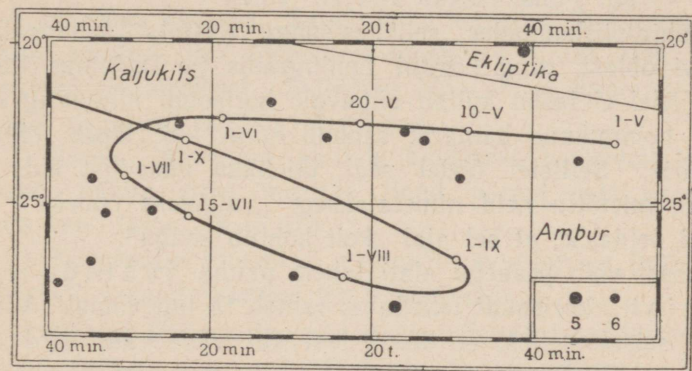
Joon. 12. Lõvi tähtkuju (vasakul). Paremalt sama tähtkuju, kui temas asub hele planeet.

nõrgem, kuid palju heledam esimese suuruse tähtedest ja teistest planeetidest; ta on kollakat värvi. Marss on punakas-oranž ning vahel peaaegu niisama hele kui Jupiter, kuid enamalt jaolt paistab ta esimese suuruse tähena. Saturn erineb vähe esimese suuruse tähtedest ja on kollakas.

On väga huvitav ja kasulik jälgida planeetide liikumist tähtede suhtes, märkides vahete-vahel nende asendid tähekaardil. Palja silmaga võib kõige kiiremini tähele panna planeet Marsi liikumist. Siiski kõigil planeetidel nende näivate liikumiste peaiseärasused selguvad alles mõnekuise vaatluse järel. Iga planeedi liikumise iseära-

sus seisab selles, et ta kord liigub kiiremalt, kord aeglasemalt, kord taevaskera ööpäevase pöörlemise suunas, kord vastassuunas ja kord aastas kujutab tähistaeva foonil just kui silmuse.

Joonisel 13 on kujutatud osa taevakaardist ja see silmuse-taoline tee, mille 1939. aastal läbis Marss. Sellel joonisel on näidatud, millistes kohtades oma teel asus Marss teatud päevadel aastas.



Joon. 13. Planeet Marsi näiv tee tähistaeva foonil 1939. a.

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

Merkuuri ja Veenuse liikumisest me üksikasjalisemalt ei räägi, sest neid on raskem jälgida koidu ja eha heledal foonil, milles tähtede nõrk valgus kaob, kuid nemadki kujutavad samalaadseid silmuseid.

**§ 13. Hämarik ja tähtede vilkumine.** Pärast Päikese loojumist pimedus ei saabu kohe, vaid teatud aja kestab hämarik. Hämarik käib ka Päikese tõusu eel. Nii hommikune

kui ka õhtune hämarik on tingitud sellest, et kui Päike meie suhtes asetseb horisondi all (mitte sügaval), ta jätkab veel õhu valgustamist, õhk aga, nagu juba teame, hajutab päikesevalgust. Hämariku nähtust tekitabki õhus hajunud päikesevalgus.

Eristatakse „kodaanliku hämariku” lõppu — kui taevas hakkavad paistma kõige heledamad tähed, ja „astronoomilise hämariku” lõppu — kui saabub täielik pimedus. Esimene moment jõuab kätte, kui Päike laskub  $6^{\circ}$  horisondi alla, teine — kui Päike laskub alla  $18^{\circ}$  võrra.

Põhja-piirkondades, sellistes nagu Karjala, Arhangelski, Kirovi oblast, ning koguni Leningradis ja Tallinnas Päike suveöödel ei lasku küllalt sügavale horisondi alla ning seetõttu hommikune hämarik saabub enne, kui lõpeb õhtune hämarik. Sellistel öödel seal täielikku pimedust üldse ei tulegi, mistõttu neid nimetataksegi „valgeteks öödeks”. Sel puhul öeldakse, et sel ajal „koit kohtub ehaga”.

Öösel võib peaaegu alati tähele panna tähtede vilkumist; horisondi läheduses esineb ta tugevamalt. Vilkumine seisab selles, et tähed just kui värisevad, kord välgatavad, kord nõrgenevad heleduses, horisondi lähedased heledad tähed koguni sädelevad kõigis vikerkaarevärvides.

Niisugune nähtus tuleb sellest, et tähevalgus tuleb meieni läbi õhu. Kuid õhk koosneb mitmesuguse tihedusega liikuvaist kihtidest. Sellistes kihtides tähelt tulev valgus murdub, tema teel olevate õhujugade alaline vahetus aga alatasa muudab kiirte murdumist. Peale selle tähevalgus murdumisel õhus, samuti kui päikesekiir klaasprismas, lahutub oma koosteosadeks — vikerkaarevärvideks. Liikuvais õhujugades toimuva tähevalguse murdumise alalised muutused tekitavadki tähtede vilkumise.

Planeedid vilguvad vähem kui tähed. Tähtedel puudub nähtav diameeter; koguni kõige tugevaimates teleskoopides nad paistavad punktidenä. Planeedid aga paistavad teleskoo-

bis juba mitte, kui punktid, vaid kui kettad. Sellise helendava ketta iga punkt vilgub sõltumatult teistest. Need hulgalised korrapäratud vilkumised, liitudes üksteisega, peaaegu tasakaalustuvad vastastikku.

## II peatükk.

### Maa ja taevas.

§ 14. Maa kergus. Sageli Maa kergususe tõestusena esitatakse nähtusi, mis tõepoolest tõestavad ainult Maa pinna kumerust või kõverust. Sellisteks Maa pinna kumeruse tõestusteks osutuvad näiteks järgmised:

1) Laeva lähenedes kaldale hakkavad horisondi tagant paistma kõige enne mastide tipud, pärast seda aga juba laeva kere (joon. 14 ja 15).

2) Kõrgemale tõusmisel vaateväli avardub ja horisondil nähtavate esemete kaugus meist suureneb.

3) Pärast Päikese loojumist valgustavad tema kiired veel kõrgete ehitiste tippe, mägede harju ja pilvi, hiljem — ainult kõrgete mägede harju ja pilvi, ning veel hiljem — ainult pilvi.

Ümber maailma reisid tõestavad ainult Maa kuju suletust, tema isoleeritust ruumis, äärte puudumist, mis kusagil puutuksid kokku taevaga.

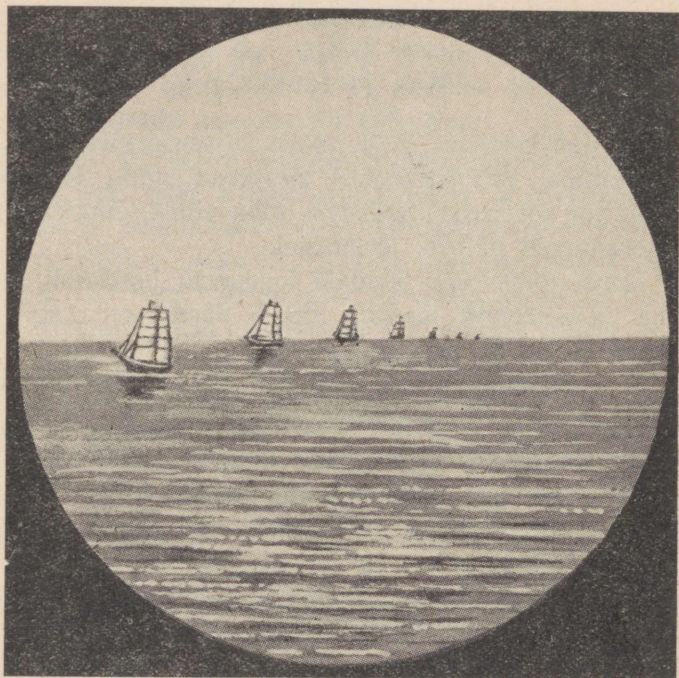
Põhjenditeks Maa kergususe kasuks võib lugeda kaks nähtust:

1) Maa igas kohas paistab horisont ringjoonena ja horisondi kaugus on igal pool ühesugune.

2) Kuuvarjutuste puhul Kuule langev Maa vari on alati ümmarguste piirjoontega. Kõigist kehadest ainult kera heidab millises tahes asendis ümmargust varju.

Kuid Maa ei ole täpselt kera, nagu me seda varsti näeme.

§ 15. Geograafilised koordinaadid. Geograafiakursusest on teada, et mõne maakeral võetud punkti asendit võib täiesti täpselt määrata kahe geograafilise koordinaadi abil — geograafilise laiusena (tähis  $\varphi$ ) ja geograafilise pikkusega (tähis  $\lambda$ ) (vt. joon. 16).



Joon. 14. Laeva lähenemine horisondi tagant.

Selleks tõmmatakse Maa poolustest läbi suuringid, mida nimetatakse meridiaanideks. Üks neist, mis läbib Greenwichi tähetorni (Londoni läheduses), võetakse alg- ehk nullmeridiaaniks. Peale selle kujutatakse mööda Maad rööbiti ekvaatoriga väik-

semad ringid, mida nimetatakse geograafilisteks paralleeljoonteks ehk rööbikuiks.

Geograafilist pikkust mõõdetakse ekvaatori või rööbiku kaarega, mis asetseb algmeridiaani ja anfud punkti läbiva meridiaani vahel. Pikkust mõõdetakse algmeridiaanist ida poole ajavahemikuga, mis kulub Maal selleks, et pöörduda ümber telje pikkust mõõtvale kaarele vastava nurga võrra. Pikkust (kraadides) võib mõõta kas lääne- või idasuunas ( $0^{\circ}$ -st kuni  $180^{\circ}$ -ni), nimetades teda siis lääne- või idapoolseks pikkuseks.

Kuna Maa teeb täispöörde ( $360^{\circ}$ ) ümber telje 24 tunni



Joon. 15. Skeem, mis selgitab laeva eri osade järk-järgulist nähtavale ilmumist.

jooksul, siis pikkuse iga  $15^{\circ}$ -le vastab ajas 1 tund ja seega  $1^{\circ} = 4$  min.,  $1$  min.  $= 15'$  ja  $1$  sek.  $= 15''$ . Moskva ja Greenwichi meridiaani tasapindade vaheline nurk on  $37^{\circ}34'15''$ . See ongi Moskva pikkus Greenwichi suhtes:  $37^{\circ}34'15''$  ehk 2 tundi 30 min. 17 sek., ja nimelt idapoolne.

Koos Maaga pöörleb ruumis ka iga meridiaani tasapind, näiteks Moskva oma. Kui Moskva meridiaani tasapind läbib maailmaruumis Päikese, siis, nagu kerge mõista, sel momendil Päike on Moskvast nähtav meridiaani tasapinnas ning järelikult ka taevameridiaani joonel. Päikese sellist asendit taevas nimetatakse tõeliseks keskpäevaks. Maa pöörlemisel ümber telje läänest itta löikab Päike 2 t. 30 min. 17 sek. pärast Greenwichi meridiaani tasapinda. Siis omakorda

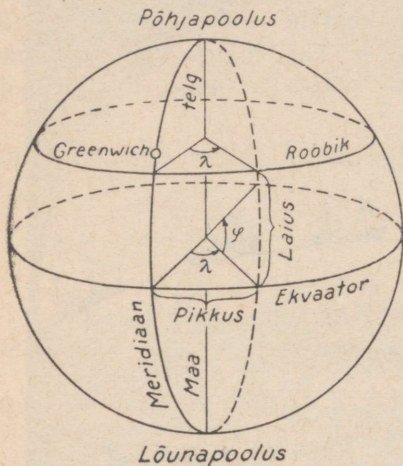
saabub tõeline keskpäev Greenwichis. Tähendab: keskpäev ja üldse ööpäeva iga kellaaeg saabub Moskvas 2 t. 30 min. 17 sek. võrra varem kui Greenwichis. Üldse kohas, mille idapikkus on  $\lambda_1$  tundi, iga ööpäeva kellaaeg saabub varem kui kohas pikkusega  $\lambda_2$  ( $\lambda_1 - \lambda_2$ ) tunni võrra.

Geograafilist laiust mõõdetakse nurgaga ekvaatori tasapinna ja püstjoone vahel Maa antud kohas. Kui Maa oleks täpselt kerakujuline, siis püstjoon läbiks alati täpselt Maa keskpunkti, kuid Maa tõeline kuju pisut erineb kerast.

Geograafilisel kaardil või gloobusel geograafilist laiust mõõdetakse mööda meridiaani, alates ekvaatorist kuni geograafilise rööbikuni, mis on tõmmatud läbi antud punkti. Täpsemalt väljendatakse kraadides. Ekvaatorist põhja poole mõõdetud laiust nimetatakse põhja-

(märk +), lõuna poole mõõdetud laiust — lõuna- (märk —) laiuseks. (Näiteks Ašhabadi laius on  $37^{\circ}57'$ , Melbourne'i laius aga on  $-37^{\circ}50'$ .)

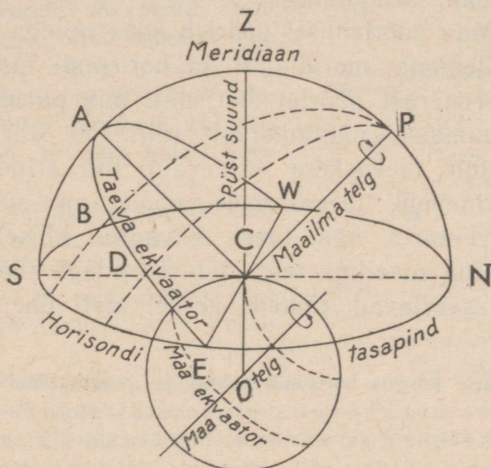
**§ 16. Seos Maa ja taevaskera vahel.** Et Maa mõõtetud võrreldes taevakehade kaugustega on äärmiselt väikesed, siis, kus kohal ka vaatleja maakeral asuks, paljas silm näeb neid taevakehi ruumis tegelikult ühes ja samas suunas. (Teine asi on, et horisondi suhtes võivad need suunad olla vaatlejale erinevad.) Neissamades suundades näeks vaat-



Joon. 16. Geograafilised koordinaadid: laius ja pikkus.

leja taevakehi ka sel juhul, kui ta asuks Maa keskpunktis ja võiks sealt vaadelda neid taevakehi.

Maa pöörlemistelg on asetatud ruumis nõnda, et peaaegu samas suunas paistab meile Põhjanael. Vaatlejale, kes asub Maal kusagil punktis  $C$  (joon. 17) ja ei taju Maa pöörlemist, näib, et kogu maailmaruum taevaskera näol pöörleb ümber telje, mis on rööpne Maa pöörlemisteljega.



Joon. 17. Seos Maa ja taevaskera vahel.

Taevaskera pöörlemistelge  $CP$  me nimetasime maailma teljeks, ja nüüd me näeme, et igale vaatlejale on ta rööpne Maa pöörlemisteljega.

Et Põhjanael on meist väga kaugel, siis joon  $CP$  ja temaga rööpne Maa pöörlemistelg on suunatud Põhjanaelale. Maa keskpunkti paigutatud vaatlejale Maa pöörlemistelg ja maailma telg ühtiksid teineteisega.

Seepärast taeva ekvaatori tasapind  $CEAW$  kui ristne maailma teljega on rööpne Maa ekvaatori tasapinnaga. Maa keskpunktis asuvale vaatlejale need tasapinnad ühtiksid.

Kui võtta Maad kerana, siis püstjoon  $CZ$  osutub Maa raadiuse  $OC$  pikenduseks, mis on tõmmatud Maa keskpunkti punkti, milles asub vaateleja. Seepärast horisondi tasapind, mis läbib taevaskera keskpunkti (läbi punkti  $C$ , kui selles punktis asub vaateleja) ja on risti püstjoonega, osutub puutetasapinnaks maakerale punktis  $C$ .

Lõpuks taeva meridiaani tasapind  $SAZPN$  ühtib geograafilise meridiaani tasapinnaga.

Nii siis Maa pöörlemisel pöörleb koos sellega ka vaateleja ning ühes temaga meridiaani ja horisondi tasapind ning püstjoon. Seepärast pöörlev horisont, mis piirab vaatelejale nähtavat ruumiosa nähtamatust (mis on varjatud Maa kehaga), läbib taevaskera erinevaid osi erinevail kella-aegadel. Erinevate taevakehade poole on suunatud ka seniit  $Z$ . Seejuures aga taeva ekvaator libiseb omaenda tasapinnas ning maailma telg jääb iseendaga rööpseks. Seepärast nad säilitavad tähtede keskel alati ühe ning sama asendi.

*Valge*

§ 17. Pooluse kõrgus horisondi suhtes ja geograafiline laius. Maailma pooluse nurkkõrgus horisondi suhtes ehk lühidalt pooluse kõrgus võrdub vaatluskoha geograafilise laiusega. Selles võib veenduda jälgides joonise 17 abil, kuidas muutub nurk  $PCN$  (ühes temaga ka kaar  $PN$ , s. o. pooluse kõrgus) vaateleja  $C$  järk-järgulisel liikumisel Maa ekvaatorilt Maa poolusele. Sellisel liikumisel maailma telg  $CP$  jääb iseendaga rööpseks, horisondi tasapinnas olev joon  $CN$  aga moodustab  $PC$ -ga järjest suurema ning suurema nurga.

Kõige paremini selgub see joonise 18 abil, millel maakeral on kujutatud lõikes vaatluskoha meridiaani tasapinnaga. Punktis  $M$  olev vaateleja näeb maailma poolust maailma telje  $MP'$  suunas, mis on rööpne Maa teljega  $TP$ . Horisondi tasapind kui puuteline maakerale on meie joonisel kujutatud sirgega  $SMN$ , mis on puutujaks maakeral kujutavale ringile punktis  $M$ . Maa ekvaatoriks on  $AQ$ , püstjooneks punktis  $M$  —  $TM$ , ning seepärast nurk  $ATM$ , vastavalt § 15-le, kujutab punkti  $M$  geograafilist laiust.

Nurk  $P'MN$  maailma telje ja horisondi tasapinna vahel kujutab pooluse kõrgust.

Nurgad  $P'MN$  ja  $ATM$  (s. o. geograafiline laius) on võrdsed kui vastastikku risti olevate külgedega nurgad. Tõepoolest,  $MN$  kui rõhtjoon on risti püstjoonega  $MT$ ,  $MP'$  aga kui maailma telg on risti ekvaatoriga  $AQ$ .

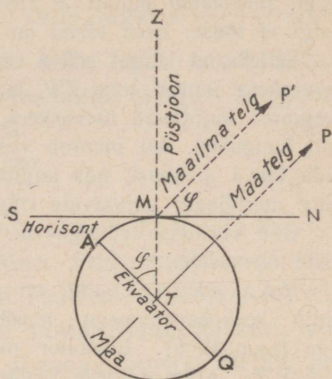
Me näeme, et praktiliselt võib määrata koha geograafilist laiust, mõõtes vaatluste abil pooluse kõrguse.

§ 18. Tähistäeva välisilme sõltuvus vaatleja asendist Maa pinnal. Nagu me äsja nägime, võrdub maailma telje kalle horisondi suhtes (pooluse kõrgus) vaatluskoha geograafilise laiusega. Seda tuleb arvestada, kui valmistada joonis 10 mõne kindla koha jaoks.

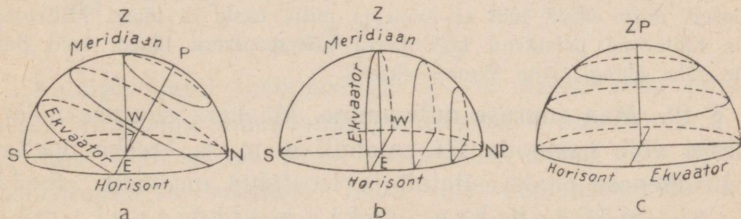
Nii siis taevaskera asetus horisondi suhtes sõltub laiusest, ja mida suurem on nurk  $PCN$  joonisel 17 või  $P'MN$  joonisel 18, seda lähemal Maa poolusele asub vaatleja, ning ümberpöörduvalt.

Õeldu põhjal, või jälgides joonise 18 järgi taevaskera joonte asetuse muutumist vaatleja liikumisel Maa ekvaatorilt poolusele, on kerge konstateerida järgmist.

Keskmiitel laiustel, näiteks NSV Liidus, on maailma telg ja taeva ekvaator horisondi suhtes kaldu; seetõttu ka tähtede ööpäevased teed samuti on kaldu horisondi suhtes (joon. 19 a). Maailma poolusest



Joon. 18. Maailma telje kalle horisondi suhtes võrdub vaatluskoha geograafilise laiusega.



Joon. 19. Tähtede ööpäevased teed horisondi suhtes vaatlejale, kes asub: a — keskmistel laiustel, b — ekvaatoril, c — poolusel.

mitte kaugemal kui  $\varphi$  kraadi (siin  $\varphi$  on geograafiline laius) eemal seisvad tähed osutuvad mitteloovjateks. Poolusest enam kui  $\varphi$  kraadi eemal asetsevad tähed osutuvad tõusvateks ja loovjateks. Osa lõunapoolkera tähti, mis on taevaskeral lõuna pool (madalamal) väikest ringi, mis läbib punkti *S* (joonistel 10 ja 19 *a*) rööbiti ekvaatoriga, iialgi ei tõuse: need tähed on nähtamatud.

Selleks, et kõiges selles veenduda, tuleb joonisel 10 mõttes pöörata taevaskera ümber telje *CP* ja jälgida, milliseid ringe horisondi suhtes seejuures kujutavad taevaskera punktid, mis on maailma teljest erinevaid kaugustel. Asi muutub veelgi näitlikumaks, kui on võimalus kasutada taeva gloobust, mis kujutab taevaskera ja on varustatud horisonti ning meridiaani kujutavate ringidega.

Ühe või teise võttega on vaja veenduda ka siin kirjeldatud nähtuste olemasolus.

Maa ekvaatoril on maailma telg horisondi tasapinnas ja ühtib keskpäevajoonega, maailma poolused aga põhja- ja lõunapunktiga (joon 19 *b*). Ekvaator muutub horisondiga risti olevaks ja läbib seniiti *Z*. Kõigi tähtede ööpäevased teed on horisondiga risti ja igaüks neist on poole ööpäeva jooksul horisondist kõrgemal ning pool ööpäeva horisondi all. Ööpäeva jooksul, kui päeval Päike ei segaks, võiks näha kõiki tähti taeva mõlemalt poolkeralt. Mittetõusvaid tähti seal pole, samuti kui pole ka mitteloovjaid. Muide, meile tuntud Suur Vanker osutub seal loovjateks tähtkujuks.

Maa poolusel taeva ekvaator ühtib horisondiga, maailma telg aga ühtib püstjoonega (joon. 19 *c*). Põhjanaan paistab seal seniidi läheduses. Ida- ja läänepunktid, kui ekvaatori ja horisondi lõikepunktid, muutuvad määratatuks. Maailma telge ja püstjoont läbiv meridiaan muutub samuti määratatuks ning ühes sellega kaotavad mõtte ka lõuna-, põhja-, ida- ja läänepunkti mõisted: Maa põhjapooluselt kõik suunad osutavad lõunasse. Tähtede ööpäevased teed on seal horisondiga rööpsed, mitte ükski täht ei looju ja mitte ükski ei tõuse. Mitteloovjate tähtedena paistavad kõik taeva põhjapoolkera tähed, kuid iialgi pole näha ühtegi tähte lõunapoolkeralt.

**§ 19. Maa suuruse määramine.** Maakera suuruse määramiseks võib kasutada III sajandil e. m. a. kreeka õpetlase Eratosthenese poolt esitatud ja teostatud meetodit. Selle järgi mõõdetakse piki meridiaani mõni kaar — joonmõõtetudes ja kraadides. Maakera samal meridiaanil oleva kahe punkti vahel määra-

takse nende joonkaugus; olgu see näiteks  $n$  kilomeetrit. Astronoomiliselt (näiteks Põhjanaela kõrguste vahega neis punktides) määratakse samuti nende punktide geograafiliste laiuste vahe; olgu see näiteks  $m^0$ . Siis jagatis  $\frac{360^0}{m}$  näitab, millise osa ringjoonest moodustab selle kaar vaadeldavate punktide vahel. Sel alusel määratakse kogu ringjoone pikkus kilomeetrites lihtsast seosest

$$S = n \cdot \frac{360}{m}$$

Eratostenese meetodit nimetatakse kraadimõõtmise meetodiks. Teades Maa ümbermõõdu pikkust, saame selle jagamisest  $2\pi$ -ga Maa raadiuse pikkuse. Niiviisi on tõestatud, et Maa raadius, kui võtta Maad kerana, võrdub 6371 km, ümbermõõt aga on peaaegu täpselt 40 000 km.

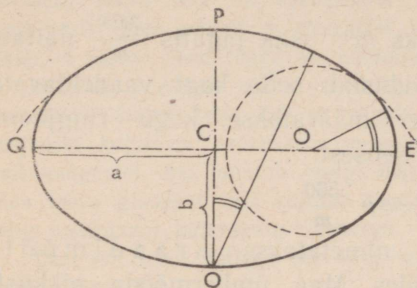
**§ 20. Maa lapikus.** Toimetanud mõõtmisi Maa mitmesugustes kohtades, veenduti selles, et Maa kumerus on ekvaatori läheduses suurem kui poolustel (joon. 20). See tähendab, et Maa pole kera; ta on poolustel pisut kokku surutud. Maa polaarne raadius on ekvaatorilisest raadiusest peaaegu 21 km võrra lühem. Maa lapikuseks nimetatakse ekvaatorilise ( $a$ ) ja polaarset ( $b$ ) raadiuse vahe suhet ekvaatorilisse raadiusse. Maa lapikus võrdub  $\frac{1}{298}$ . Ta väljendub nõnda:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298}$$

Kooligloobusel läbimõõduga 30 cm tuleks seda näidata polaarläbimõõdu lühendamiseega kõigest 1 mm võrra.

Maa lapikus on Maa pöörlemisel ümber telje tekkiva tsentrifugaaljõu tulemus. Seda võib demonstreerida kooli tsentrifugaalmasina teljel pöörleva õhukese terasringi abil. Taevakeha lapikus tema pöörlemise tulemusena ilmneb üldise reeglina. Näiteks planeedid Jupiter ja Saturn, mis pöörlevad

ümber telje Maast kiiremini, on veel enam lapikud. (Saturni lapikus on  $\frac{1}{10}$ , Jupiteri lapikus aga  $\frac{1}{16}$  ja teleskoobis hästi märgatav.) Lapikuse tõttu on Maal, täpsemalt öeldes, pöördellipsoidi kuju.

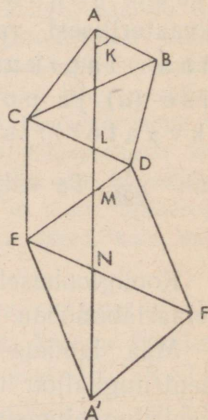


Joon. 20. Maa kumerus on ekvaatoril suurem kui poolusel.

detakse Põhjanaanala kõrgus horisondi suhtes ning seejuures arvutatakse tema kaugus maailma poolusest.

Meridiaani kaare joonpikkuse määramisel põrkame kokku rea praktiliste raskustega, eriti aga juhul, kui Maa suuruse täpsema määramise huvides me võtame selle kaare küllalt suure: teel selle kaare algusest lõpuni võivad ette juhtuda kuristikud, mäed, sood jne. Seepärast meridiaani kaare pikkuse määramisel ja suurte kauguste mõõtmisel maapinnal üldse (mis muide on tarvilikud geograafiliste kaartide koostamisel) kasutatakse triangulatsiooni meetodit.

Triangulatsioon seisab järgmises. Kui on vaja mõõta meridiaani kaart  $AA'$  (joon. 21), valitakse tasasel kohal joon  $AB$  ja mõõdetakse selle pikkus kõige suurema täpsusega. Sellist joont nimetatakse baasiks. Peale selle valitakse punkt  $C$ , mis on nähtav punktist  $A$  ja punktist  $B$ . Seejärel mõõdetakse nurgamõõtmise riista abil (nagu seletatud § 29) nurgad punktide  $A$  ja  $B$  juures, peale selle baasi ja meridiaani  $AA'$  suuna vaheline nurk  $K$ . Edasi juba arvutamise teel määratakse külgede  $AC$



Joon. 21. Triangulatsiooni skeem.

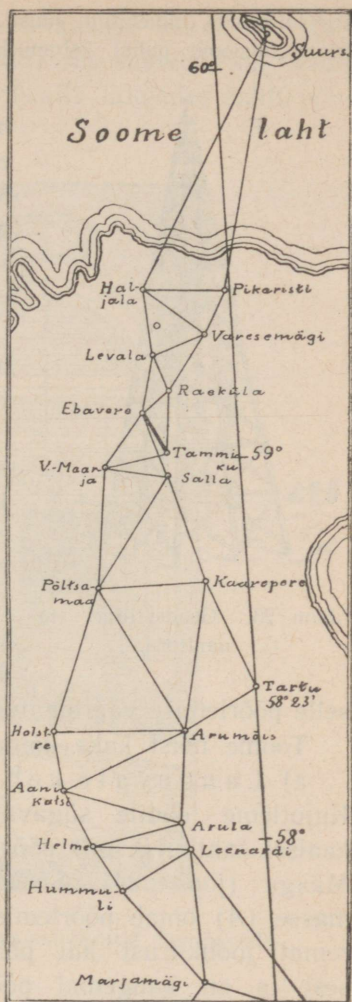
ja  $BC$  pikkus ning nurk  $C$ . Pärast seda valitakse punkt  $D$ , mis on nähtav nii punktist  $C$  kui ka punktist  $B$ , ja mõõdetakse nurgad  $C$  ning  $B$ , astudes neisse punktidesse nurgamõõtmise riistaga. Et pikkus  $CB$  oli juba arvatud, võib nüüd analoogiliselt eelmisega arvutada külgede  $CD$  ja  $BD$  pikkuse, peale selle aga veel joontega  $AC$  ja  $AA'$  moodustatud nurga.

Toimides edasi kirjeldatud viisil, katame  $A$  ja  $A'$  vahe kolmnurkade võrguga, kus kõik nurgad on mõõdetud, kõik küljed aga on määratud arvutamise teel. Siis pikkus  $AA'$  leitakse kui murtud joone  $ACEA'$  (või  $ABDFA'$ ) projektsioon sellele sirgele. Ta määratakse arvutamise teel.

Seejuures loomulikult arvestatakse ka seda, et neid mõõtmisi toimetati mitte tasapinnal, vaid Maa kumeral pinnal.

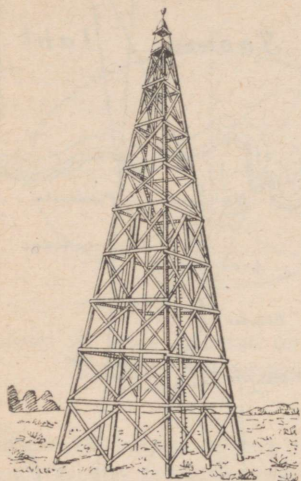
Nii siis: triangulatsioon on suurte kauguste määramine kolmnurkade abil, milledes mõõdetakse ainult nurgad ja üks baas, küljed aga määratakse arvutamisega. Selle meetodi nimetus tuleb ladinakeelsest sõnast *triangulus* — kolmnurk.

Esimesed küllalt täpsed meridiaani kaare mõõtmised triangulatsiooni abil teostati prantsuse teadlaste poolt aastail 1792—1798 Maa mitmesugustes kohtades, kui taheti kindlaks määrata uut pikkusühikut — meetrit, mis oli mõeldud kui 1:40 000 000 Maa meridiaani pikkusest. Joonis 23 kujutab geodeetiliseks



Joon. 22. Osa suurest vene triangulatsioonist, mis teostatud läinud sajandi I poolel piki Tartu meridiaani.

signaalturniks nimetatud puust torni. Niisugused tornid püstitatakse triangulatsiooni puhul kolmnurkade tippudeks valitud punktidesse.



Joon. 23. Geodeetiline signaalturn.

§ 22. Maa ööpäevase pöörlemise tõestusi. On üldiselt teada, et maakera pöörleb ümber telje. Maa ööpäevase pöörlemise teljeks nimetatakse Maa keskpunkti läbivat sirget ja kahte punkti tema pinnal, mida nimetatakse geograafilisteks poolusteks.

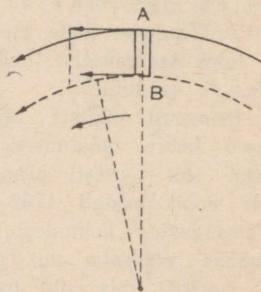
Nagu nägime, teati Maa kera-susest juba vanal ajal ja juba III sajandil e. m. a. Eratosthenes määras Maa suuruse, kuigi väga ligikaudselt. Maa ööpäevase pöörlemise siiski tegi esmakordselt täie selgusega kindlaks alles Kopernik (XVI sajandi algul),

selle pöörlemise vääramatud tõestused aga leiti veelgi hiljem.

Toome neist kaks kõige näitlikumat.

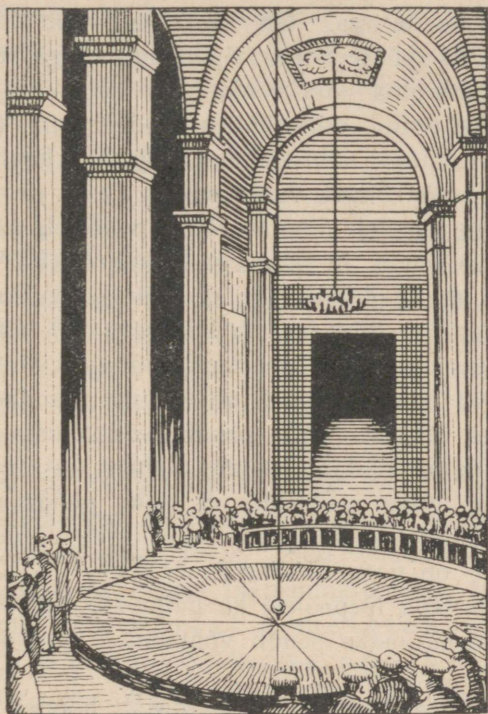
a) Langevate kehade kaldumine ida poole.

Kujutleme endile sügavat vertikaalset šahti  $AB$ , mis pöörleb koos Maaga (joon. 24). Sissekäik temasse ( $A$ ) omab pöörlemisel suuremat joonkiirust kui põhi ( $B$ ), sest ta on kaugemal pöörlemiskeskpunktist, antud juhul Maa pöörlemisteljest. Šahti sissekäigu juures lebav kivi omab seejuures sama kiirust kui see sissekäikki. Allalangemisel ta säilitab selle



Joon. 24. Langevate kehade ida poole kaldumise skeem.

kiiruse inertsiooni tõttu. Seejuures see liikumise kiirus ida suunas (sest Maa pöörleb läänest itta) on suurem kui šahti põhja liikumise kiirus, ja kivi jõuab alla langedes šahti põhjast ette.



Joon. 25. Foucault' pendlikatse, demonstreeritud Leningradis.

Kivi ei lange täpselt Maa keskpunkti suunas, vaid nihkub ida poole, mida ei tohiks olla, kui Maa ei pöörleks. Maa ekvaatoril on see kõrvalekaldumine kõige suurem, poolustel aga võrdub nulliga.

Mitmekordsed sellised katsed kinnitavad vaatluste täie-

likku kooskõla arvutustega: näiteks langemisel 85 m kõrguselt kaldub kivi keskmistel laiustel ida poole 10,5 mm võrra.

b) Foucault' pendel. Esmakordselt 1851. a. teostatud katses prantsuse õpetlane Foucault (loe: fūkoo) rakendas pendlit, milleks oli pikk ja peenike traat selle otsa riputatud raske keraga. On teada ja seda võib kergesti kontrollida katsega tsentrifugaalmasinal, et iga selline pendel säilitab muutmatuna oma võnkumiste tasapinna, kuidas me ka pööraksime raami, mille küljes pendel ripub. (Pendli suur pikkus on tingitud suurema näitlikkuse kaalutlustest ja pendli kestva võnkumise vajadusest.)

Kui selline pendel võnguks Maa poolusel, siis pööreldes Maa pöördus pendli all kiirusega  $15^{\circ}$  tunnis ( $360^{\circ} : 24$  tundi). Tulemusena me märkaksime, et pendli võnkumistasapind pöörduv maapinna suhtes sama kiirusega  $15^{\circ}$  tunnis, suunas, mis on vastupidine Maa pöörlemissuunaga. Maa ekvaatoril mingisuguseid muutusi pendli võnkumise suundades ei oleks, vahepealsetes laiustes aga pendli võnkumistasapind peab pöörduma, nagu näitab teooria, vähem kui  $15^{\circ}$  tunnis, ja seda vähem, mida väiksem on koha geograafiline laius. (Pendli võnkumistasapinna pöörlemiskiirus võrdub  $15^{\circ} \sin \varphi$  tunnis, kus  $\varphi$  on geograafiline laius.)

Vaatlused seda tõepoolest ka näitavad. Kui Maa ei pöörleks, siis ilmselt jääks pendli võnkumiste suund igas kohas muutmatuks.

Leningradis endise Iisaku katedraali hoones demonstree-riti 98 m pikkust pendlit. Selle võnkumiste suund muutus tunnis  $13^{\circ}$  võrra — täpselt nõnda, nagu see järeldub Maa pöörlemise teoriast. Tänu pendli suurele pikkusele said muutused märgatavaks juba mõneminutilise ajavahemiku järel (joon. 25).

## Päikese aastane ringkäik ja Maa liikumine.

§ 23. Päikese keskpäevase kõrguse ja tähistaeva välisilme aastased muutused. Igaühele on hästi teada, et Päikese kõrgus horisondi suhtes keskpäeval, s. o. tema kõrgus ülemises kulminatsioonis, aasta jooksul muutub. Suvel tõuseb Päike keskpäeval väga kõrgele; kõige kõrgem asend on tal 22. juunil. Seda päeva nimetatakse suviseks päikeseseisuks ehk pööripäevaks. Igal järgmisel päeval kulmineerib Päike järjest madalamal ja madalamal ning tema kõige madalam kulminatsioon toimub 22. detsembril, see on talvise päikeseseisu ehk pööripäeva ajal. 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 suuruselt vahepealne tema kõrgustele suvisel ja talvisel pööripäeval. Neil päevil Päike tõuseb täpselt idapunktis ja loojub läänepunktis ning päev võrdub ööga; seepärast 21. märtsi nimetatakse kevadiseks öö ja päeva võrdsuse päevaks, 23. septembrit aga — sügiseseks öö ja päeva võrdsuse (võrdpäevsuse) päevaks.

Kui Päikese kulminatsiooni kõrgus muutub, muutub järelikult ka tema asend taevaskeral maailma pooluse ja taeva ekvaatori suhtes. Tõepoolest, tähed, mis omavad maailma pooluse ja taeva ekvaatori suhtes muutumatut asendit, kulmineerivad igaüks alati ühel ning samal kindlal kõrgusel horisondist. Samal põhjusel iga täht tõuseb ja loojub kindlas, alati ühes ja samas horisondi punktis. Päike aga loojub

näiteks suvel loodes, talvel — edelas, võrdpäevsuse ajal aga — läänes. Mõõtmiste varal on kerge veenduda, et võrdpäevsuse ajal on keskpäeval Päikese kõrgus horisondilt  $90^{\circ} - \varphi$ . Kuid täpselt just sel kõrgusel taeva ekvaator lõikub meridiaaniga (vt. joon. 10). (Seda on kerge kontrollida, teades, et ekvaatori kaugus maailma poolusest on  $90^{\circ}$  ja maailma pooluse kaugus horisondist on  $\varphi$  kraadi.)

Järelikult võrdpäevsuse ajal asub Päike taeva ekvaatoril. See nähtub ka sellest, et neil päevadel Päike tõuseb idapunktis ja loojub läänepunktis, neis punktides aga taeva ekvaator lõikub horisondiga.

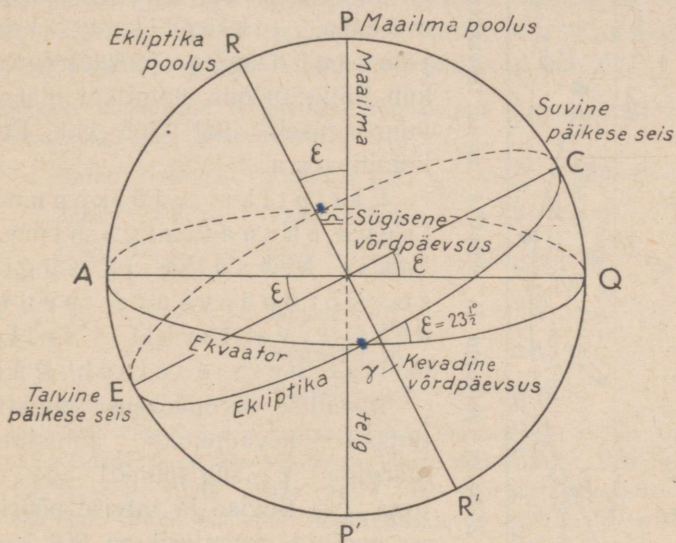
Kui suvel Päikese kõrgus keskpäeval on suurem kui  $90^{\circ} - \varphi$ , s. o. ületab taeva ekvaatori kõrguse horisondi suhtes, siis tähendab see, et Päike on sel ajal ekvaatorist kõrgemal (taeva põhjapoolkeral). Just samal viisil võib veenduda selles, et talvel on Päike taeva lõunapoolkeral, ekvaatori all. Nurgamõõtmise riistaga Päikese keskpäevaseid kõrgusi mõõtes näeme, et Päikese suurim eemaldus ekvaatorist põhja poole moodustab  $23^{\circ}27'$  (22. juunil) ja niisama suur on tema suurim eemaldus ekvaatorist lõuna poole (22. detsembril). Päikese keskpäevase kõrguse täielik muutus (vahe tema äärmiste kõrguste vahel horisondist suvel ja talvel) moodustab ligi  $47^{\circ}$ .

Kuid Päike liigub taevaskeral aasta jooksul mitte üksi taeva ekvaatori suhtes kord põhja, kord lõuna poole. Ta liigub ka taevaskera ööpäevasele pöörlemisele vastassuunas. Seda tema aastast aeglast liikumist ei tule ära segada tema ööpäevase, võrdlemisi kiire liikumisega — idast läände. Päikese aastane liikumine on vastupidine tema ööpäevasele liikumisele.

Selles võib veenduda, märkides ära, millised tähed on ülemises kulminatsioonis keskööl, s. o. millised tähtkujud asetsevad taevaskeral Päikesele vastasküljel. Need tähtkujud

kogu aeg vahelduvad aasta jooksul. Talvel kulmineerivad keskööl ühtede tähtkujude tähed, suvel aga teiste.

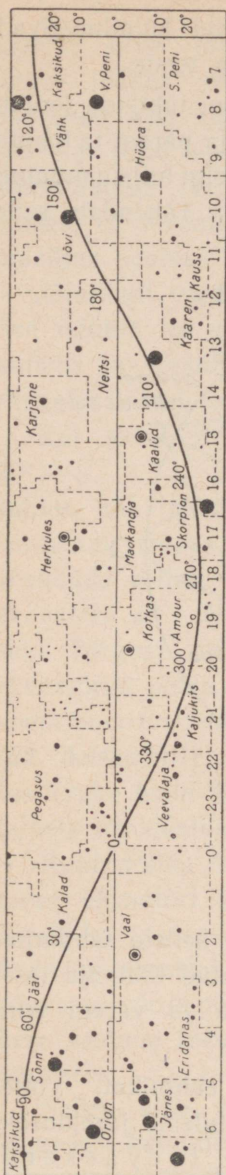
Peale selle võib tähele panna, et kui mõni tähtkuju loojub näiteks neli tundi pärast Päikest, siis kuu aja pärast ta loojub juba 2 tundi pärast Päikese loojangut, aga veelgi hiljem muutub üldse nähtamatuks, peituses Päikese kiirtes. Tähendab, selle



Joon. 26. Ekliptika ja ekvaator.

aja kestel Päike nihkus taevaskeral vastu sellele tähtkujule läänest itta. Veel mõne aja pärast nimetatud tähtkuju tuleb nähtavale horisondi tagant järjest varem ja varem enne Päikese tõusu.

**§ 24. Päikese näiv liikumine mööda ekliptikat.** Võttes kokku kõik eespool kirjeldatud vaatlused, tuleme järeldusele, et aasta jooksul liigub Päike taevaskeral



Joon. 27. Zodiaagi tähtkujud ja ekliptika asend taevaskeral.

mööda suurt ringi, nimega ekliptika, mille tasapind on kaldu taeva ekvaatori tasapinna suhtes nurgi  $23^{\circ}27'$ . Teiste sõnadega, ekliptika lõikub taeva ekvaatoriga nurgi  $23^{\circ}27'$  (joon. 26). Päike, liikudes läänest itta, teeb täisringi mööda ekliptikat aasta jooksul. Ööpäeva jooksul aga nihkub Päike mööda ekliptikat ida poole ümmarguselt  $360^{\circ}:365$  ehk ligi 1 kraadi võrra.

Ekliptika lõikepunkte taeva ekvaatoriga nimetatakse kevadise ja sügise võrdpäevsuse punktideks, vastavalt sellele, millal neis asetseb Päike.

Kevadise võrdpäevsuse punkti ehk lihtsalt kevadpunkti tähistatakse märgiga  $\Upsilon$ , sügispunkti aga märgiga  $\cap$ . Suvise ja talvise pöörpäeva punktid ekvaatoril on  $90^{\circ}$  kaugusel võrdpäevsuse punktidest ja kõige kaugemal ekvaatorist.

Päikese aastane liikumine mööda ekliptikat, samuti kui Päikese ööpäevane liikumine horisondi suhtes, on näiv liikumine. Viimane on tingitud Maa ööpäevasest pöörlemisest ümber telje, esimene aga — Maa aastasest ringlemisest ümber Päikese (§ 27).

§ 25. Zodiaagi tähtkujud. Vana-

aja vaatlejad jagasid ekliptika piirkonna 12 tähtkujuks ja nimetasid neid zodiaagi tähtkujudeks. Need on asetatud taevaskeral piki suurt ringi. Need 12 tähtkuju ühtekokku nimetatakse zodiaagiks. Zodiaak on kreekakeelne sõna ja tähendab „loomade-vöö“, sest enamik nende tähtkujude nimest on loomade nimed: Jäär, Sõnn, Kaksikud, Vähk, Lõvi, Neitsi, Kaalud, Skorpion, Ambur, Kaljukits, Veevalaja, Kalad. Praegusel ajal asetseb kevadpunkt Kalade tähtkujus, sügis- punkt — Neitsi, suvise pööripäeva punkt — Kaksikute ja talvise pööripäeva punkt Amburi tähtkujus (joon. 27).

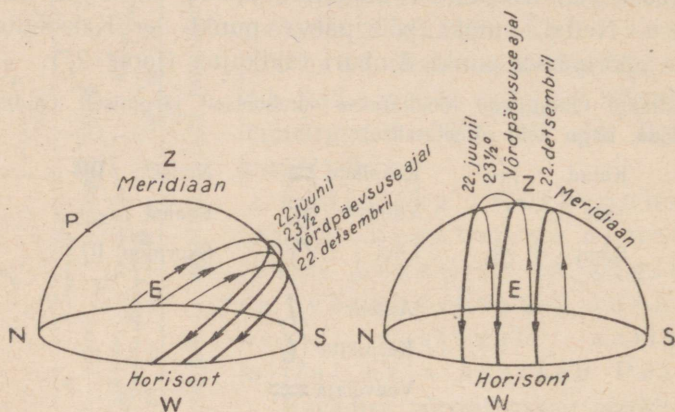
Zodiaagi tähtkujusid tähistatakse sümboliliselt järgmiselt (zodiaagi- märkidena, nagu neid nimetatakse):

Kalad		Kaksikud		Neitsi	
Jäär		Vähk		Kaalud	
Sõnn		Lõvi		Skorpion	
		Ambur			
		Kaljukits			
		Veevalaja			

Kunstiliselt väljatöötatud zodiaagi-märke kasutatakse sageli arhitektuurornamentidena ilustuseks või aasta kuude sümbolitena, sest igaühes neist tähtkujudest viibib Päike aasta ühe kaheteistkümnendiku osa, s. o. ühe kuu vältel. Kullatud reljeefiguuridena võib näha zodiaagi- märke näiteks Moskvas Kaasani vaksali kella numbrilaul.

Kesköö paiku asetseb taeva lõunaosas alati see zodiaagi tähtkuju, mis antud kuul taevafääril on Päikesele vastas- küljel. Näiteks novembris on Päike Skorpioni tähtkujus ja kesköö paiku kulmineerivad novembris temale vastakuti aset- seva Sõnni tähtkuju tähed. Kui novembris toimub täielik päikesevarjutus ja taevas läheb tumedaks, saab otseselt nähtavaks, et Päike (kaetud Kuust) on just Skorpioni täht- kuju tähtede taustal. Keskpäeva paiku kulmineerib (kuid ilma päikesevarjutuseta — nähtamatu) see zodiaagi tähtkuju, kus sel ajal asetseb Päike.

Rea zodiaagi tähtkujude muistsed nimed on seotud selle kuu iseloomulike iseärasustega, millal Päike viibib selles tähtkujus. Näiteks Päikese viibimine Neitsi tähtkujus vastab viljasaagi koristamise ajale (see töö lasus peamiselt naiste õlgadel). Seepärast Neitsi tähtkuju tähiseks on naine sirbiga ja käes viljapea. Selle tähtkuju peamise tähe nimetus — Spica — tõlgituna kreeka keelest eesti keelde tähendab viljapead. Päikese üleminek järgmisse tähtkujusse tähistas kaalumist ja saagi jaotamist, mistõttu see tähtkuju nimetati Kaaludeks.



Joon. 28. Päikese liikumine horisondi kohal aasta mitmesugustel aegadel: vaatleja puhul, kes asub keskmistel laiustel (vasakul) ja ekvaatoril (paremal).

**§ 26. Päikese ööpäevase tee muutused mitmesugustel laiustel.** Me nägime paragrahvis 18, et taevakehade ööpäevased teed horisondi suhtes on erinevad erisugustes geograafilistes laiustes. See kehtib muidugi ka Päikese kohta. Aasta jooksul Päike ise muudab oma asendit taeva ekvaatori suhtes. Seepärast ka tema tee Maa ühe ja sama koha horisondi suhtes on eri aastaagadel mitmesugune. Kuidas meie laiustes Päikese ööpäevane tee horisondi suhtes muutub kevadest suveni ja seejärel talveni — sellest kõneldi paragrahvis 23. Mis puutub Päikese ööpäevase tee muutus-

tesse mitmesugustel laiustel, siis on nad üldjoontes järgmised.

Maa ekvaatoril Päike, samuti kui kõik teisedki taevakehad, tõuseb ja loojub horisondi suhtes alati püstloodis, millest oli juba juttu paragrahvis 18. Seepärast võrdub seal aasta läbi päev ööga (horisont jagab seal Päikese ööpäevase tee pooleks), hämarikud aga on väga lühikesed. Päike laskub kiiresti horisondi alla. Päike on seal keskpäeval seniidis kaks korda aastas — kevadisel ja sügisel ööpäeva võrdsuse ajal: 21. märtsil ja 23. septembril (joon. 28).

Maakeral leidub kohti, kus Päike ainult üks kord aastas on keskpäeval seniidis. See toimub 22. juunil geograafilisel laiusel  $+23^{\circ}27'$ . Seda geograafilist rööbikut (paralleeli) nimetatakse Vähi pöörijooneks. Sellel rööbikul on seniit taeva ekvaatorist põhja pool  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  võrra, sest nendevaheline kaugus, nagu me juba teame, võrdub koha geograafilise laiusega. Kuid suvisel pööripäeval, 22. juunil, on Päike just  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  ekvaatorist põhja pool ja järelikult osutub ülemise kulminatsiooni momendil seniidis. 22. detsembril on Päike seniidis lõunapoolsel rööbikul —  $23^{\circ}27'$ , mida nimetatakse Kaljukitse pöörijooneks.

Oma nimed said need geograafilised rööbikud vanasti ühenduses sellega, et pöörijoontel toimus Päikese kulminatsioon seniidis sel ajal, kui Päike viibis Vähi või Kaljukitse tähtkujus. Tol ajal suvise ja talvise pööripäeva punktid olid neis tähtkujudes; mitme tuhande aasta jooksul, mis on möödunud tollest ajast meie ajani, on need punktid nihkunud naabruses olevatesse Kaksikute ja Amburi tähtkujudesse. Nimetus „pöörijoon” tähistab Päikese tagasipöördumist ekvaatori poole oma liikumisel mööda ekliptikat.

Maa poolustel Päike, seni kui ta on horisondi kohal, liigub iga päev horisondiga peaaegu rööpsetel ringidel, mis ühtivad siin taeva ekvaatoriga. Nagu me juba teame, kestab

see pool aastat, 21. märtsist kuni 23. septembrini — Maa põhjapoolusel. Et 21. märtsist kuni 21. juunini Päike pidevalt tõuseb taeva ekvaatori suhtes põhja poole, me jõuame järgmisele järeldusele.

Maa põhjapoolusel Päike tõuseb üks kord aastas — 21. märtsi paiku, ja mitte loojudes poole aasta kestel, kujutab iga päev horisondi kohal täisringi, ühtlasi tõustes järjest kõrgemale kuni 22. juunini. Ringlemisel horisondi kohal kujutab Päike spiraali keerdusid, tõustes ise kõrgemale. Alates 22. juunist kuni 23. septembrini Päike samasugust spiraali mööda pikkamööda laskub horisondile ja 23. septembri paiku loojub — kogu pooleks aastaks. Pool aastat kestab poolusel öö ja pool aastat päev.

Põhjapoolusest järjest lõuna poole eemaldumisel esineb aastas järjest rohkem päevi, millal Päike tõuseb ja loojub, kuid suvel siiski on periood, kus ta mitu päeva järjest ei looju, talvel aga rea päevade jooksul üldse ei tõuse. Selliseid nähtusi, eriti Päikese alumist kulminatsiooni keskööl, võib NSV Liidus vaadelda Murmanskis ja teistes punktides, mis on polaarringist põhja pool.

Pole raske veenduda, et Maakeral on selliseid kohti, kus Päike ei looju ainult üks kord aastas, nimelt 22. juunil, vaid ainult puudutab horisonti (põhjapunktis) oma alumise kulminatsiooni momendil (keskööl). Neis kohtades Päike ei tõuse 22. detsembril, vaid ainult puudutab horisonti lõunapunktis, jäädes ise horisondi alla. Need kohad Maakeral asetsevad geograafilisel rööbikul  $66^{\circ}33'$ , mida nimetatakse põhja-polaaringiks.

Maa lõunapoolusel esinevad samad nähtused kui põhjapooluselgi, ainult seal polaarpäev kestab 23. septembrist kuni 21. märtsini, öö aga 21. märtsist kuni 23. septembrini. Lõuna-polaarringil ( $66^{\circ}33'$  lõunalaiusel) esineb ööpäev ilma Päikese tõusuta 22. juunil, päev ilma Päikese loojumiseta aga 22. detsembril.

Kohtades, mis asetsevad põhja-polaarringist natuke lõuna pool, nagu näiteks Leningradis, Päike 22. juuni paiku laskub öösel horisondi alla, kuid mitte kauaks ja mitte sügavale. Seepärast tema kiired tugevasti valgustavad taevast horisondi kohal („valged ööd”).

Kõigest siin öeldust on selge ja seda tuleb kindlasti mees pidada, et Päikese tõusu ja loojumise aeg sõltub mitte üksi kuupäevast, vaid ka geograafilisest laiusel, millisel asub vaatleja. Seepärast harilikel kalendrites antud Päikese tõusu ja loojumise aeg võib olla õige ainult mõnesuguse ühe laiuse kohta, mitte aga kogu NSV Liidus.

**§ 27. Maa ringlemine ümber Päikese.** Päikese näiv aastane liikumine mööda ekliptikat ja kõik sellega seotud nähtused, mis on kirjeldatud selle peatüki eelmistes paragrahvides, on põhjustatud sellest, et tõepoolest Maa liigub ümber Päikese.

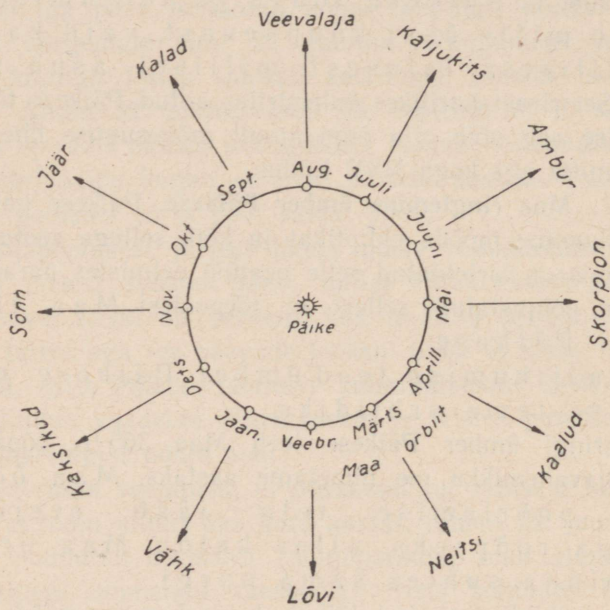
Maa liikumise teed ümber Päikese nimetatakse tema orbiidiks.

Täisringi ümber Päikese teeb Maa  $365\frac{1}{4}$  ööpäevaga. Seda ajavahemikku me nimetame aastaks. Maa ööpäevase pöörlemise telg jääb seejuures endaga rööpseks, olles kaldu Maa orbiidi tasapinna suhtes sama nurgi.

Maa orbiidi tasapind lõikub taevaskeraga mööda joont, mis just osutubki ekliptikaks. Teisiti öeldes, ekliptika on taevaskera ja Maa orbiidi tasapinna lõikejoon. Seda tasapinda nimetatakse ekliptika tasapinnaks.

Nüüd pole raske mõista, et kui Maa ööpäevase pöörlemise telg on ekliptika suhtes kaldu nurgi  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ , järelikult siis ka ekvaator on kaldu ekliptika tasapinna suhtes nurgi  $90^{\circ} - 66\frac{1}{2}^{\circ} = 23\frac{1}{2}^{\circ}$ , täpsemalt nurgi  $23^{\circ}27'$ .

Kuna meie ei taju oma liikumist koos Maaga, näib meile, et meie püsime paigal, Päike aga liigub mööda ekliptikat. Nii siis Päikese liikumine mööda ekliptikat on Maa liikumise vastupeegeldus. Seda võime endile selgitada vaadeldes joonist 29, millel on skemaatiliselt kujutatud Maa liikumine. Kui me joonise tasapinnas koos Maaga mõttes liigume



Joon. 29. Päikese liikumine on Maa liikumise vastupeegeldus.

ümbes Päikese, näeme Päikest ikka uutes ja uutes suundades, mitmesuguste tähtkujude suundades (vt. § 25). Täisringi järel näib meile, et selle aja jooksul Päike tegi täisringi samas tasapinnas, milles me liikusime ise. Kui näiteks Päike asub Kaksikute tähtkuju suunas, siis Päikeselt me näeksime Maad otse vastassuunalises tähtkujus, meie näites — Amburi tähtkujus. Maalt omakorda paistab sel ajal Amburi tähtkuju keskööl lõunapoolses taevas.

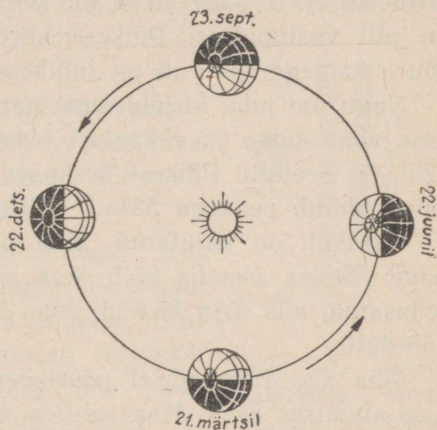
§ 28. Päeva ja öö ning aastaegade vaheldus Maa liikumisel. On teada, et Päikese kõrgusest horisoni suhtes sõltub soojuse hulk, mis langeb antud rõhtpinnale: mida kõrgemale horisoni kohale Päike tõuseb, seda palavamalt ta soojendab. Päikese mitmesuguse kõrgusega Maakera erinevais kohtades seletubki mitmesuguste soojusvööndite (palav, parajad ja külmad vööndid) olemasolu Maakeral. Samuti on teada, et suvel tõuseb meil Päike suurele kõrgusele ja jääb kauaks püsima horisoni kohale, s. o. päevad on pikad (Moskvas kuni 17 tundi). Talvel on olukord teine: Päike ei tõuse kõrgele horisoni kohale, tema nähtav päevane tee on väike, päevad lühikesed.

Ühenduses sellega on igas aastas külmad ja soojad aastaajad, järjest vaheldudes üksteisega. Seda loodusenähtust nimetatakse aastaegade vahelduseks. Aastaegade vaheldusel muutub aasta jooksul pidevalt Päikese keskpäevane kõrgus, samuti tema nähtava päevase tee ning öö ja päeva pikkus.

Nende muutuste põhjus seisab selles, et Maa telg on maaorbiidi tasapinna suhtes pisut kaldu.

Pöördume joonisele 30.

Joonise paremal pool on Maa telje põhjapoolne ots suunatud Päikese poole. See Maa asend vastab kesksuuele Maa põhjapoolkeral ja talvele lõunapoolkeral. Päikese kiired langevad põhjapoolkerale väiksema kaldega ja seetõttu soojen-



Joon. 30. Aastaegade vahelduse skeem.

davad Maad tugevamini, samuti kui päeval nad soojendavad maapinda tugevamini kui hommikul, kui Päikese kiired langevad rohkem kaldu.

Sellises asendis põhja-polaarpiirkonnad hulk päevi järjest on valgustatud loojumatult Päikeselt. Samal viisil paljude ööpäevade jooksul, s. o. hulkade Maa pöörete vältel ümber telje, jäävad lõuna-polaarpiirkonnad ilma Päikese valguseta. Seal on pikk polaaröö.

Keskmistes põhjalaiustes Maa ööpäeval pöörlemisel tema pinna iga punkt kujutab suurema osa teest Päikese kiirte all, s. o. päev on pikem ööst. Maa lõunapoolkeral aga on pilt vastupidine: Päikese kiired langevad temale viltu, suure kaldega; päevad on lühikesed, ööd pikad (talv).

Nagu me juba kirjeldasime paragrahvis 24, on nurk Päikese vaatesuuna ja ekvaatori tasapinna vahel kõige suurem ( $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ). Seetõttu Päikese keskpäevane kõrgus Moskvast kesksuvel ulatub peaaegu  $58^{\circ}$ -ni ( $23\frac{1}{2}^{\circ} + 34\frac{1}{4}^{\circ}$ ).

Vasakul on kujutatud Maa põhjapoolkera asend südatalvel. Selles asendis võib Maa põhjapoolkerast öelda kõike sedasama, mis äsja kõneldi Maa lõunapoolkerast, ja ümberpöördult.

Maa asend kevadisel pöörpäeval on kujutatud 30. joonise alumises osas. Maa sellises asendis Päikese kiired langevad ekvaatoril püstloodis; Päike on taeva ekvaatoril. Maa mõlema poolkera keskmistel laiustel Päikese kiired langevad nurga all, mis on vahepealne nende langemisele suvisel ja talvisel perioodil. Maa mõlemal poolusel paistab Päike horisondi tasapinnas, sest see tasapind on maakeral puute-tasapinnaks ja pooluste puhul rööpne ekvaatori tasapinnaga.

Päike pole Maale nii lähedal, nagu see on näidatud joonisel, vaid väga kaugel. Seepärast tema kiired tulevad Maa pinnale peaaegu rööbiti üksteisega. Seepärast Päike, viibides kevadisel võrdpäevsuse ajal taeva ekvaatoril, on ühtlasi horisondi tasapinnas vaatlejaile, kes asuvad Maa poolustel.

Samasugune on Maa asend Päikese kiirte suhtes ka sügisel võrdpäevsuse ajal.

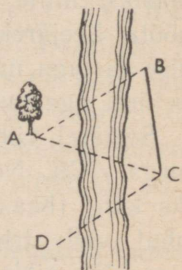
Võrdpäevsuse ajal läbib päeva ja öö piir Maa mõlemaid pooluseid ja Maa mistahes punkt kujutab Maa pöörlemisel ümber telje ühepikkused teed Maa valgustatud ja valgustamata poolel, s. o. kogu Maal peab päev võrduma ööga.

**§ 29. Parallaktiline nihkumine.** Järgmises paragrahvis me käsitleme Maa ümber Päikese liikumise tõestust. Et sellest tõestusest aru saada, on vaja enne tutvuda parallaktilise nihkumise nähtusega. Seda kasutatakse ka taevakehade kauguste määramisel. Parallaktiline nihkumine on eseme näiv nihkumine, mis on põhjustatud vaatleja asukoha muutusest. Teisiti öeldes, parallaktiline nihkumine seisneb vaadeldava eseme vaatesuuna muutumises, sõltuvalt vaatleja asukoha muutumisest.

Selgitame seda järgmise näitega. Kui vaadelda lae all ripuvat lampi, siis näeme teda lae tagapõhjal kindlas suunas. Kui nüüd läheme kõrvale ja uuesti heidame pilgu lambile, siis näeme teda juba teises suunas: ta paistab lae tagapõhjal selle teises kohas.

Nende kahe punkti kaugust, milledest vaatleja eset viseerib (sihtleb), nimetatakse baasiks.

Parallaktiline nihe suureneb baasi suurenemisega ja kauguse vähenemisega vaadeldavast esemest. Selles on kerge veenduda, kui liikuda toas edasi suurema vahemaa võrra. Sel juhul lamp nihkub lae tagapõhjal rohkem. Teisest küljest, meile lähedase telefoniposti või puu parallaktiline nihkumine temast



Joon. 31. Juurdepääsematu eseme kauguse mõõtmine.

mööda kõndimisel või sõitmisel on kaugel metsa foonil suurem kui meist kaugema posti või puu nihkumine.

Teades baasi pikkust ja mõõtes nurgad tema ja baasi otstest võetud eseme vaatesuundade vahel, võib määrata eseme kaugust arvutamise teel, ilma et tarvitseks mõõta seda kaugust otseselt. Seda võimalust kasutatakse laialt maamõõtmisel, sõjas — kui on vaja määrata sihiku kaugust, ning astronoomias taevakehade kauguse määramiseks.

Olgu näiteks vaja määrata kaugus  $AB$  puuni  $A$  (joon. 31), mis kasvab jõe teisel kaldal. Selleks otstarbeks valime meiepoolisel kaldal punkti  $C$  nõnda, et joon  $BC$  oleks baasiks, mille pikkust oleks võimalik hõlpsasti ja täpselt mõõta. Seejärel, asudes ise punktis  $B$ , mõõdame nurgamõõtmise riistaga nurga  $ABC$ , milleks juhime riista esiti esemele, seejärel aga punktile  $C$  (kuhu harilikult lüüakse vai).

Seejärel viime riista punkti  $C$  ja samal viisil mõõdame nurga  $ACB$ . Nõnda me saame kolmnurga, milles on teada üks külge (baasi  $BC$  pikkus) ja selle kaks lähisnurka. Sel juhul võib trigonomeetria reeglite põhjal arvutada kahe teise külje pikkuse —  $BA$  ja  $CA$ , s. o. eseme kauguse.

Et kolmnurga kahte külge on võimalik määrata teades kolmanda külje pikkust ja selle kahte lähisnurka, selles võib veenduda ka ilma trigonomeetria kasutamisetä järgmise konstruktsiooni abil. Oletame, et baasi pikkus on 100 m ja nurkade suurused:  $ABC = 62^\circ$  ja  $ACB = 74^\circ$ . Märgime paberil baasi  $BC$  mõõdus 1 m = 1 mm ja malli abil antud nurgad. Mõõtnud jooniselt antud nurkade juures esinevad küljed  $AB$  ja  $BC$ , veendume, et nende pikkused vastavalt on 138 ja 127 mm, s. o. võib väita, et  $B$  kaugus üle jõe olevast puust moodustab 138 m,  $C$  kaugus aga 127 m.

Kauguste hindamine „silma järgi” põhineb samal paralaktilise nihkumise nähtusel ühenduses harjutamisega. Kauget eset vaadeldakse parema ja vasaku silmaga, baasina

esineb nendevaheline kaugus. Inimesed, kes on kaotanud nägemise ühe silmaga, hindavad vaevaliselt esemete kaugust. Kaugusemõõtjad, mida kasutatakse sõjaasjanduses sihiku kauguse määramiseks, samuti põhinevad kirjeldatud nähtusel. Vahe kaugusemõõtja kahe objektiivi vahel on suurem kui silmade vahe ja seetõttu läbi kaugusemõõtja vaadates on parallaktiline nihkumine märgatavam.

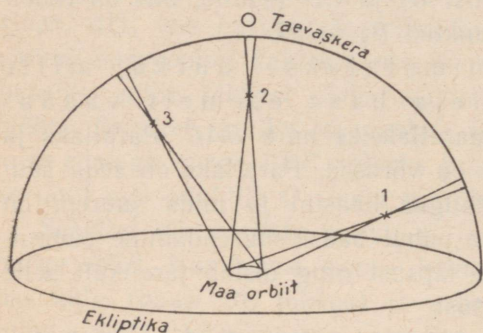
Tähendame veel, et joonisel 31 on parallaktiline nihkumine kujutatud nurgaga  $ACD$ , mis võrdub nurgaga  $CA$  (suund esemele  $A$  punktist  $C$ ) ja  $CD$  (suund, mis on rööbitine suunaga esemele punktist  $B$ ) vahel.

Parallaksiks nimetatakse nurka, mille all paistab vaatleja baas esemelt vaadatuduna. Joonisel 31 on parallaksiks nurk  $BAC$ . Parallaks ja parallaktiline nihkumine on võrdsed. Parallaks on seda suurem, mida lühem on kaugus baasini ja mida suurem on baas ise. Antud kauguse puhul baasi suurendamine suurendab parallaksi mõõtmise täpsust ning tõstab järelikult selle kauguse määramise täpsust.

**§ 30. Aastaparallaks kui tõestus Maa ringlemisest ümber Päikese.** Et Maa tõepoolest liigub ümber Päikese, seda taipas suur teadlane Kopernik enam kui neli sajandit tagasi. Ta siiski ei suutnud tõestada seda väga täpselt ja tõelised Maa ringlemise tõestused saadi alles hiljem. Praegusel ajal on selliseid tõestusi rohkesti. Vähe sellest, võib öelda, et kõik astronoomia hämmastavad avastused ja saavutused, samuti terve rida avastusi teiste teaduste valdkonnas tõestavad, et Maa pöörleb ümber telje ja ringleb ümber Päikese. Kui see poleks nõnda, s. o. kui Maa oleks liikumatu, nagu näib esimesel pilgul ja nagu arvati vanasti, siis oleksid kõik need avastused üldse olnud võimatud ja neid ei oleks kunagi tehtud.

Toome ainult ühe Maa ümber Päikese ringlemise tõestusest ja nimelt — tähtede aastaparallaksi ole-

masolu. Kui Maa püsiks paigal, siis vaateleja näeks Maalt iga tähte alati ühes ning samas suunas, alati ühes ning samas taevaskera punktis. Kuid Maa liigub ja ühes temaga muutub vaateleja asend maailmaruumis. Kuivõrd vaateleja muudab oma asukohta, peavad tähed osutama parallaktilist nihkumist. Kui vaateleja koos Maaga nihkuks mööda sirget, siis parallaktiline nihkumine mõjuks pidevalt ikka ühes ning samas suunas ja mõni täht kuust kuusse ja aastast aastasse nihkuks taevavõlvil ikka ühele poole.



Joon. 32. Tähtede aastane parallaktiline nihkumine sõltuvalt nende kaugusest ja asendist ekliptika suhtes.

Peale selle, nagu me juba teame, sõltub parallaktiline nihkumine kaugusest. Seepärast meile lähemad tähed peavad näitama suuremaid parallaktilisi nihkumisi, kaugemad aga väiksemaid.

Tähtede aastast parallaktilist nihkumist on kerge endale selgeks teha järgmise katse abil.

Jälgime, kuidas muutub lambi asend lae tagapõhjal vaateleja liikudes ümber laua, mis seisab lambi all. Lamp näiliselt järjest nihkudes lae tagapõhjal, kujutab mõnesuguse suletud tee.

Joonisel 32 on skemaatiliselt näidatud tähtede parallaktiline nihkumine Maa liikumisel ümber Päikese mitmesugus-

Et vaateleja koos Maaga aasta jooksul liigub ümber Päikese peaaegu mööda ringjoont ja aasta pärast kordab sama teed uuesti, peavad tähed osutama parallaktilist nihkumist perioodiga üks aasta. See näiv tähtede nihkumine peab iga aasta korduma uuesti; ta peab olema perioodiline.

tel kaugustel neist tähtedest ja erinevates suundades, millistes nad paistavad.

Aastaparallaksi nähtus seisab selles, et iga täht kujutab taevavõlvil aasta jooksul suletud kõvera, mille kuju sõltub tähe suunast, nurksuurus aga — tema kaugusest.

Kopernik arvas õieti, et tähtedel peab olema aastaparallaks. Kuid tähtede kaugused Maast on sedavõrd suured, et nende parallaktilised nihkumised on väga väikesed. Seepärast ei Kopernik ega XVII ja XVIII sajandi astronoomid ei võinud panna tähele tähtede parallaktilist nihkumist, kuna neil ei olnud vajaliku täpsusega mõõteriistu.

Ainult umbes sada aastat tagasi läks vene õpetlasel W. Struve'l kõige täpsemate riistade abil korda esimesena ilmsiks teha ja mõõta ühe lähima tähe parallaksi (1838. a.).

Kõige suurem parallaks on meile lähimal tähel, nimega Proxima Kentauris (ladina keeles *proxima* tähendab lähim. NSV Liidus Kentauri tähtkuju pole nähtav). Vahe tema äärmiste, suurimate nihete vahel taevaskeral (ajamomentidel, mis on lahutatud pooleaastase vahemikuga) on ainult  $1\frac{1}{2}''$ . Niisuguse nurga all paistab tuletiku paksus 130 m kauguselt. Kui suur peab olema teleskoopide valmistamise täpsus ja vaatlejate osavus, et mõõta nii väikesi tähtede nihkumisi.

Proxima Kentauris pole palja silmaga nähtav ja seepärast nimetatakse vahel lähimaks temaga naabruses olevat esimese suuruse tähte —  $\alpha$  Kentauris, mis on meist ainult õige vähe kaugemal kui Proxima.

Märkigem, et taevakehade kohta, mis Maaga sarnaselt ringlevad ümber Päikese, nagu planeedid ja komeedid, pole aastaparallaksi mõiste rakendatav. Nende kaugus määratakse teiste meetoditega.

## II JAGU.

# TEADUSLIKU MAAILMAVAATE ARENEMINE.

### IV peatükk.

## Astronoomia vanal ajal.

§ 31. **Taevakehade kultus ja astroloogia.** Kui inimene veel ei mõistnud looduseadusi, siis tundis ta igal sammul oma abitust ja sõltuvust ümbritsevast maailmast. Ta kummardas pimesi loodusjõudude ees ja pidas neid jumalaiks. Jumalaiks peeti välku, müristamist, tuult ja taevakehi, esijoones Päikest ja Kuud. Kõige enam oli arenenud Päikese kummardamine (Päikese kultus). Pannes tähele päikesekiirte elustavat mõju kogu loodusele, kuid mitte mõistes selatada nende allikat ja mõjumisviisi, kujutlesid inimesed endale Päikest hea ja vägeva jumalana. Nõnda tekkis looduseaduste mittetundmisest usk üleloomulikesse jõududesse ja arenes nende kummardamine, kujunesid religioossed uskumused ja kujutlused.

Päikese ja tema kujutiste kummardamine esines paljude vanade rahvaste juures. Päikest kummardasid inkad — vana Peruuasukad, pärslased, egiptlased. Egiptuses ehitati Päikese auks templeid ja oli „Päikese linn” — Heliopoolis. Slaavlastel oli päikesejumal nimega Jarilo. Allegoorilises vormis kirjeldatud valgusejumala juhtumused, s. o. Päikese

rännak mööda ekliptikat, moodustabki päikesemüütide sisu mitmesugustel rahvastel.

Oma vastupeegelduse leidsid päikesemüüdid ka vanaaja usundeis, ja usundeis, mis tekkisid hiljem, nende hulgas ka ristiusus. Näiteks „Kristuse sündimise” püha, mis on üle viidud talvise pööripäeva ajale, osutub üheks vanimaks igandiks — päikesejumala sündimise pühaks.

Risti- ja paganausu jaanipäevaga — püha Ristija Johannese pühaga (24. juuni), millega käis kaasas Venemaa enne-revolutsiooniaegses külas üle põleva tule hüppamine, on seotud muistse kummardamisega Päikese soojuse ees (mida tähistatigi tulega). Ta on seotud suvise pööripäevaga. Selliseid Päikese kultuse igandeid oli ja on veelgi õige palju.

Kuu kummardamine on säilitanud oma jäljed muhamedi usus, milles Kuu sirp („poolkuu”) on usuliseks sümboliks. Tema kujutised seatakse üles mošeedel, paigutatakse lippudele, kasutatakse rõivaste ja relvade ilustuseks.

Usuliste väärarvamuste ja taevakehade austamise põhjal kujunesid fantastilised kujutlused sellest, et taevakehad mõjutavad maisi sündmusi. Õpetust sellest mõjust ja võimalusest ennustada sündmusi taevakehade asetuse põhjal nimetati **a s t r o l o o g i a k s**.

Astroloogia sisaldab mitmesugustes detailides väljatöötatud viise ja reegleid, millede abil nagu oleks võimalik taevakehade asetuse põhjal ennustada rahvaste ning üksikisikute saatust, samuti mitmesuguseid sündmusi.

Inimesi, kes tegelesid selliste ennustamisega, kutsuti astroloogideks. Ennustused koostati horoskoopide näol. (Nõnda nimetati erilisi tabelleid taevakehade asetuse kohta teatud ajamomendil, koos nende tõlgendusega.)

Vanal ja keskajal olid keisritel, kuningatel, vürstidel, valitsejatel ja väepealikutel oma alalised kojaastroloogid, kellede poole nad pöördusid ennustuste saamiseks riigi valitsemisel, sõdade pidamisel ja isiklikes asjus.

Soodsa pinna astroloogia arenguks lõi planeetide keeruliste silmusetaoliste liikumiste põhjuste mittemõistmine. Usk taevaelanikesse, kes nagu valitseksid kogu maailma, tekitas nende taevakehade jumaldamise. Sellest ka nende nimetused jumalate nimedega, kellede käskjalgadeks arvati olevat planeetid. Mitte teades, et mistahes loodusenähtused ja ühiskondlikud sündmused on tingitud täiesti seaduspäraseist loomulikest põhjustest ega olene mõnesuguste vaimude või jumaluste tahtest, uskusid inimesed astrolooge. Sel alusel tekkis ka usk „õnnelikkusesse tähtedesse” ja „õnnetusttoovatesse planeetidesse”.

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

**§ 32. Astronoomia vanaaja rahvaste juures.** Vanaaja rändrahvastel tekkisid astronoomilised teadmised vajadusest määrata kellaaega ja leida öösel õiget suunda stepis või kõrbes. Juba neil kaugetel aegadel olid eraldatud peamised tähtkujud, määratud kindlaks kuu vältus ja vaadeldi Päikese ning tähtede teed horisondi suhtes.

Inimese siirdumisel põllundusele astronoomia vajadus kasvas. Põllumehel läheb vaja kalendrit, et varakult reguleerida põllutöid kooskõlas aastaaegadega. Pikaajaliste vaatluste abil tehti kindlaks, et aastaaegade täpseimaks näitajaks osutub Päikese asend taevas teatud tähtkujude suhtes. Sel alusel määrati kindlaks ka aasta kestus.

Meresõitjatel tuli alatasa orienteeruda tähtede järgi, hiljem aga määrasid nad Põhjvanaela kõrguse põhjal horisondist, millisel geograafilisel laiusel laev asus.

Selliseid teadmisi, samuti teadmisi rändtähtedest — planeetidest ja nende näivatest silmusetaolistest liikumistest, oli juba vanadel egiptlastel ja babüloomlastel. Mitu tuhat aastat enne meid näiteks Babüloonia preestrid toimetasid

taevakehade vaatlusi kõrgetest templitest, mis tol ajal olid omamoodi observatooriumideks.

Nii babüloonlaste kui ka egiptlaste juures kasutasid preestrid — usukultuse teenrid — teadust oma klassi huvides. Preestrid hoidsid oma teadmisi ranges saladuses, et säilitada oma autoriteeti ja võimu. Kalendriliste tähtaegade kindlaksmääramine, kaasa arvatud usulised pühad, mis olid seotud taevakehade austamisega, kindlustasid preestrite kui astronoomilisi teadmisi omajate võimu. Preestrid kogusid taevanähtustest hulga faktilisi andmeid, kuid ei mõistnud neid õieti seletada. Taevakehade loomuse tundmaõppimise asemel arendasid preestrid astroloogiat ja sedaviisi hoidsid ebausuhirmus mitte üksi rahvast, vaid ka tema valitsejaid.

Preestrite õpetuse järgi olid maailma loonud ja valitsesid teda jumalad. Seda maailma loomist kirjeldati usulistes legendides mitmesugustes variantides, milledest üks (vanababüloonia oma) sattus Piiblisse. Selle legendi järgi kujutab taevast endast kindlat kuplit („taevalaotus”), mis toetub tasapinnalise Maa äärtele. Taevast on „taevaelanike” eluase, kes on maailma loonud. Selliste vaadete alusel arenes kujutus sügavast erinevusest maise (maapealse) ja taevase, „siinse” ja „teispoelse”, loomuliku ja üleloomuliku, materiaalse ja vaimse, tunnetatava ja tunnetamatuks peetava vahel. Siit on pärit ka meie päevini säilinud kõnekäänd „vahe nagu taeva ja maa vahel”.

Pärast seda kui poliitilise ja kultuuri-elu keskpunkt nihkus Babülooniast ja Egiptusest Kreekamaale, said kogutud astronoomilised teadmised kreeka mõtteteadlaste omaks. Astronoomia sai nende juures edasise arengu osaliseks, sest kreeklased kui julged meresõitjad eriti vajasisid seda teadust ja rakendasid selles edukalt oma matemaatilisi teadmisi.

**§ 33. Aristotelese ja Ptolemaiiose maailma-süsteem.** Laialt ulatusliku üldistuse kreeka teaduse saavutustest andis IV sajandil e. m. a. üks suurimaid vana-maailma õpetlasi —

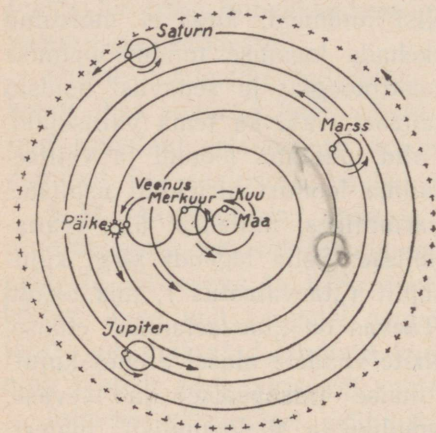
Aristoteles (384—322 e. m. a.). Ta kirjeldas üksikasjaliselt maailma ehitust tolle aja teadmiste ja kujutluste alusel.

Aristotelese järgi oli iga planeet, Päike ja Kuu kinnitatud läbipaistvale taevasele sfäärile — iga taevakeha oma sfäärile. Kõige kaugemale neist sfääridest olid paigutatud tähed. Kõik need sfäärid on kontsentriselt asetatud üksteise sisse ja nende keskel asub liikumatu maakera. Taevased sfäärid pöörlevad ümber Maa erinevate kiirustega, üksteist

osaliselt kaasa tõmmates, millest Aristotelese ütluse järgi tulenevadki kõik näivad taevakehade liikumised.

Maailma-süsteemi Maaga keskpunktis nimetatakse geotsentriliseks süsteemiks.

Vana-kreeka astronoomia ülimaks saavutuseks osutus maailma-süsteem, mis on esitatud II sajandil m. a. j.



Joon. 33. Maailma-süsteem Ptolemaiuse järgi.

Aleksandria õpetlase Claudios Ptolemáiose poolt (joon. 33). Tema samuti lähtus geotsentrilistest kujutlustest. Silmusetooliste liikumiste seletamiseks eeldas Ptolemaios, et iga planeet liigub ühtlaselt mööda väikest ringi, mida nimetatakse epitsükliks, kuna selle ringi keskpunkt omakorda liigub mööda suurt ringjoont ümber Maa. Nende kahe eri tasapindades toimuva liikumise liitumine tekitabki Maalt vaadates planeetide silmusetoolise liikumise — vahel päri-, vahel vastupidises suunas.

Ptolemaios arvutas epitsüklite suuruse. Selle põhjal oli võimalik ette ära määrata, missuguses kohas taeval mõni planeet teatud ajal asub.

§ 34. Keskaegsed kujutlused maailmast. Pärast kreeka riikide ja nende kultuuri langust algas Lääne-Euroopa areng. Kuid seal valitses keskajal väga primitiivne majapidamisviis, mis vähe oli huvitatud teadusest. Meresõit oli vähe arenenud, kristlik kirik aga, kes valitses inimeste mõttemaailmia ja omas samasugust võimu kui endine preesterkond, keelas teaduste uurimise ära kui patuse tegevuse.

Tol ajal esinesid veel naiivsemad ja algelisemad kujutlused maailmast kui egiptlastel ja kreeklastel, astroloogia aga õitses täies hiilguses. Ei tunnistatud isegi Maa kera-sust: kooskõlas usuliste vaadetega kujutleti Maad tasase ringina või koguni nelinurgana. Tähti aga peeti kuldnael-teks, mis on löödud taeva võlvi, või inglite poolt süüdata-vaiks ripplampideks.

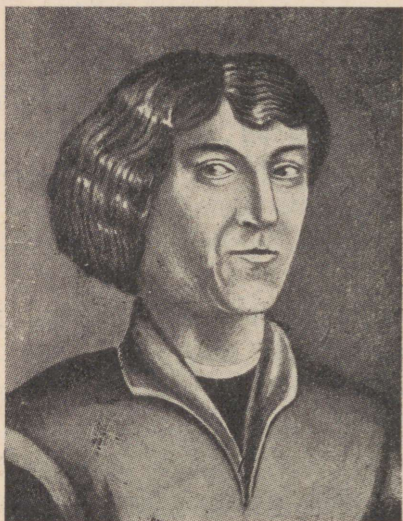
Suurte geograafiliste avastuste ajastul, mil eurooplased võtsid julguse uute rikkuste haaramiseks sõita mööda mere-sid ja koguni mööda ookeane, tuli tahes-tahtmata pöörduda astronoomia poole. Toodi päevavalgele kreeklaste pärand — Aristotelese ja Ptolemaiiose teooriad. Keskaja araablased päästsid vana-kreeka kirjanike tööd paratamatust hävimi-sest ajal, mil kristlik kirik kiusas fanaatiliselt taga kõike usuvastast. Araablastelt, kes hindasid astronoomiat ja töö-tasid sel alal, on säilinud astronoomias hulk nimesid ja astronoomilisi oskussõnu.

Kaugete merereiside kasudest ise huvitatud kirikuvalitse-jad otsustasid lubada nende teooriate uurimist mõnede kit-senduste ja täiendustega oma usuliste õpetuste vaimus.

## Revolutsioon maailmavaates.

§ 35. Koperniku revolutsiooniline avastus. Meresõitude areng nõudis astronoomilistelt arvutustelt järjest suuremat täpsust. Ptolemaiiose teooria seda anda ei suutnud. Pealegi tuli Ptolemaiiose teooriat, tema kooskõlastamiseks suurema

täpsusega toimetatud vaatlustega, muuta tublisti keerulisemaks, eeldades, et igal planeedil on terve rida epitsükleid, mis on asetatud üksteise peale. Ptolemaiiose teooria muutus arvutusteks ebamugavaks ja raskepäraseks, ühes sellega aga hakkas näima ka vähe tõenäolisena.



Joon. 34. Nikolai Kopernik  
(1473—1543).

Määrata kindlaks maailma tõeline ehitus ja avada sellega inimestel silmad nende õige koha suhtes looduses, see ülesanne sai osaks geniaalsele slaavlastele Nikolai Kopernikule (1473—1543).

Põhjalikult järele uurinud kõike seda, mis oli teada taevakehadest tema ajal, nende hulgas ka vana-kreeka teadlaste tööd, tuli Kopernik veendumusele, et Maa liigub, ning järeldusele, et taevakehade nähtavaid liikumisi võib lihtsalt ja paremini ära seletada, kui lähtuda Maa liikumistest.

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

Planeetidel ei ole oma valgust: neid samuti nagu Maadki valgustab Päike. Ainult seetõttu me neid näemegi.

Sedaviisi muutus Maa Koperniku teooria järgi üheks planeetidest, asudes kauguselt Päikesest kolmandal kohal. Planeetide asetuse järjekord on selline: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter ja Saturn.

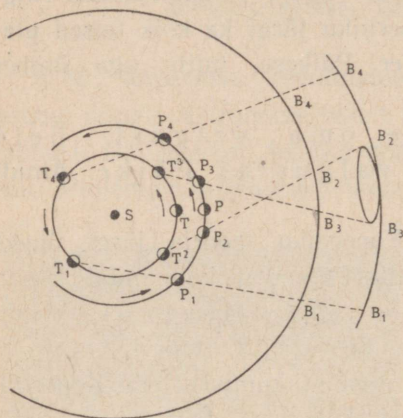
Planeetide silmuseaolisi näivaid liikumisi seletas Kopernik Maa liikumise ja iga planeedi liikumise liitmise abil. Et iga planeet teeb ühe täisringi ümber Päikese erisuguse ajavahemiku jooksul, siis juhtub, et Maa näiteks nagu jõuab ette planeedist ja siis planeet näib nihkuvat tähtede suhtes läände. Kui aga Maa (ringeldes ümber Päikese) liigub planeedile vastassuunas, siis planeet näivalt nihkub itta.

Kopernik määras planeetide ringlemisperioodid (ehk ajad) ja nende suhtelised kaugused Päikesest, võttes ühikuks Maa kauguse Päikesest.

Kopernik oli oma avastuse pärast mures ja otsustas selle avaldamise alles pärast pikki vaevavaid kahtlusi. Ta taipas, et tema avastus toob endaga kaasa määratu suured tagajärjed, olles vastuolus kogu tolle aja maailmavaate kõige põhilisemate alustega. Tema teaduslikus julguses ilmneb tõelise teaduse põhiline olemus, mis ei tunnista järeleandmisi ja kompromisse ning murrab julgelt vananenud norme ja seisukohti, kuigi nad oleksid üldiselt kehtivad.

Kopernik oma õpetusega rajas alguse astronoomia arengule täiesti uutal alustel ja sundis inimsugu asuma looduse

uurimisele, hoolimata kiriku vananenud õpetusest, mis põhines vanaaja harimatusel. Enne Kopernikut kiriklikud õpetused, või õpetused, milliseid kirik toetas, nagu näiteks Ptolemaiose õpetus, pidurdasid mitte üksi astronoomia, vaid ka teiste teaduste arenemist. Koperniku avastus kutsus esile revolutsiooni inimeste maailmavaates, nende arusaamises loodusest ja selle tunnetamise viisides. Seepärast sellest ajast peale hakkasid ka teised teadused arenema kiiremini ja õigemini.



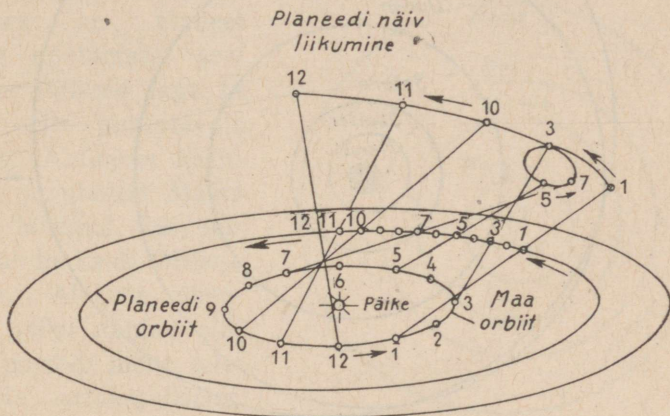
Joon. 35. Näivate silmusetaoliste liikumiste seletamine Koperniku järgi.

tada kõigi oma avastuste tõepärasust ja üksikasjaliselt uurida planeetide liikumisi ning nende põhjusi. See õnnestus varsti tema järelkäijatel.

**§ 36. Planeetide näivate liikumiste seletamine Koperniku teooria järgi.** Et selgemini kujutleda planeetide silmusetaolise näiva liikumise põhjust taevaskeral (tähtede foonil), vaatleme joonist 35. Joonisel  $S$  kujutab Päikest, ringjoon  $T_1 T_2 T_3 T_4$  — Maa aastast teed, ringjoon  $P_1 P_2 P_3 P_4$  aga teed, mida mööda mõni planeet, näiteks Marss, liigub ümber Päikesest. Mida kaugemal Päikesest on planeet, seda väiksem on ta liikumise nurk- ja ka joonkiirus. Tähtedega  $T$  ja  $P$ , kui neil on ühesugused indeksid, on tähistatud Maa ja Marsi üheaegsed asendid. Ringjoone-osa  $B_1 B_2 B_3 B_4$  kujutab osa taevaskerast ja sellele meie, vaadeldes Maalt, projekteerime planeedi.

Kopernikul ei läinud korda täie rangusega tõesta

Kui maa asub punktis  $T_1$ , siis Marss on punktis  $P_1$  ja meie näeme teda suunas  $T_1P_1$  — punktis  $B_1$  taevaskeral. Mõne aja pärast nihkub Maa punkti  $T_2$ , Marss —  $P_2$ , tema projektsioon aga taevaskeral — punkti  $B_2$ . Jätkates sellist konstruktsiooni ja jälgides, kuidas seejuures liigub Marsi projektsioon taevaskeral, me veendume, et Marss liikus tähistaeva foonil esiti vasakule, ida poole (nn. „päripidine liikumine” punktist  $B_1$  kuni punktini  $B_2$ ), seejärel ta nagu



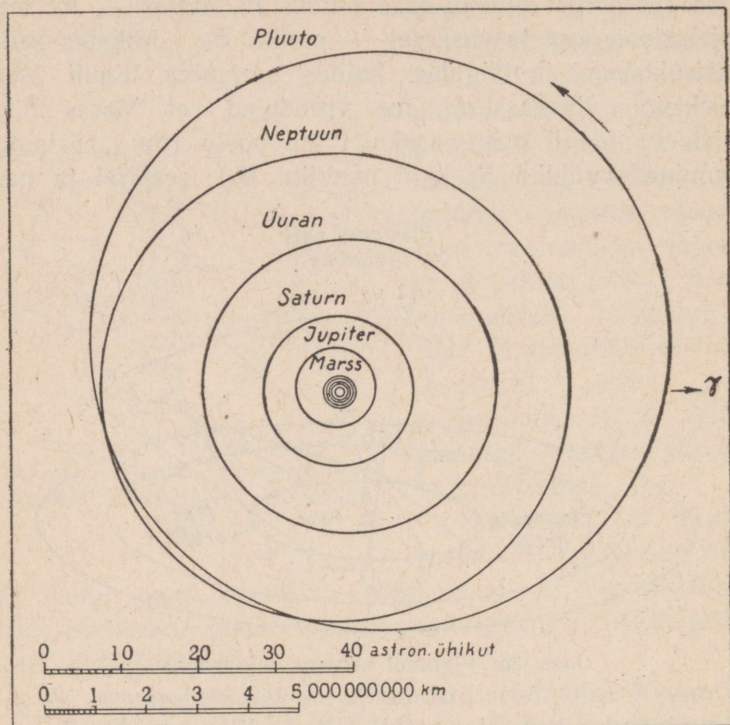
Joon. 36. Planeedi silmuse kujunemine.

oleks jäänud seisma, ja punktist  $B_2$  ta liikus punkti  $B_3$ , s. o. läände, paremale (nn. „vastupidine liikumine”). See liikumine osutus näivaks liikumiseks, mis oli esile kutsutud kahe liikumise koosmõjust — vaateleja liikumisest ruumis koos Maaga ja planeedi tõelisest liikumisest ümber Päikesega.

Enam või vähem avatud silmus, planeedi võnkumise asemel taevaskeral mööda sirget, tekib sellest, et Maa ja planeedi liikumise tasapinnad ei ühti.

Planeedi näiv liikumine mööda silmust on näidatud joonisel 35. See joonis kujutab Maa ja planeetide teed plaanis. Joonis 36 kujutab sedasama ruumis. Samalaadseid jooniseid

võib konstrueerida ka planeedi kohta, mis on Päikesele lähemal kui Maa.



Joon. 37. Päikesesüsteemi plaan.

**§ 37. Planeetide konfiguratsioonid.** Planeedi teed maailmaruumis nimetatakse tema orbiidiks. Planeete, millede orbiidid on seespool Maa orbiiti, nimetatakse sisemisteks. Planeete, mis on Päikesest kaugemal kui Maa, nimetatakse välisteks (joon. 37 ja 38).

Igal antud momendil omab milline tahes planeet kindlat asendit oma orbiidil. Planeedi asendit Maa ja

Päikese suhtes nimetatakse tema konfiguratsiooniks.

Sise- ja välisplaneetide konfiguratsioonid erinevad üksteisest; nad on kujutatud joonisel 39.

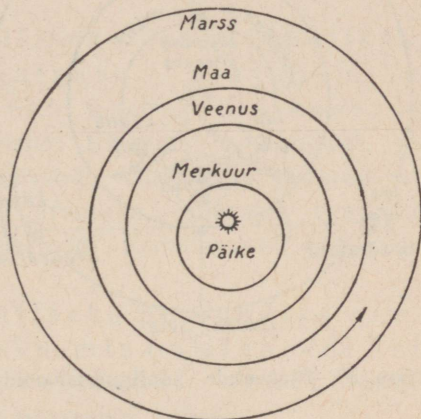
Siseplaneetide (s. o. Merkuuri ja Veenuse) puhul on iseloomulikud konfiguratsioonid: ülemine ja alumine ühendus ning elongatsioon. Ühenduste puhul asetsevad planeet, Päike ja Maa ühel ning samal sirgel.

Ülemise ühenduse läheduses on planeet Maalt nähtamatu, sest asudes Päikese taga ta kaob selle pimestavais kiirtes. Alumises ühenduses on planeet Maale kõige lähemal, kuid selgi ajal ta kaob Päikese kiirtes. Alumise ühenduse paiku nähtav planeet paistab meile teleskoobis sirkujulisena.

Siseplaneetid, olles alumises ühenduses, projekteeruvad vahel

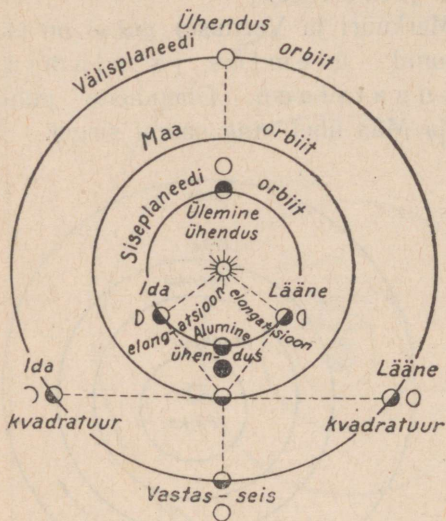
väikeste mustade ringikestena otse Päikese kettale. Seejuures nad liiguvad mööda Päikese ketast, mistõttu selliseid nähtusi nimetatakse Päikese ketta eest möödumisteks. Merkuuriga juhtub seda sagedamini (harilikult üks kord 13 aasta kestel), Veenusega aga õige harva. (Tema viimane möödumine Päikesest oli 1882. a., järgmine aga tuleb alles 2004. a.)

Päikesest suurimate nurkkauguste puhul, mida nimetatakse suurimateks elongatsioonideks, on siseplaneetidel heleda poolketta kuju. Vasta-



Joon. 38. Nelja Päikesele lähima planeedi orbiidid.

valt sellele, kummal pool Päikest meile paistab planeet, eristatakse lääne- ja idapoolseid elongatsioone. Merkuuri suurim kaugus on  $28^{\circ}$ , Veenusel  $47^{\circ}$ .



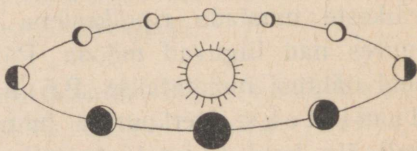
Joon. 39. Planeetide konfiguratsioonid.

tasseis. Esimesel juhul on planeet nähtamatu, sest ta asub Päikese taga; teisel juhul, kui vaadata Maa pealt, on ta Päikesele otse vastaspool. Vastasseis on parim aeg välisplaneedi vaatlemiseks, sest sel juhul on ta Maale kõige lähemal ja kulmineerib keskööl, s. o. paistab kogu öö või suurema osa sellest.

Konfiguratsiooni, kus suund Maalt planeedile moodustab suunaga Päikesele täisnurga, nimetatakse kvadratuur-

Siseplaneedi nähtava nurkdiameetri ja nähtava kaju (faaside vaheldus) muutused on kujutatud joonisel 40. Siseplaneetide parimaks vaatlusperioodiks osutub aeg nende maksimumsete elongatsioonide paiku, mil nad paistavad öö lõpupoole või õhtul ja asetsevad küllalt kõrgel horisondist.

Välisplaneedi (Marss, Jupiter jt.) puhul on iseloomulikud: ühendus Päikesega ja vastasseis.



Joon. 40. Siseplaneedi faasi ja näiva diameetri muutused, sõltuvalt tema asendist Maa ja Päikese suhtes.

riks. Kvadratuuri puhul on planeet nähtav ainult pool ööd, s. o. alates õhtust või pärast keskööd.

Planeedi nähtavuse tingimusi mõjutab samuti ka see, millises zodiaagi tähtkujus ta asetseb. Näiteks meie laiustel Skorpioni ja Amburi tähtkujud ei tõuse kõrgele horisondi kohale ning on nähtavad lühikest aega, mis märgatavalt halvendab neis viibiva planeedi vaatlustingimusi.

### § 38. Planeetide ringlemise sideerilised ja sünoodilised perioodid.

Planeedi sideeriliseks (ehk täheliseks) perioodiks nimetatakse ajavahemikku, mille jooksul ta teeb ümber Päikese ühe täisringi. Mida kaugemal Päikesest on planeet, seda suurem on ta sideeriline periood. Otseselt vaatlustest seda määrata ei saa. Teda võib arvutada, määrates vaatlustest esiti planeedi sünoodilise perioodi. Esmakordselt tegi nõnda Kopernik.

Planeedi sünoodiliseks perioodiks nimetatakse ajavahemikku, mis on planeedi kahe ühesuguse konfiguratsiooni vahel, näiteks kahe üksteisele järgneva vastasseisu vahel.

Vastasseisus planeet kulmineerib keskööl. Selle tunnuse põhjal pole raske määrata sünoodilist perioodi, selle järgi aga ka sideerilist.

Seos mõne planeedi sideerilise perioodi pikkuse  $S$  ja sünoodilise perioodi pikkuse  $P$  vahel määratakse nõndaviisi. Tähistame  $T$  abil Maa sideerilise perioodi pikkuse, s. o. aasta. Siis ööpäeva jooksul läbib Maa oma teel kaare  $360^\circ : T$ , planeet aga  $360^\circ : S$ . Kui võtta välisplaneet, mis ringleb ümber Päikese aeglasemalt kui Maa, siis iga ööpäeva jooksul jõuab Maa temast ette suuruse  $(360^\circ : T) - (360^\circ : S)$  võrra. Kui mõnesugusel momendil planeet asus vastasseisus, siis  $P$  ööpäeva möödudes planeet asub uuesti vastasseisus, sest  $P$  on sideeriline periood. Selle aja kestel peab Maa planeedist ette jõudma  $360^\circ$  võrra. Järelikult

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

Koondades  $\cdot 360^\circ$ -ga ja viies  $P$  üle võrrandi paremale poole, saame

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

See valem võimaldab määrata planeedi sideerilist perioodi  $S$ , kui teame vaatlustest suurusi  $T$  ja  $P$ . Samalaadselt võib siseplaneetide jaoks tuletada valemi:

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

Siit

$$P = \frac{ST}{T-S}.$$

Suurused  $S$  ja  $P$  on antud kõigi planeetide jaoks tabelis VI õpiku lõpus.

**§ 39. Kepleri seadused.** Kopernik määras kindlaks, et Maa ja planeetide liikumise keskpunktiks on Päike, kuid ta ei saanud täpselt kindlaks määrata planeetide orbiitide tõelist kuju. Kopernik, samuti kui kõik vanaaja õpetlased ja filosoofid, oli veendunud, et taevas peavad kõik liikumised olema ühtlased ja toimuma mööda ringjoont. Teistsuguste liikumiste võimalust, mis toimuvad teistsuguseid teid mööda, ei peetud võimalikuks. Kuid planeetide orbiidid ei osutu täpselt ringideks ja nende liikumine pole ühtlane. Seepärast vastas Koperniku teooria vaevalt paremini planeetide liikumiste täpsetele vaatlustele kui Ptolemaiose teooria.

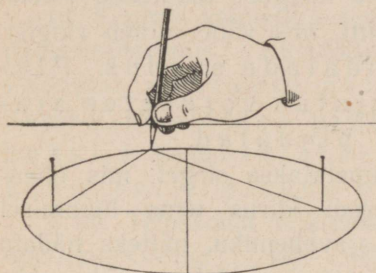
Selle tõelisusele mittetäpse vastavuse põhjuse selgitas XVII sajandi algul suur teaduse väsimatu ning innukas uurija, geniaalne koperniklane Johann Kepler (1571—1630).

Kepler tõestas kolm planeetide liikumise seadust, mis osutusid täielikus kooskõlas planeetide vaadeldava liikumisega taevaskeral.

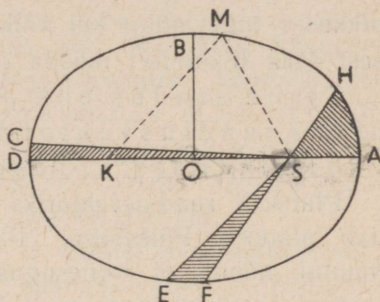
**Esimene seadus.** Iga planeet liigub mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub Päike.

Ellipsiks nimetatakse kinnist tasapinnalist kõverat, mis evib sellist omadust, et iga tema punkti kauguste summa

kahest punktist, mida nimetatakse fookusteks, jääb konstantseks (joon. 41-a). Joonisel 41-b 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, piklikum on ellips selle suure telje antud suuruse puhul. Ellipsi väljavenitusastet iseloomustatakse tema ekstsentristsiteedi suurusega.



Joon. 41-a. Ellipsi joonestamise viis: laua sisse pistetud kahe nõõpnõela ümber on asetatud niidist rõngas; niidi ühtlase pingsuse puhul joonestub temaga pidev joon. Ellipsi fookusteks antud juhul on punktid, milledesse on pistetud nõõpnõelad.



Joon. 41-b. Pindalade seadus (Kepleri teine seadus).

sega. Ekstsentristsiteediks nimetatakse ellipsi keskpunkti ja ühe fookuse vahelise kauguse suhet suure pooltelje pikkusega.

Ekstsentristsiteet

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

Planeetide elliptilised orbiidid erinevad vähe ringjoonest ja nende ekstsentristsiteedid on õige vähe suuremad nullist (vt. tabel VI, 5).

Kepleri esimesest seadusest järgneb, 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 1. jaanuari, afeelis 1. juuli paiku. Kuigi niiviisi talv Maa põhjapoolkeral esineb lühima kauguse ajal Päikesest, mõjuvad siiski erinevused Päikesee kiirte langemisnurgas ja päeva pikkuses tugevamini kui väikesed kauguse muutused Päikesest Maa liikumisel mööda orbiiti, mis vähe erineb ringist.

Teine seadus ehk pindalade seadus. Planeedi raadiusvektor kujutab võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed pindalad.

Planeedi raadiusvektoriks nimetatakse sirget, mis ühendab planeeti Päikesega. Planeedi kiirus tema liikumisel muutub nõnda, et mõnesuguse ajavahemiku, näiteks nädala jooksul raadiusvektori poolt kujutatud pindala on üks ning sama, millises oma orbiidi osas planeet ka viibiks. Joonisel 41 on *SDC*, *ESF* ja *ASH* pindalad võrdsed, kui kaared *DC*, *EF* ja *AH* on kujutatud planeedi poolt võrdsetes ajavahemikkudes. Nõnda siis on periheeli läheduses planeedi kiirus kõige suurem, afeeli läheduses — kõige väiksem.

Kolmas seadus. Planeetide sideeriliste ringlemisperioodide ruudud suhtuvad nagu nende orbiitide suurte pooltelgede kuubid.

Kui ühe planeedi sideeriline periood ja orbiidi suurem pooltelg tähistada  $T_1$  ja  $a_1$ , teise planeedi puhul aga  $T_2$  ja  $a_2$  abil, siis kolmas Kepleri seadus väljendub valemiga:

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

Määratud meile juba tuntud viisil planeetide sideerilised perioodid, võib selle seaduse valemi põhjal

määrata planeetide orbiitide suured poolteljed võrreldes Maa orbiidi suure poolteljega, võttes viimase ühikuks. Peame meeles, et orbiidi suurt pooltelge vahel nimetatakse keskmiseks kauguseks Päikesest. (Planeedi afeeli- ja periheelikauguse poolsumma võrdub planeedi orbiidi suure poolteljega. Joonisel 41  $\frac{DS + SA}{2} = OD.$ )

Et Kepleri kolmanda seaduse abil võib kõik kaugused päikesesüsteemis väljendada Maa keskmise kauguse abil Päikesest, võetakse astronoomias Maa orbiidi suure pooltelje pikkus kauguste mõõtühikuks ja nimetatakse astronoomiliseks ühikuks; selle pikkus on 149 500 000 km.

**§ 40. Teleskoobi leiutamine ja Galilei avastused.** 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 õieti tõlgendatud, osutusid need Koperniku teooria tõepärasuse hiilgavaks kinnituseks.

Kõige esiti 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 ringleb neli kaaslast, samuti nagu Kuu ringleb ümber Maa. See näitas ilmselt tolle aja kujutluste ekslikkust, et ainult Maa on taevakehade liikumise keskpunktiks. See soodustas samuti oletust, et planeedid ringlevad ümber Päikese, mitte aga ümber Maa.

Edasi avastas Galilei Veenuse faasid, s. o. tegi kindlaks, et Veenus sarnaselt Kuule muudab oma välisilmet. See tõestas, et Veenus hiilgab peegeldunud päikesevalguse ja ringleb 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 telje. Kui aga oldi veendunud taevakeha pöörlemises ümber telje, oli kergem oletada, et ka Maa pöörleb samal viisil.



Joon. 42. Galileo Galilei (1564—1642).

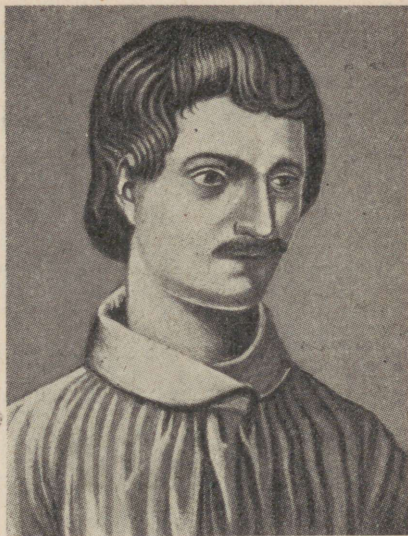
Viimaks avastas Galilei teleskoobi abil, et Linnutee — see helendav vööt tähisel taevavõlvil — on nõrkade tähtede kogu. See tõestas, et maailm on hoopis grandioossem, kui seda arvati varem. Pärast seda osutus raskeks oletada, et selline määratu suur maailm ööpäeva jooksul teeks ringi ümber Maa.

Nende avastustega ja rea teiste teravmeelsete väidetega tõestas Galilei Koperniku avastuste tõelisust.

Ta propageeris Koperniku õpetust laiadele hulkadele arusaadavas vormis. Kuni Galileini aga oli Koperniku töö, kirjutatud ladina keeles ja raskes matemaatilises väljenduses, üsna vähestele kättesaadav ning tuttav. Galilei tegevus mõjus kaasa Koperniku avastuse levikule.

**§ 41. Kiriku võitlus teadusega.** Koperniku ideede levikule, mis olid vastuolus „pühakirjaga”, milles kõneldi Maa paigalolekust, aitas kaasa teine tuline koperniklane — Galilei kaasmaalane, kirjanik ja filosoof Giordano Bruno (tema sünni-

aasta pole täpselt teada). Tema väitis peale selle, et tähed on väga kauged päikesed, et maailm on lõpmatu ja üksikmaailmu temas — tähti ja planeete — on tohutult palju ja et teistel planeetidel, teistes maailmades, samuti peab olema elu nagu Maa peal, mis on planeet. See oli samuti vastuolus „pühakirjaga” ja õõnestas kiriku autoriteeti. Vihaseks muutunud kiriku esindajad andsid Bruno inkvisitsioonikohtu kätte, mis oli asutatud võitluseks teisiti mõtlejatega. Brunolt nõuti oma veendumustest loobumist. Et Bruno sellega ei nõustunud, määrati talle piinarikas surmanuhtlus — ta põletati elusalt tuleriidal Roomas aastal 1600.



Joon. 43. Giordano Bruno.

1616. a. kutsuti Galilei Rooma paavsti juurde ja hoiatati, et on keelatud kaitsta ning levitada Koperniku õpetust, kuid teaduslikele tõdedele truu Galilei jätkas mehiselt võitlust Koperniku õpetuse eest. Inkvisitsiooni tribunaal mõistis Galilei 1633. a. süüdi ja määras talle karistuseks eluaegse vangistuse.

## VI peatükk.

### Gravitatsioon ehk kogumaailmne tõmbejõud.

§ 42. Gravitatsiooniseadus. Kopernik tegi kindlaks, et planeetide liikumise keskmeks on Päike, ent Kepler avastas

planeetide liikumise seadused. Kuid nende liikumiste põhjus jäi tundmatuks kuni XVII sajandi lõpuni, mil inglise teadlane Newton (1643—1727) avastas kogumaailmse tõmbejõu ehk gravitatsiooni seaduse. See seadus seisab selles, et kõik kehad maailmas (nagu kõik aineosakesed üldse) tõmbuvad üksteise poole jõuga, mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöördvõrdeline nende vahelise kauguse ruuduga. Valemi abil võib seda kirjutada nõnda:

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

kus  $m_1$  ja  $m_2$  on kahe vaadeldava keha massid,  $r$  — nende vaheline kaugus,  $f$  — koefitsient, mille arvuline suurus oleb ühikutest, milledes on väljendatud massid ja kaugused. Katses on teada, et kaks massi kumbki 1 g 1 cm kaugusel tõmbuvad teineteise poole jõuga  $\frac{1}{15\,000\,000}$  düüni. Seejärel, väljendades massid grammides,  $r$  aga sentimeetrites, peame (et saada  $F$  düünides) võtma

$$f = \frac{1}{15\,000\,000}.$$

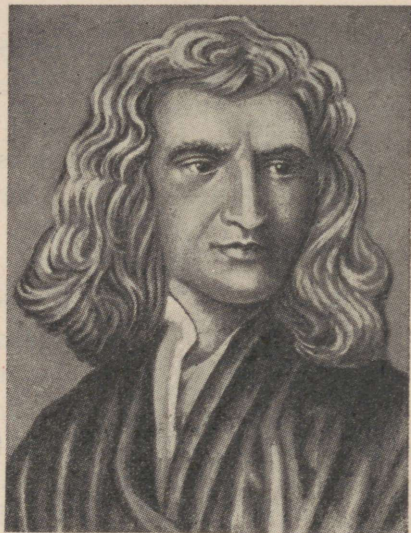
Newton tõestas, et Maa külgetõmme, mille mõjul kõik esemed langevad Maa peale, levib kaugemalegi, ulatudes Kuuni ja nõrgenedes võrdeliselt kauguse ruuduga Maa keskpunktist. See tähendab, et tõmbejõu ehk Maa raskusjõu mõju ulatub lõpmatusse. Maa raskusjõud hoiab ka Kuud tema orbiidil, muidu Kuu rebiks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

See Kuu tõmbumine Maa poole osutubki selleks tsentripetaalseks jõuks, mida iseloomustab Kuu liikumisel esinev tsentripetaalne kiirendus. Tõepoolest, ilma keskpunkti (s. o. Maa) poole suunatud jõu mõjuta ei oleks Kuu liiku-

misel tsentripetaalset kiirendust, s. o. tema tee ei kõverduks pidevalt, vaid oleks sirge. Ilma rakendatud jõu mõjuta liigub iga keha, nagu teame, inertsil mõjul, sirgjooneliselt.

Teiselt poolt, kui Kuu ei omaks liikumiskiirust, mille ta sai enda tekkimisel, siis tõmbumise tõttu Maa poole langeks ta Maa peale, samuti kui langeb näiteks kivi.

Ka Kuu tõmbab Maad ja — mõju ning vastumõju seaduse põhjal — samasuguse jõuga, kui Maa tõmbab Kuud. Et aga Maa mass on 81 korda suurem Kuu massist, siis kiirendus, mille annab Maale Kuu, on 81 korda väiksem kiirendusest, mille Kuule annab Maa. Tulemusena Maa ja Kuu, täpselt võttes, liiguvad ümber nende ühise raskuspunkti, ainult Kuu moodustab seejuures raskuspunkti ümber väga suure orbiidi, Maa keskpunkt aga väikese orbiidi, väiksema kui Maa enda ümbermõõt. (Süsteemi Maa-Kuu raskuspunkt on 1600 km kaugusel maapinnast, Maa sees.)



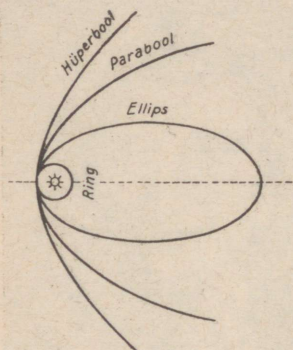
Joon. 44. Isaac Newton (1643—1727).

Päikese mass on hoopis suurem mitte ainult iga üksiku planeedi massist, vaid koguni 750 korda suurem kõigi planeetide massist ühtekokku. Seepärast kõik planeetid ringlevadki ümber Päikese, omades tema suhtes tsentripetaalset kiirendust. Päikese poole tõmbumise mõjul Maa ja planeetide teed ei jää sirgjoonelisteks, vaid kogu aeg kõverduvad. Täp-

selt võttes, kõik planeedid ja Päike ringlevad nende ühise raskuspunkti ümber.

Planeetide kaaslased ringlevad oma planeetide ümber nende külgetõmbe mõjul samuti, kui Kuu ringleb Maa külgetõmbe mõjul.

Väljaspool päikesesüsteemi piire vaadeldakse tähtede paaride ringlemist nende ühise raskuspunkti ümber samuti gravitatsiooni mõjul, mispärast Newtoni poolt avastatud seadust nimetataksegi kogumaailmse tõmbejõu ehk gravitatsiooni seaduseks.



Joon. 45. Orbiitide kujud.

Newton tõestas, et kogumaailmse gravitatsiooni olemasolu tõttu planeedid peavad liikuma just Kepleri seaduste järgi; need seadused Newton määras kindlaks täpsemalt. Newton tõestas, et teatud tingimustel (§ 52) üks keha

võib teise keha gravitatsiooni mõjul liikuda mitte ainult mööda ellipsit, vaid ka mööda ringi, parabooli ja hüperbooli.

Parabool on lahtine kõver, mille harud kaugenedes muutuvad üksteisega järjest enam rööpseteks. Hüperbool on veel suuremal määral lahtine kõver (joon. 45). Mööda parabooli ja hüperbooli ringlevad ümber Päikese mõned komeedid.

Seejärel Newton tõestas, et Kepleri kolmas seadus pole päris täpne ja tuleks asendada seadusega:

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

kus  $M$  on Päikese mass,  $m_1$  ja  $m_2$  aga kahe planeedi massid. See seadus on väga tähtis, sest ta võimaldab määrata taevakehade masse (§ 45). Et planeetide massid on Päikese massiga võrreldes äärmiselt

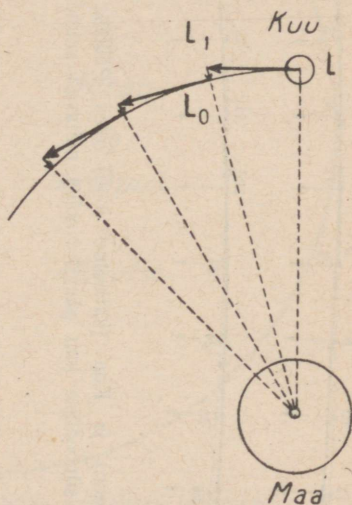
väikesed, siis suhe  $(M + m_1) : (M + m_2)$  erineb väga vähe ühest. Kui see suhe asendada ühega, saame Kepleri kolmanda seaduse sellisel kujul, millisel ta avastati Kepleri enda poolt.

Kogumaailmse gravitatsiooni seadusega suutis Newton seletada mitte üksi planeetide ja nende kaaslaste liikumist, vaid ka hulga teisi loodusenähtusi, mida enne teda keegi ei suutnud õigesti seletada.

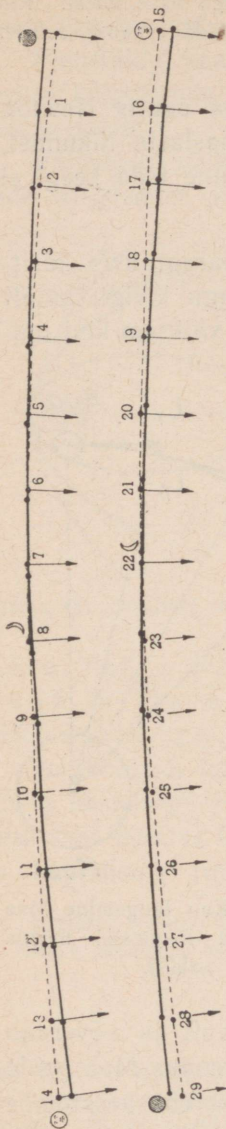
§ 43. Kuu liikumine. Nagu eelmises paragrahvis käsitletud, langeb Kuu pidevalt Maa poole nagu kivigi, ainult selle langemise kiirendus on nii mitu korda väiksem kivi langemise kiirendusest, kui mitu korda kivi kauguse ruut Maa keskpunktist on väiksem Kuu kauguse ruudust Maa keskpunktist. Seda aitab selgitada joonis 46.

Kui momendil, mil Kuu oli punktis  $L$ , Maa külgetõmme lakkaks mõjumast, läbiks Kuu inertsitõttu ajaühikus mööda sirget vahemiku  $LL_1$ . Maa külgetõmbe mõjul liiguks (langeks) Kuu sama aja jooksul Maa poole, läbides vahemiku  $L_1L_0$ . Liites need kaks liikumist näeme, et Kuu tõeliselt ei läbinud teed  $LL_1$  ega teed  $L_1L_0$ , vaid kaare  $LL_0$ .

Maa külgetõmme mõjub Kuusse pidevalt ja kõverdab pidevalt tema teed. Kuu vaba langemise kiirendus Maa poole Maa külgetõmbe mõjul ongi tsentripetaalseks ehk kesktõmbe kiirenduseks Kuu liikumises. Tõepoolest, kui mingi keha lii-



Joon. 46. Kuu langemine Maa poole tema liikumisel mööda orbiiti.



Joon. 47. Maa (pidev joon) ja Kuu (katkeline joon) teed Päikese suhtes kuude viisi. Numbrid tähistavad sünoodilise kuu päevi. Nooled näitavad suunda Päikese poole.

gub mööda ringjoont, siis nagu teame, omab ta tsentripetaalset kiirendust.

Olgu tähendatud, et liikudes ümber Maa ringleb Kuu koos Maaga ümber Päikese. Kuu nende kahe liikumise liitumise tulemuseks on see, et Kuu tee Päikese suhtes on igal pool nõgus, nagu see on näidatud joonisel 47 ja nagu see peabki olema, sest Päike tõmbab Kuud tugevamini kui Maa.

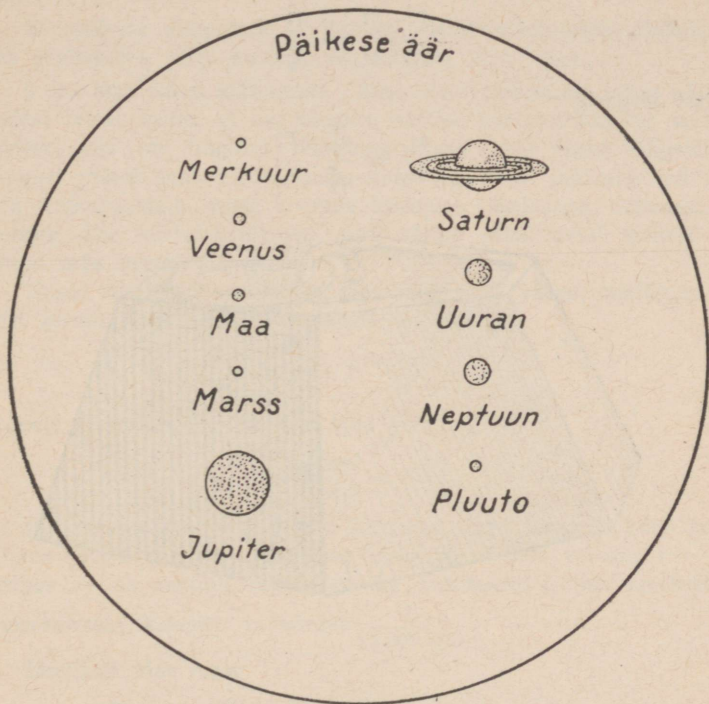
§ 44. Gravitatsioonijõu ja raskusjõu samasus. Newtoni suurimaks teeneks osutus veel ka see, et ta tõestas samasuse tema poolt avastatud maailmakehade-vahelise gravitatsioonijõu ja inimestele kogemustest ammu tuntud maise raskusjõu vahel. Newton tõestas, et nii üks kui teine jõud muutuvad pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga, ja eriti, et kiirendus, millega Kuu langeb Maa poole, täpselt võrdub kiirendusega, millega langeks kivi, kui me asetaksime ta Kuu kaugusele Maast.

Pole raske arvutada, et esimene neist kiirendustest (mis osutub, nagu juba öeldud, ühtlasi tsentripetaalseks kiirenduseks) võrdub  $0,27 \text{ cm/sek}^2$ . Ta arvutatakse tuntud valemi põhjal:

$$a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R,$$

kus  $R$  on Kuu kaugus Maa keskpunktist (380 000 km),  $T$  — Kuu ring-

lemise periood, mis moodustab 27,3 ööpäeva. Raskusjõu kiirendus Maa pinnal on  $981 \text{ cm/sek}^2$ . Kuu kaugusel ta peab olema  $60^2 = 3600$  korda väiksem, sest kaugus Kuuni on 60 korda suurem Maa raadiusest;  $981 : 3600 = 0,27 \text{ cm/sek}^2$ , s. o. tõepoolest võrdub Kuu liikumises esineva tsentripetaalse kiirendusega.



Joon. 48. Päikese ja planeetide suhtelised suurused.

§ 45. Taevakehade masside määramine. Kaaslast omava taevakeha massi võib määrata Kepleri kolmanda seaduse valemist selle täpsel kujul:

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

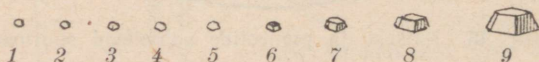
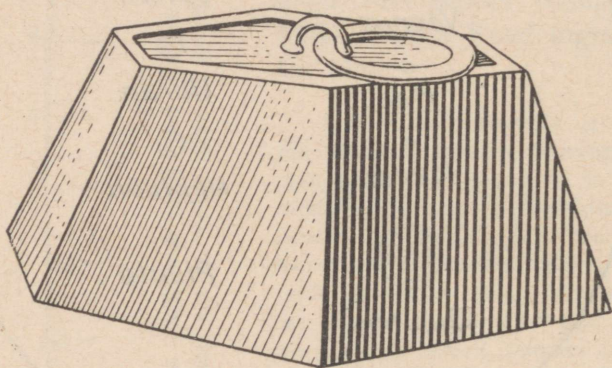
Päikese massi määramiseks näiteks me kasutame indeksit 2 Kuu liikumise puhul ümber Maa, seejuures siis  $M_2$  tähistab Maa,  $m_2$  — Kuu

massi. Indeksit 1 me kasutame Maa liikumise puhul ümber Päikese ja sel juhul siis  $M_1$  tähistab Päikese massi ning  $m_1$  — Maa massi. Et Kuu mass on märksa (81 korda) väiksem Maa massist, Maa mass aga võrreldes Päikese massiga on tühine, siis võime ilma suurema veata valemi lugejas kustutada  $m_1$ , nimetajas aga —  $m_2$ . Siis saame:

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

millest järgneb:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2}.$$



Joon. 49. Päikese ja planeetide masside võrdlus. (1 — Merkuur, 2 — Marss, 3 — Pluuto, 4 — Veenus, 5 — Maa, 6 — Uuran, 7 — Neptuun, 8 — Saturn, 9 — Jupiter.)

See ongi otsitav Päikese mass, väljendatuna Maa massi ühikuis. Samades ühikuis võib määrata ka planeetide masse. Siis tuleb lähtevalemis kasutada indeksit 1 kaaslase liikumise puhul ümber oma planeedi, seejuures  $M$  tähistaks planeedi otsitavat massi,  $m_1$  aga tema

kaaslase massi, mille me jällegi jätame arvestamata, kui väga väikese võrreldes  $M_1$ -ga. Siis me saame planeedi ja Maa massi suhte.

Kaaslasi mitteomava planeedi massi võib määrata kõrvalekaldumiste põhjal, mida ta oma külgetõmbega põhjustab teiste planeetide liikumises. Planeetide ja Päikese massid on toodud tabelis VI õpiku lõpus.

Et määrata planeetide ja Päikese massi absoluutseis ühikuis, näiteks grammides, tuleb kuidagiviisi määrata Maa mass.

§ 46. **Maa massi määramine.** Maa massi määramise kõige näitlikum meetod seisab selles, et vaadeldakse püstloee kõrvalekaldumist vertikaaljoonest, mis on tingitud läheduses oleva mäe massi külgetõmbest. Kaugust mäest saab mõõta, mäe massi aga võib määrata, kui korrutada tema ruumala nende kivimite keskmise tihedusega, milledest mägi koosneb. Loe kõrvalekaldumise nurk sõltub Maa massi suhtest meile tuntud mäe massisse.

Teised meetodid on hoopis täpsemad, kuid vähem näitlikud. Üks neist seisab järgmises: gravitatsioonijõu valemist

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

järgneb, et raskusjõu kiirendus Maa peal

$$981 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} = f \frac{m_1}{r^2},$$

kui  $m_1$  tähistab Maa massi, sest kiirendus, nagu teame, võrdub kehasse mõjuva jõuga, jagatud selle keha massiga. Selles valemis  $r$  — Maa raadius — on tuntud; tuntud on ka koefitsient  $f$ , mis on määratud laboratoorseist katseist; ta võrdub  $\frac{1}{15\,000\,000}$ .

Järelikult Maa mass

$$m_1 = \frac{981 \cdot (637\,000\,000)^2}{1 : 15\,000\,000} = 6 \cdot 10^{27} \text{ grammi.}$$

Niiviisi õnnestus „kaaluda” maakera!

§ 47. **Häired planeetide liikumises.** Kui ümber Päikese ringleks ainult üks planeet, siis ta liiguks täpselt Kepleri seaduste järgi. Tõepoolest aga on olemas ka teised planeedid ja neil on vastastikune külgetõmme. Selle tagajärjel planeetide liikumised kalduvad kõrvale liikumistest Kepleri seaduste järgi. Neid üldiselt väga väikesi kõrvalekaldu-

misi planeetide liikumistes, võrreldes liikumistega Kepleri seaduste järgi, nimetatakse häireteks.

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

**§ 48. Päikesesüsteemi püsivus.** Korduvalt on esitatud küsimusi selle kohta, kas päikesesüsteem on püsiv, s. o. kas tema harmoonilisus häirete tulemusena ei saa rikutud, kas Maa ja teised planeedid ei või langeda Päikesele või jälle ümberpöörduvalt — ennast lahti kiskuda tema tõmbejõu piirkonnast ja igaveseks ära lennata põhjatusse, maailmaruumi pimedusse ja pakasesse. Arvutused näitavad, et nii ühte kui teist ei või juhtuda paljude aastamiljonite kestel. Siiski ei või väita, et seda ometi ei juhtu kunagi hiljem. Päikesesüsteem on püsiv paljudeks sajandeiks, kuid mitte igavesti.

**§ 49. Planeetide Neptuuni ja Pluuto avastamine.** XVIII sajandi lõpul (1781. a.) inglise astronoom William Herschel (1738—1822), tol ajal veel tundmatu astronoomasjaarmastaja, avastas omaenda valmistatud võimsa teleskoobi abil seni täiesti tundmatu planeedi — seitsmenda kauguse järgi Päikesest. See planeet nimetati Uuraniks.

XIX sajandi algul selgus, et planeet Uurani liikumine pisut erineb liikumisest, mis oli varem ette arvutatud, arvestades tõmbejõudu nii Päikese kui ka kõigi tol ajal tuntud planeetide poolt. Olgugi, et need vaatluste lahkumineku teooriast olid õige tühised, ei võinud astronoomid nendega leppida — niivõrd suur on nende arvutuste täpsus. Oletati, et kõrvalekaldumised Uurani liikumises toimuvad tundmatu

planeedi tõmbejõu mõjul, mis asub Päikesest veel kaugemal kui Uuran. Prantsuse teadlane Leverrier (1811—1877) arvutas välja selle planeedi asukoha taevas ja tema näpunäidete järgi 1846. a. see seni tundmatu planeet avastati tõepoolest. Ta nimetati Neptuuniks.

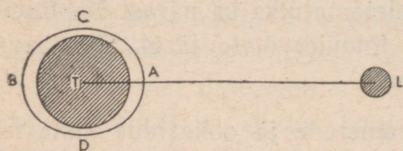
Planeedi avastamine nii-öelda „sule otsaga”, kabinetis, osutub üheks suurimaks inimõtte saavutuseks ja hiilgavalt tõestab looduse tunnetamist teaduse võimsate meetodite abil.

1930. a. avastati Neptuuni orbiidi taga veel üks uus suur planeet, mis nimetati Pluutoks. Ka selle planeedi olemasolu oletati üliväikeste ebakorrapärasuste uurimise põhjal Uurani liikumises, mis jäid seletamatuiks ka pärast Neptuuni avastamist. Pluuto avastati fotoülesvõtete järgi tähistaeva piirkonnast Kaksikute tähtkujus.

**§ 50. Tõus ja mõõn.** Avamerede ja ookeanide kallastel esineb iga päev veetaseme kõikumine. Kaks korda ööpäeva jooksul veetase tõuseb ja vesi ujutab üle rannaäärsed madalikud — see on tõus („kõrge vesi”). Ja kaks korda ööpäeva jooksul vesi voolab ära kaldalt, veetase langeb — see on mõõn („madal vesi”). Mõõn („madal vesi”) saabub ligi 6 tundi pärast tõusu („kõrget vett”), veel 6 tunni pärast aga algab jälle tõus, nii et ühest tõusust kuni järgmiseni möödub 12 tundi (täpsemalt — 12 tundi 25 minutit). Niisiis keskmiselt 24 tunni 50 minuti kestel on kaks tõusu ja kaks mõõna. Kuid just umbes samasugune ajavahemik möödub Kuu kahe ühenimelise naaberkulminatsiooni vahel. Newton tõestas, et tõus ja mõõn on tõepoolest seotud Kuuga, tema tõmbejõuga.

Lihtsuse otstarbel kujutleme endile, et kogu maakera on ühtlaselt kaetud veekihiga. Kuu poole pöördunud maapinnas osas tõmbuvad vee osakesed Kuu poole tugevamini kui Maa keskpunkt, sest nad on temale lähemal. Sellise erinevuse tõttu külgetõmbe tugevuses need vee osakesed nihkuvad Maa

keskpunkti poolt Kuu suunas. Vee osakesed Maa vastasküljel tõmbuvad Kuu poole nõrgemini kui Maa keskpunkt. Need osakesed nagu jäävad Maa keskpunktist maha. Selle tagajärjel Maa veekiht venib välja piki joont, mis ühendab Maad ja Kuud. Maa ookeanides tekib kaks veekühmu (joon. 50) ehk kaks tõusulainet. Neid ookeani kohti piiravatel kallastel, samuti saarte kallastel on vee tase kõrgeim („kõrge vesi”). Maa piirkondades, mis on 90° eemal tõusu piirkondadest, vee tase (mis voolab siit ära tõusukohtadesse) langeb. Seal võib tähele panna mõõna („madal vesi”). Kuid Maa pöörleb ümber telje (joonisel 50 joonise tasapinnas). Et ookeani



Joon. 50. Tõus ja mõõn ookeanis (skeem).

liikuva vee tõusukühm on alati suunatud Kuu poole, siis 6 tunni pärast see mandrikoht, mis oli tõusu piirkonnas, siirdub mõõna piirkonda. Järgmise 6 tunni pärast needsamad mandri osad siirduvad teise tõusu

piirkonda, mis asetseb Maa sellel poolel, mis on pöördud Kuust eemale. Seepärast järgnevadki tõusud ja mõõnad üksteisele 6 tunni tagant.

Ent Kuu ei püsi Maa suhtes liikumatuna, vaid ringleb tema ümber samas suunas, milles Maa pöörleb ümber telje. Seepärast mõni Maa koht „kõrge vee” piirkonnast 24 tunni pärast veel ei jõua selle piirkonnani, sest selle aja jooksul tõusukühm nihkus edasi, Kuu järele. Kulub veel umbes 50 minutit selleks, et antud koht, arvestades Maa pöörlemist, jõuaks järele vee kõrgeima tõusu piirkonnale. Sellepärast tõusud korduvadki mitte täpselt 12 tunni, vaid 12 tunni 25 minuti pärast.

Samuti kui Kuu, tekitab ookeanides tõusu ja mõõna ka Päike, kuid need on suuruselt 2 korda väiksemad kui Kuu poolt tekitatud tõusud ja mõõnad. Kui Päike ja Kuu „veni-

tavad" Maa veekihti ühes suunas (kuu loomise ja täiskuu ajal), siis mõlemad tõusud (Kuu ja Päikese) liituvad ja tõus on eriti kõrge. Tõusu ja mõõna pilt muutub keerulisemaks seetõttu, et Maal on mandreid ja saari, meredes suuremaid ja väiksemaid sügavusi merepõhja muutliku reljeefiga.

Taevakehade poolt üksteisel esile kutsutud tõusud etendavad suurt osa nende arenemises (§ 121).

Tõusu alguse ja kõrguse teadmine on väga tähtis mere-sõitjatele, sest mõnede jõgede suudmeisse ja madalaisse sadamaisse saavad ookeaniaurikud sisse sõita ainult tõusuajal. Praegusel ajal tehakse juba katseid kasutada ära kolossaalset energiat, mida kannab endaga tõusu-tekstav vee-mass. Tõusu energiat võib ära kasutada hüdroelektrijaamades.

NSV Liidus esineb tõus Barentsi meres, näiteks Murmanskis, ja Kaug-Idas. Mõnes kohas maakeral ulatub tõusu kõrgus viieteistkümne kuni paarikümne meetrini.

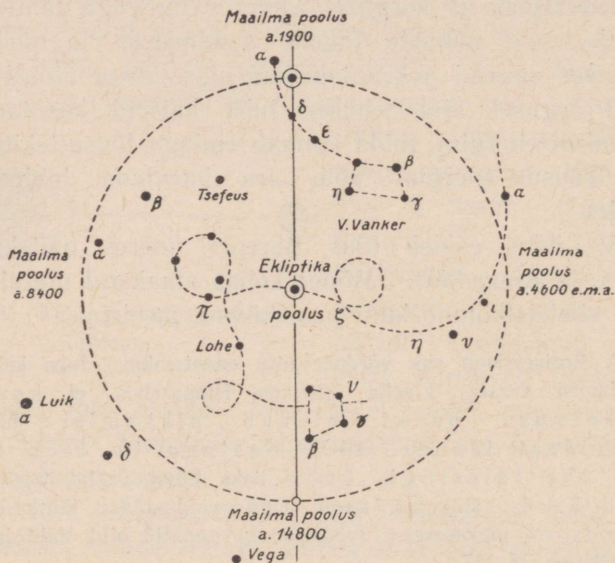
**§ 51. Pretsessioon ehk võrdpäevsuse ennetamine.** Juba kaks tuhat aastat tagasi avastas kreeka õpetlane Hipparchos, et kevadine võrdpäevsuse punkt nihkub pikkamisi tähtede keskel idast läände. 26 000 aastaga ta teeb taevavõlvil ühe täisringi. Umbes kaks tuhat aastat tagasi ta ei asetsenud Kalade tähtkujus, nagu nüüd, vaid Jäära tähtkujus. Siis suvise ja talvise päikeseseisu (pööripäeva) punktid olid Vähi ja Kaljukitse tähtkujus (§ 25).

Koos taeva ekvaatori nihkumisega, mis määrab võrdpäevsuse ja päikeseseisu punktide asendi, nihkub tähtede keskel ka maailma poolus. 26 000 aasta jooksul teeb ta taevaskeral täisringi, nagu on näidatud joonisel 51. Praegu on maailma poolus Väikese Vankri  $\alpha$  tähe läheduses, kuid ta eemaldub sellest ja 6000 aasta pärast osutub polaartäheks („Põhjanelaks”)  $\alpha$  Tsefeuses, 13 000 aasta pärast aga saab selleks esimese suuruse täht Veega Lüüra tähtkujus. Ühenduses nende muutustega mõned tähtkujud, näiteks Orion, osutuvad Euroopas nähtamatuiks ning meie horisondi kohale ilmuvad teised tähtkujud taeva lõunapoolkerast, näiteks Lõuna Rist.

Juba Kopernikule oli selge, et maailma pooluse nihkumine tähtede keskel tuleb sellest, et Maa telg aeglaselt muudab oma suunda maailma-

ruumis. 26 000 aasta jooksul Maa telg kujutab täie koonuse, seejuures mitte muutes oma kallakust ekliptika suhtes.

Eespool kirjeldatud nähtusi nimetatakse pretsessiooniks ehk võrdpäevsuse ennetamiseks, sest et kevadpunkti nihkumise tõttu mööda ekliptikat vastu Päikese aastasele liikumisele jõuab Päike kevadpunkti enne, kui ta jõuab teha taevsas täisringi tähtede suhtes.



Joon. 51. Maailma pooluse nihkumine tähtede keskel pretsessiooni mõjul.

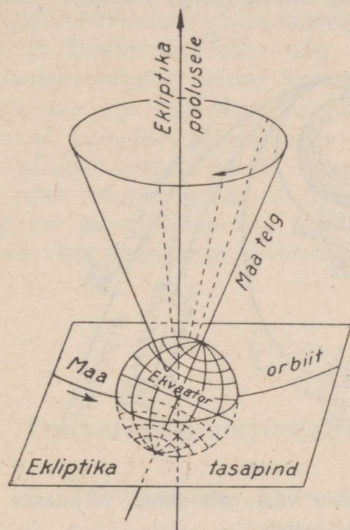
Võrdpäevsused niiviisi ennetatakse, s. o. momendid, millal Päike jõuab kevadpunkti, saavad varem, kui Maa teeb täisringi ümber Päikese.

Maa ümber Päikese ringlemise sideerilist perioodi ehk, mis on sama, Päikese näiva ringlemise perioodi tähtede suhtes nimetatakse täheaastaks ja ta kestab 365 päeva 6 tundi 9 minutit 10 sekundit.

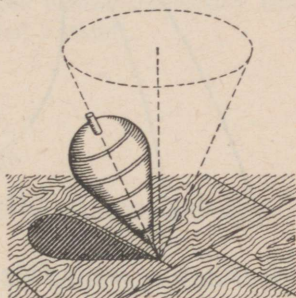
Ajavahemik Päikese kahe kevadpunktist läbimineku vahel on pretsessiooni tõttu täheaastast lühem 20 min. 23 sek. võrra ja nimetatakse

troopiliseks aastaks. Troopilise aasta pikkus on 365 päeva 5 tundi 48 min. 46 sek. Aastaaegade vahelduse määrab troopilise aasta pikkus ja seetõttu on ta võetud aluseks kalendri koostamisel (§ 143).

Newton seletas pretsessiooni nähtust tõmbega, mida avaldab Päike ja Kuu sellele kühmule, mis on Maal piki ekvaatorit lapikuse tõttu poolustel, ja mis püüab pöörata Maa telge. (Kui Maa oleks korrapärane kera, puuduks see tõmme ja poleks ka pretsessiooni.) Maa



Joon. 52. Pretsessiooni tekitab Maa telje liikumine mööda koonust.

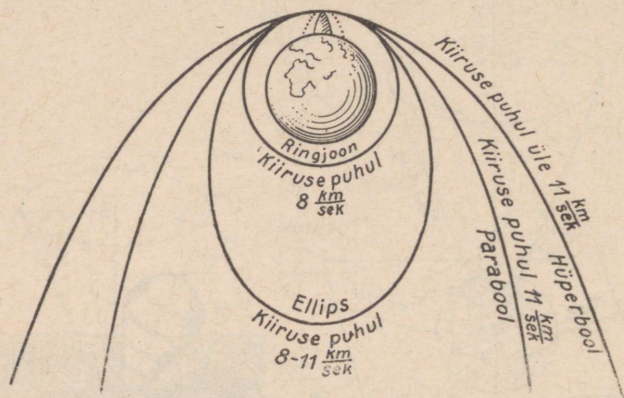


Joon. 53. Vurri telje koonusetaoline kõrvalekaldu mine.

pöörlemise inerts takistab seda ja nende kahe pöördliikumise liitumise tulemusena Maa telg kujutab ruumis koonuse. Sellise nähtuse analoogiat kujutab pöörlev vurr. Kui me püüame pöörlemise ajal kallutada kõrvale tema telge, hakkab see kujutama koonust (joon. 52 ja 53).

**§ 52. Orbiidi kuju sõltuvus algkiirusest.** Gravitatsiooniteooria näitab, et orbiit, mille kujutab üks keha teise keha külgetõmbe mõjul, sõltub nende massidest ja kiirusest antud kaugusel. \* Näiteks osutub, et Maa liikumise kiirus mööda

orbiiti (30 km/sek) on lähedane kiirusele, millele vastavalt keha peab kujutama ümber Päikese ringjoone. Suurema kiiruse puhul samal kaugusel Päikesest kujutaks keha pikliku ellipsi, aga kiiruse puhul 42 km/sek ta kujutaks parabooli ja, möödunud Päikesest, ei pöörduks ta enam iialgi tema juurde tagasi. Veel suurema kiiruse puhul ta kujutaks hüperbooli ja samuti ei pöörduks enam iialgi Päikese juurde tagasi.



Joon. 54. Mürskude orbiidid Maa ümber vastavalt nende väljalaske erisugustele kiirustele.

Samuti ka Maa peal, kui lasta kahurist rõhtsihis mürsk väikese kiirusega, kukub mürsk Maa peale. Kiiruse puhul 8 km/sek (mis mitmekordselt ületab kahuri mürsu kiiruse) keha enam ei kukuks Maa pinnale, vaid liiguks tema ümber väikese kaaslaste sarnaselt, kujutades ringilise orbiidi. Suurema kiiruse puhul keha kujutaks ellipsi, aga kiiruse puhul üle 11 km/sek ta kujutaks parabooli ja jäävalt eemalduks Maast lõpmatusse. Kõigil kirjeldatud juhtudel tuleks õhutamist arvestades anda kehale eespoolmainitud kiirustest pisut suuremad kiirused (joon. 54).

§ 53. **Planeetidevahelised reisirid.** Planeetidevaheliste reisiride idee teostamine, s. o. lennud teistele planeetidele ja Kuule, nõuab Maa gravitatsiooni (raskusjõu) ületamist. Mürsukujulisele lennuaparaadile tuleks planeetidevaheliste reisiride jaoks anda kiirus mitte väiksem kui 11 km/sek, et ta, ületanud Maa gravitatsiooni, võiks liikuda igasuunaliselt. Mürsule sellise suure kiiruse andmiseks on välja töötatud meetodid, kusjuures parimaks neist osutub sellise mürsu ehitamine, mis liigub sarnaselt raketile tagasilöögi põhimõttel.

Planeetidevaheliste reisiride küsimuses on palju ära teinud vene leiur K. E. Tsiolkovski (1857—1935).

Planeetidevaheliste reisiride ülesande täielik lahendamine on lähimate aastakümnete, aga võib olla ainult mõne aasta küsimuseks. Planeetidevahelisteks lendudeks aatomienergia kasutamine teeb selle paljude leiurite salajase unistuse hoopis reaalsemaks ja teostamisele lähedaseks. Kuid tuleb mees pidada, et planeetidevahelised kaugused on väga suured (vt. tabel VI raamatu lõpus) ja et planeetidevahelised lennud nõuavad väga palju aega (planeetide puhul aastaid).

## VII p e a t ü k k.

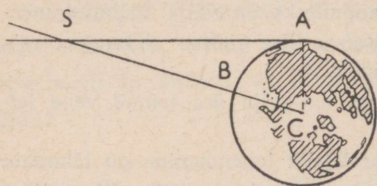
### Universumi uurimise põhilised meetodid.

§ 54. **Taevakehade kauguste määramine.** Taevakehade kauguse määramise põhiliseks meetodiks on nende paralaksi määramine (§ 29). Kuid seejuures tuleb võtta erinev baas päikesesüsteemi kehade ja selle piiridest kaugel väljaspool asuvate kehade puhul.

Päikesesüsteemi kehade jaoks, mis on meile võrdlemisi lähedal, näiteks Päikese, Kuu ja kõige lähemate planeetide puhul osutub küllaldaseks baasiks Maa raadius.

Kaks vaatlejat, kelledest üks näeb taevakeha horisondis, teine aga seniidis, vaatlevad üheaegselt seda taevakeha. Nurk nende vaatlussuundade vahel ehk nende taevakehade parallaktiline nihe ongi selle taevakeha horisondiline paralaks.

Horisondiliseks parallaksiks nimetatakse nurka, mille all taevakehalt vaadatud tärk paistaks Maa raadius, mis on ristne vaatesuunaga (joonisel 55 nurk *ASB*).

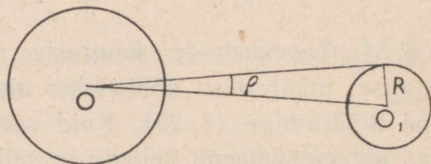


Joon. 55. Taevakeha horisondilise parallaksi skeem.

siti ja siis parallaksi arvutamine vaatluste põhjal toimub juba pisut keerulisemal viisil.

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

Nagu juba teame (§ 30), leitakse aastaparallaks täpselt mõõdetud tähe vaatesuundade võrdlusest, mis on tehtud poole aasta võrra



Joon. 56. Taevakeha joonraadiuse määramise skeem.

üksteisest erinevail ajamomentidel. Tähe parallaks võrdub nende vaatesuundade vahelise nurga poolega.

Aastaparallaksiks nimetatakse nurka, mille all taevakehalt paistaks Maa orbiidi suur pooltelg, eeldades, et ta on ristne vaatesihiga.

Kui täpsete ja tülivate mõõtmiste teel taevakeha paral-  
laks on määratud, siis tema kaugus  $D$  leitakse lihtsa arvu-  
tamisega. Joonisest 55 nähtub, et  $D = \frac{R}{\sin p}$ , kus  $R$  on  
kasutatud baas,  $p$  aga aastaparallaks. Võttes  $R$  — Maa  
raadiuse — ühikuks, me saame taevakeha kauguse  $D$  väljen-  
datuna Maa raadiustes. Kui  $p$  on aastaparallaks (vt. joon.  
32), siis  $R$ -iks on Maa orbiidi suur pooltelg ja võttes selle  
ühikuks, saame taevakeha kauguse väljendatuna astronoomi-  
listes ühikutes. Kui kirjutatud valemis väljendada  $R$  kilo-  
meetrites, siis ka kaugus  $D$  saadakse kilomeetrites.

Olgu siin esitatud tähtsaimad parallaksid ja neile vasta-  
vad kaugused. Kuu horisondiline parallaks on  $57'$ , keskmine  
kaugus Maast 384 000 km (ümmarguselt 400 000 km); Päi-  
kese horisondiline parallaks on  $8'',80$ , kaugus Maast  
149 500 000 km (ümmarguselt 150 miljonit kilomeetrit).  
Lähima tähe aastaparallaks on  $0'',75$ , kaugus  $4.10^{13}$  km ehk  
(ümmarguselt) 270 000 astronoomilist ühikut. Tähtede kau-  
gused nende tohutute suuruste tõttu väljendatakse harilikult  
valgusaastais või parsekkides.

Valgusaastaks on kaugus, mille läbib  
valguskiir aasta jooksul. Et väljendada seda  
kilomeetrites, tuleb km/sek-tes väljendatud valguskiirus  
(umbes 300 000 km/sek) korrutada sekundite arvuga aastas  
(umbes  $31\frac{1}{2}$  miljonit sekundit). Meile lähimalt heledalt  
tähtelt ( $\alpha$  Kentauris) tuleb valgus meieni kauem kui 4 aas-  
tat, teistelt tähtedelt aga veelgi kauem.

Parsek on kaugus, mis vastab ühe kaare-  
sekundilisele aastaparallaksile; see on kau-  
gus, milliselt Maa kaugus Päikesest oleks nähtav nurga  
all  $1''$ .

Tähe kaugus parsekkides on tema kaaresekundeis väljen-  
datud aastaparallaksi pöördväärtus. Näiteks, kui lähima tähe

parallaks  $0'',75 = \frac{3}{4}$  sekundit, siis tema kaugus on  $\frac{4}{3}$  parsekki.

Valgusaastais väljendatud kaugus on näitlikum, kuid parsekkides väljendatuna ta on sobivam arvutusteks, sest vaatlustest määratakse tähtede parallaks, millega kaugus parsekkides on seotud nõnda lihtsalt.

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

**§ 55. Taevakehade suuruse määramine.** Et määrata taevakeha joonsuurst, tuleb mõõta nurk, mille all meile paistab tema raadius, ja teada tema kaugust. Joonisel 56 näeks vaatleja Maa keskpunktist  $O$  taevakeha joonraadiust  $R$  nurga all  $\varrho$ .

Tähistame Maa keskpunkti kauguse taevakeha keskpunktist tähega  $D$ , siis

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

$R$  saadakse samades ühikutes, milledes on väljendatud  $D$ . Kui väljendada  $D$  Maa raadiustes, siis ka  $R$ -i me saame Maa raadiustes. Kui  $D$  väljendada kilomeetrites, siis ka  $R$  saadakse kilomeetrites.

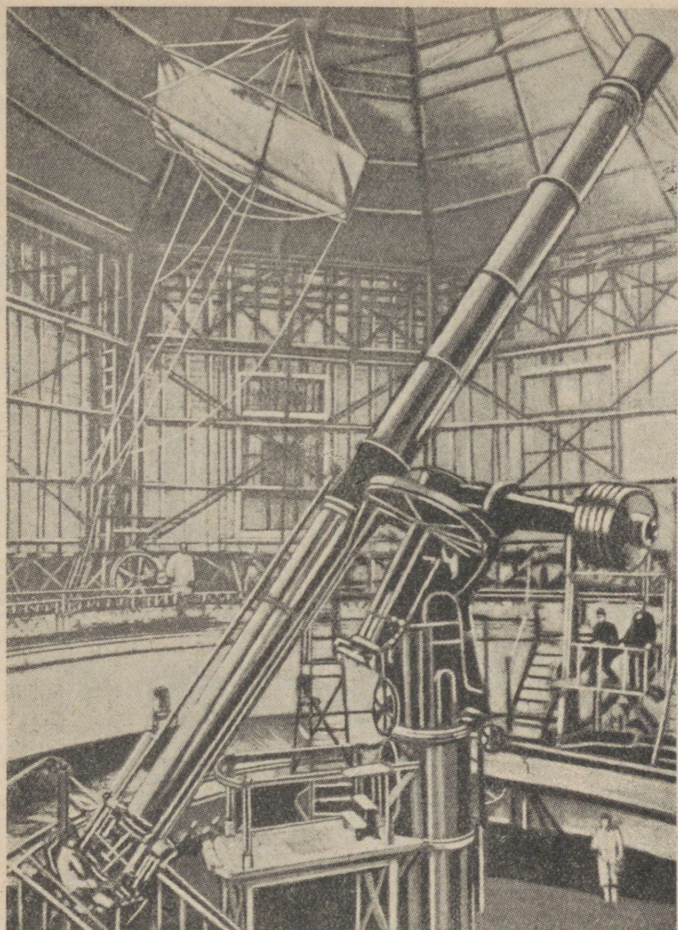
Näiteks Kuu kaugus  $D = 60$  Maa raadiust, Kuu raadiust aga me näeme nurga all  $16'$ . Kuu puhul

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

**§ 56. Astronoomilised observatooriumid.** Teaduslikke astronoomilisi uurimisi toimetatakse astronoomilistes institutides ja observatooriumides (tähetornides).

Suured observatooriumid omavad äärmiselt täpseid nurgamõõtmise riistu (nn. passaažiriist, meridiaaniring jt.), millega abil määratakse taevakehade täpne asend taevaskeral taeva ekvaatori ja kevadpunkti suhtes.

Need riistad, mis võimaldavad mõõta taevaskeral nurki täpsusega  $0,01$ , annavad võimaluse mõõta taevakehade paral-



Joon. 57. Pulkovo observatooriumi suur refraktor objektiiviga 76 cm.

lakse (s. o. määrata taevakehade kaugusi) ja mõõta nende näivat nihkumist taevaskeral, mis osutub nende ruumis liikumise ja meie Maa liikumise vastupeegelduseks.



Joon. 58. Reflektor peegli läbimõõdus 2,5 m.

Igal selgel öhtul määratakse observatooriumides taevakehade vaatluste järgi täpne aeg. See alaline hooldnõudev töö võimaldab observatooriumidel levitada raadio kaudu

ajasignaale üldisteks vajadusteks ning eri-eesmärkideks määratu suure täpsusega (kuni 0,001 sekundit).

Taevakehade füüsilise loomuse uurimiseks rakendatakse mitmesuguseid teleskoobe. Ühtedes neist vaadeldakse taevakehi otseselt silmaga, teiste abil fotografeeritakse neid. Teleskoobe, mis on määratud tähtede fotografeerimiseks, nimetatakse *astrograafideks*. Need, samuti kui kõik suured teleskoobid, pärast valitud tähele juhtimist pannakse kellamehhanismi abil liikuma ümber telje, mis on suunatud maailma poolusele. Seetõttu vaatleja, hoolimata taeva ööpäevast pöörlemisest, näeb taevakeha muutumatult oma teleskoobi vaateväljas, tähtede kujutised aga langevad kogu aeg fotoplaadi samadele kohtadele.

Paljude paremuste tõttu tõrjub fotograafia ikka enam ja enam välja otsesed vaatlused silmaga. Taeva ja taevakehade ülesvõtted dokumentaalselt fikseerivad nende olukorra ülesvõtte-momendil. Fotoülesvõtteid, mis järjest täiendavad klaasist hoidlaid — negatiivide kogusid, uuritakse hiljem mugavalt laboratooriumides, kus kõiki fotodel tehtud mõõtmisi võib kontrollida ja igal ajal korrata. Mõõtmised fotodel, nendega seotud arvutused ja saadud tulemuste uurimine võtab astronoomidel rohkem aega kui vaatlused ise.

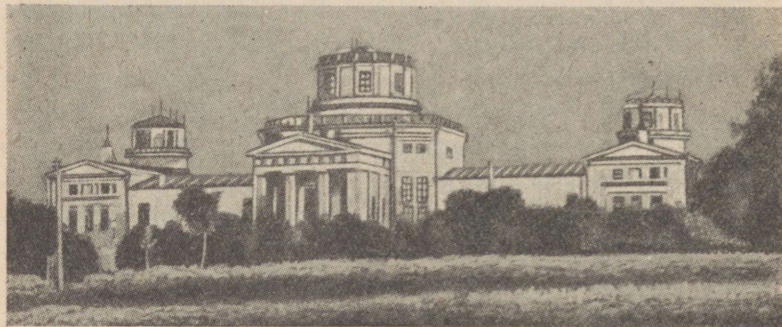
Paljud teleskoobid varustatakse abiriistadega, mida kasutatakse taevakehade heleduse (*fotomeetrid*) ja nende spektrite (*spektrograafid*) uurimiseks.

Teleskoobe on kahte tüüpi: *refraktorid* ja *reflektorid*. Refraktorid on läätsobjektiividega pikksilmad. Reflektorid annavad kujutise mitte objektiivi, vaid nõguspeegli abil.

Ei tarvitse arvata, et suurte teleskoopide ehitamise püüe on esile kutsutud ainult soovist vaadelda taevakehi tugeva suurendusega. Teleskoobis muutuvad kõik õhu liikumised märgatavamaks, seepärast paneb alaliselt püsiv õhu laineetus piiri praktilisele suurendusele. Teleskoobilistel vaatlustel

kasutatakse harva üle 500-kordseid suurendusi, kuigi suured teleskoobid võivad anda tuhandetekordseid suurendusi. Selliste tugevate suurenduste puhul enam märgatavate õhu lainetuste tõttu on üksikasjad taevakehadel halvemini nähtavad, vähem selged kui väikeste suurenduste puhul.

See-eest aga suured teleskoobid võimaldavad näha nõrgema heledusega, järelikult ka meist kaugemal asuvaid taevakehi, võimaldavad tungida sügavamale maailmaruumi



Joon. 59. Pulkovo observatooriumi peahoone (enne tema purustamist saksa fašistide poolt).

põhjatusse. Selliste teleskoopidega saadakse taevakehade fotod kiiremini ja suuremate peensustega.

NSV Liidus on kõige suuremad observatooriumid Moskvas, Taškendis, Kaasanis ja Abas-Tumanis (Gruusias). Saksa fašistid purustasid sõjaajal observatooriumid Pulkovos ja Simeizis, kus olid kõige suuremad teleskoobid NSV Liidus. Need observatooriumid taastatakse, samuti ehitatakse juurde uusi.

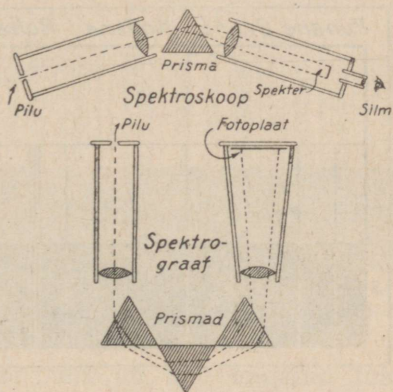
**§ 57. Spektraalanalüüs.** Möödunud sajandi keskpaiku avastas Kirchhoff (1824—1887) erilise valguse uurimise viisi, mida nimetatakse spektraalanalüüsiks. See põhineb

nähtusel, et erivärvilised kiired, mis ühise seguna annavad valge valguse, 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 võlgname enamiku meie teadmiste eest taevakehade füüsilisest loomusest ja keemilisest koostisest.

Spektraalanalüüsi toimetatakse riista abil, mis kannab spektroskoobi nime (joon. 60). Spektroskoop koosneb kolmest osast: klaasprismast ja kahest torust. Ühel neist (joonisel vasakul), nimetatud kollimaatoriks, on eespooles otsas kitsas pilu, mida läbib uuritava taevakeha valgus. Teises otsas on objektiiv, mille fookusesse ongi asetatud pilu.

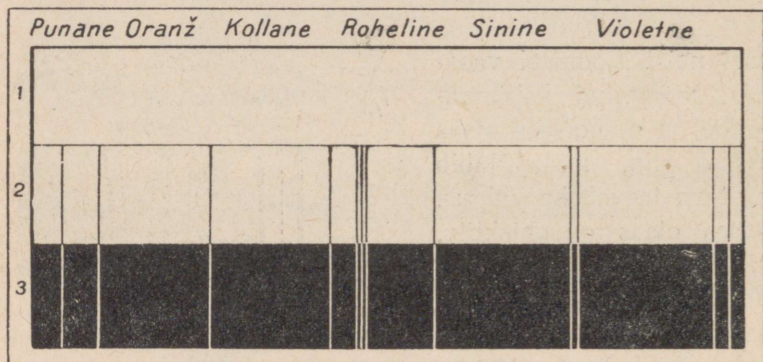
Seepärast pilust tulevad valguskiired, kusjuures pilu osutub nagu spektroskoobi valgusallikaks, väljuvad objektiivist rööpse kimbuna ja langevad kõik prismale ühesuguse langemisnurga all. Selles ongi kollimaatori ülesanne.

Liitvalgus, mis koosneb mitmevärvilistest kiirtest, lahutub prismas oma koosteosadeks. Erivärvilised kiired lähevad laiali, sest prisma murrab neid erinevalt. Sellisel kujul satub valgus pikksilma. Kui pikksilma otsa asetada okulaari asemel fotoplaat, siis saame uuritava valguse koosteosade foto, mida nimetatakse spektrogrammiks. Sel juhul kannab riist spektrogrammi nime.



Joon. 60. Spektroskoobi ja spektrogrammi konstruktsiooni skeemid.

On avastatud, et hõõguvad tahked ja vedelad kehad, samuti hõõguvad vähe läbipaistvad elektriseeritud või tugevasti kokkusurutud gaasid annavad nn. pideva spektri vikerkaare-värvilise riba näol (joon. 61, 1). Sellises spektris lähevad värvused punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, sinine ja violetne järk-järgult üksteisesse üle. Valge päikesevalgus koosneb kõigi vikerkaarevärvide segust. Nagu teada, levib valgus lainetena ja igal spektri värvusel on oma lainepikkus. Täpsemalt öeldes, igale spektri punktile



Joon. 61. Spektri liigid.

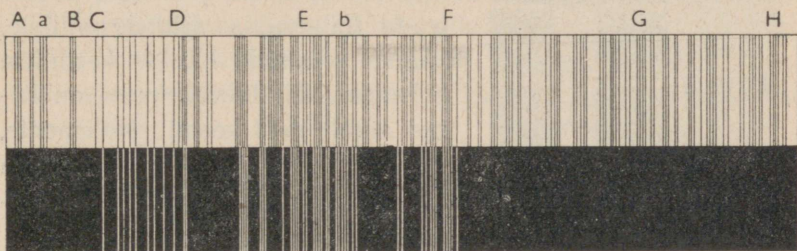
vastab oma lainepikkus. Ta on ühesugune ainult ühe joone punktidel, mis on tõmmatud risti spektri pikkusele, s. o. joone puhul, mis on asetatud risti spektriga.

Näiteks spektri kaks kollast naaberriba, mis pole värvuselt silmaga üksteisest eraldatavad, omavad erinevaid lainepikkusi.

Läbipaistvad gaasid ja aurud, kui nad on hõrendatud olekus ja helendavad kas kuumutamise või elektrilahenduse mõjul (nagu näiteks elektrisädemes), annavad spektri, mis koosneb heledatest värvilistest joontest tumedal foonil

(joon. 61, 3). Joonte asetus sellises spektris vastavalt lainete pikkustele oleneb sellest, milline on antud gaasi keemiline koostis. Üks ning sama gaas, kui ta on enam-vähem ühesugustes helendamise tingimustes, annab spektris ühed ning samad jooned. Nii siis, spektri joonte põhjal võib määrata helendava gaasi keemilise koostise.

Kui valgusallika ette, mis annab pidevat spektrit, asetada madalama temperatuuriga aurud või gaasid, neelavad need ära osa valgusallika valgusest. Sel juhul on spektro-



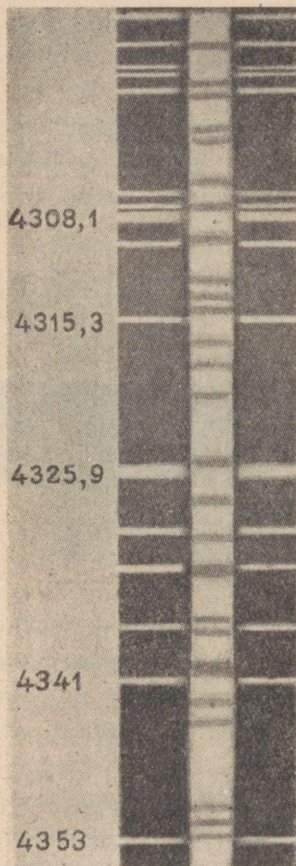
Joon. 62. Rauda spektri (all) ja Päikese spektri (üleval) võrdlus.

skoobis nähtav pidev spekter, mis on läbi lõigatud tumedate joontega (joon. 61, 2 ja 62). Tumedad jooned asuvad spektri neissamades kohtades (nad omavad samasugust lainepikkust), millistes just need aurud ja gaasid annavad spektri heledad jooned, kui nad on tugeva helendamise olekus.

Tumedaid jooni Päikese spektris kirjeldas esimesena teadlane Fraunhofer (1787—1826) ja neid sageli nimetatakse tema nimega. (Õpikule on lisandatud spektrite värviline tabel.)

**§ 58. Taevakehade keemilise koostise, kiiruse ja temperatuuri määramine.** Spektraalanalüüsi abil võib määrata keemilist koostist ainult gaaside puhul, kui nad on kas isehelen-

davad või kui nad neelavad valgust valgusallikast, mis annab pideva spektri, ja tekitavad sellega pidevas spektris tumedate joonte esinemise. See kehtib atmosfääride puhul, mis



Joon. 63. Joonte nihkumine tähe spektris, kui täht liigub vaatesuunas. (Keskmine riba; kõrvalolevad annavad võrdlusspektri.)

ümbritsevad selliseid taevakehi nagu Päike ja tähed. Tähtede ja Päikese spektrid on pidevad, läbi lõigatud tumedate fraunhoferi joontega. Kõrvutades neid jooni meile tuntud keemiliste elementide spektrite joontega, 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 tõestab maailma materiaalsel ühtsust.

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

Taevakehade liikumise kiirused Maa suhtes vaatesuunas (meie poole või meist eemale) määratakse spektraalanalüüsi abil nn. Doppler-Fizeau' printsiibi põhjal. Doppler-Fizeau' printsiip seisab selles, et valgusallika ja vaatleja lähene misel kõik spektrijooned nihkuvad tema violetse otsa poole, vaatleja ja valgusallika vastastikuse eemaldumise puhul aga nihkuvad tema spektrijooned punase otsa poole. See on analoogiline tähelepanekutega hääleallika lähenemise või kaugenemise puhul: häälelaine sagenemine või harvenemine lühendab või pikendab teda, mis mõjutab hääle tooni. Valguslained alluvad samale reeglile. Joone nihkesuurus sõltub liikumise kiirusest ja on mõõdetav (joon. 63).

Vaatesuunaga ristset taevakeha liikumise tõelist kiirust võib määrata, teades taevakeha nihkumise näivat nurkkiirust taevaskeral ja tema kaugust neist.

Isehelendavate taevakehade, nagu seda on Päike ja tähed, temperatuure määratakse heleduse jaotumise uurimise abil spektri eri osades.

Madalama temperatuuriga ishelendav keha omab punast värvust, sest kõige heledamaks kohaks tema spektris on just punane värvus. Kuumem keha saadab välja kollast valgust, sest tema spektri kõige heledamaiks kohtadeks osutuvad punane ja kollane värvus. Veel kuumem keha omab valget värvust, sest värvuste heledus tema spektris on selline, et segunedes nad annavad valge värvuse. Veel kõrgema temperatuuriga keha spektris on kõige heledam spektri violetne osa, mistõttu ta värvus paistab sinakana. Valguse kiirgamis teooria, mis on katseliselt kontrollitud, näitab, kuidas heleduse jaotus spektri eri värvuste vahel sõltub keha temperatuurist. Uurinud heleduse jaotust Päikese ja tähtede spekt-

rites, võime kindlaks määrata, millisele temperatuurile see vastab.

Planeetide ja Kuu temperatuurid, mis paistavad peegeldunud päikesevalgust, määratakse kahe hästi peenikese eri metallidest traadi jootekoha abil: see on nn. termoelement. Niisuguse jootekoha kuumutamisel tekib temas elektrivool. Astronoomias kasutatakse koos teleskoopidega niivõrd tundlikke termoelemente, et need on võimelised kinni püüdma küünla soojust, mis põleb paljude kilomeetrite kaugusel. Selline termoelement paigutatakse teleskoobi objektiivile 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 soojushulka, mis on tulnud sellelt planeedilt Maani, teades aga planeedi kaugust Maast võib nende andmete põhjal arvutada planeedi temperatuuri.

Me näeme, et kaasaegne teadus omab rea võimsaid meetodeid universumi (maailmkonna) uurimiseks. Need meetodid võimaldavad täiesti kindlasti uurida taevakehade füüsilist loomust, nende liikumist, keemilist koostist ja temperatuuri. Niisiis kaasaegsed andmed taevakehadest ei osutu lihtsateks oletusteks, vaid on mõõtmiste ja katseliselt paljukordselt kontrollitud seaduste rakendamise usaldatavaks tulemuseks.

### III JAGU.

## PÄIKESESÜSTEEM.

### VIII peatükk.

### Kuu ja varjutused.

§ 59. Kuu liikumine ja ajavahemik kuu. Kuu on ainuke Maa ümber ringlev taevakeha. Täpsemalt öeldes, nii Kuu kui ka Maa ringlevad mööda ellipsit nende ühise raskuspunkti ümber. Et Kuu mass on 81 korda väiksem Maa massist, siis



Joon. 64. Kuu nihkumine tähtede keskel 1 tunni 20 minuti jooksul.

selle süsteemi raskuspunkt on 81 korda lähemal Maale kui Kuule ja Maa poolt kujutatud ellips on väga väike (§ 42).

Ajavahemikku, mille jooksul Kuu teeb ümber Maa täisringi, nimetatakse täheliseks (ehk sideeriliseks) kuuks; ta kestus on

$27\frac{1}{3}$  ööpäeva. Jälgige seda, kuidas Kuu mõne tähe suhtes juba järgmisel päeval nihkub tunduvalt vasakule ida poole (ligi  $13^{\circ}$  võrra ööpäeva jooksul).

On kerge tähele panna, et Kuu nihkub pidevalt mööda tähistaevast ja  $27\frac{1}{3}$  ööpäeva pärast jõuab tagasi nendesamade tähtede juurde, kujutades mööda taevaskera täisringi. Seepärast Kuu ringlemisperioodi (tähtede suhtes) nimetataksegi täheliseks (sideeriliseks). Ühe tunni jooksul jõuab

Kuu nihkuda mööda taevaskera (ida poole)  $\frac{360^{\circ}}{27\frac{1}{3} \times 24}$ , s. o.  $\frac{1}{2}^{\circ}$  ehk ligikaudu oma nähtava läbimõõdu suuruse võrra (joon. 64).

Oma liikumisel mööda taevaskera Kuu sageli katab ajutiselt tähed või planeedid, mis juhtuvad ette tema teele. (Seda nähtust nimetatakse katmiseks.) See näitab, et Kuu on meile lähemal kui tähed ja planeedid.

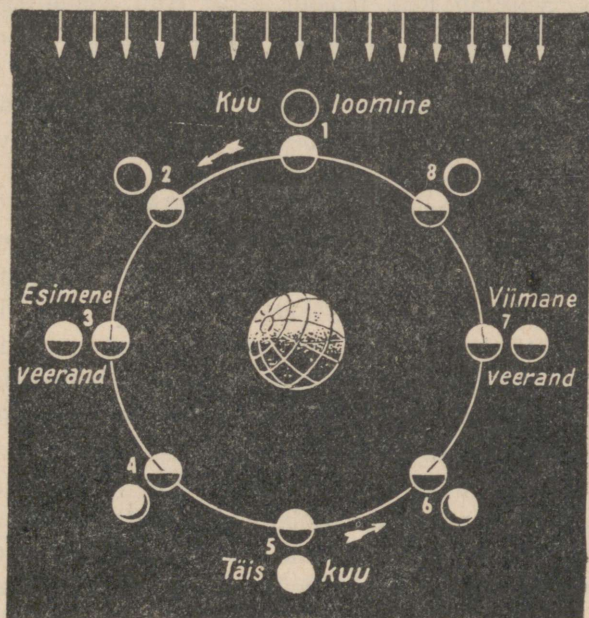
Kuu näiv liikumine mööda taevaskera toimub ekliptika läheduses, kuuorbiidi tasapind aga on kaldu maaorbiidi tasapinna suhtes (ekliptika tasapinna suhtes)  $5^{\circ}$  võrra. Kuuorbiidi lõikepunkte ekliptikaga nimetatakse kuuorbiidi sõlmedeks.

Päikese külgetõmbejõud häirib Kuu liikumist. Selle tulemusena osutub Kuu liikumine väga keeruliseks. Tema orbiit vahel venib pisut välja, vahel tõmbub pisut koomale, vahel asetub kaldu ekliptika suhtes rohkem, vahel vähem, ja mis on eriti tähtis, tema tasapind pöörleb ruumis, tehes  $18\frac{1}{2}$  aastaga täisringi. Selle järeldusena kuuorbiidi sõlmed pidevalt nihkuvad lääne poole ja  $18\frac{1}{2}$  aasta jooksul teevad täisringi mööda ekliptikat.

Kuu keskmine kaugus Maast on 384 400 km ehk ligi 30 maadiameetrit. Et Kuu liigub ümber Maa mööda ellipsit, siis tema kaugus muutub mõlemale poole umbes 20 000 km piirides. Kuuorbiidi Maale

lähimat punkti nimetatakse perigeeks, kaugemat — apogeeks.

§ 60. Kuu faasid ja tuhkvalgus. Kuu välisilme muutus — tema faaside vaheldus — tuleb sellest, et Kuu omab mitmesuguseid asen-



Joon. 65. Kuu faasid.

deid Maa ja teda valgustava Päikese suhtes.

Kuu on kerakujuline tume keha. Kui Kuu asub Maa ja Päikese vahel, siis on ta meie poole pöördunud poolkera Päikesest valgustamata ja meie Kuud ei näe. Seda Kuu faasi nimetatakse Kuu loomiseks ehk noorkuuks. Kui Kuu asub just Päikese vastaspoolel, s. o. Maa on Päi-

kese ja Kuu vahel, on kogu meie poole pöördunud Kuu poolkera heledasti valgustatud Päikeselt. Seda faasi nimetatakse täiskuuks. Vahepealsetes asendites me näeme neid või teisi osi tema valgustatud poolkerast külje pealt, mistõttu Kuu paistab poolkettana (esimene veerand ja viimane veerand), enam-vähem kitsa sirbina jne. Joonis 65 selgitab Kuu faaside seost Kuu asenditega tema orbiidil; päikesekiired langevad ülevalt joonise tasapinnas.

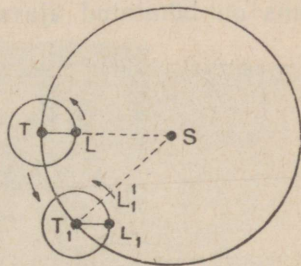
On arusaadav, et Kuu loomise ajal toimub Kuu ülemine kulminatsioon keskpäeval, täiskuu puhul — keskööl, esimese veerandi puhul — umbes kl. 18 ja viimase veerandi puhul — umbes kl. 6 (päikeseaja järgi).

Kuul asuvale vaatlejale paistab Maa samuti Päikese suhtes mitmesuguses asendis. Seepärast Päikeselt valgustatud Maa peab Kuu pealt vaadatuna samuti muutma faase ning sama perioodiga, ainult selle vahega, et kui Maa peal on näiteks täiskuu, Kuu peal peab olema „noormaa”, ja ümberpöördult. Sellest on kerge aru saada, lähtudes samast joonisest 65. Tuleb ainult kujutleda, et vaatleja liigub koos Kuuga ja vaatab sellelt Maa peale.

Maa pindala on Kuu pindalast 14 korda suurem. Peale selle Maa pind peegeldab päikesekiiri seitse korda tugevamini kui Kuu pind, sest Maal on rohkesti heledaid alasid (lumikatted, pilved, liivakõrbed). Seepärast „täismaa” ajal valgustab Maa Kuud hoopis tugevamini, kui täiskuu ajal Kuu Maad. Sellega seletub „tuhkvalguse” nähtus; nõnda nimetatakse Päikeselt valgustamata kuuketta osa nõrka sinakasrohekat helendust pisut enne ja varsti pärast noorkuud, mil Kuu paistab kitsa sirbina. Sel ajal Maa valgustab heledasti Kuu pinda.

Ajavahemikku Kuu kahe üksteisele järgneva ühesuguse faasi vahel nimetatakse sünoodiliseks kuuks; ta võrdub  $29\frac{1}{2}$  ööpäevaga.

Kuu faaside periood ehk sünoodiline kuu on suurem sideerilisest kuust. See tuleb sellest, et Kuu samasugused faasid esinevad Kuu samasuguste asendite puhul Päikese ja Maa suhtes. Joonisel 66 kujutab punkt  $L$  Kuud noorkuu asendis — Maa  $T$  ja Päikese  $S$  vahel. Selle ajavahemiku jooksul, mil Kuu teeb ümber Maa täisringi, jõuab Maa koos Kuuga läbida  $1/13$  osa oma orbiidist ümber Päikese ja osutub punktis  $T_1$ . Kuu liikudes vastavalt noolele osutub asendis  $L_1$ , mis, nagu näeme, ei vasta veel noorkuule. Et jõuda noorkuu asendisse  $L_1$ , tuleb Kuul pöörduda veel nurga  $ST_1L_1$  võrra, milleks kulub umbes kaks ööpäeva.



Joon. 66. Sünoodiline kuu on pikem sideerilisest kuust.

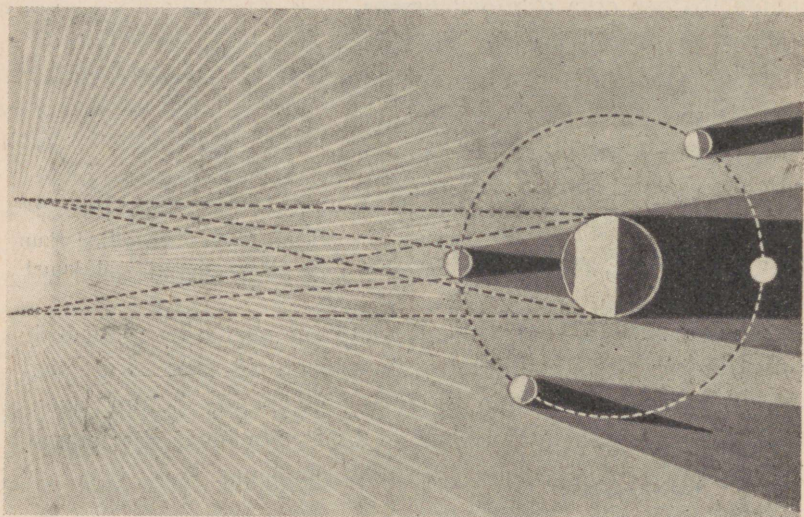
Sideerilised ja sünoodilised kuud on sarnased planeetide sideeriliste ja sünoodiliste perioodidega (§ 38). Kui seal toodud valemis asendada  $S$   $27\frac{1}{3}$  ööpäevaga,  $T$  aga asendada Maa ringlemisperioodiga —  $365\frac{1}{4}$  ööpäeva, siis leiame, et Kuu sideeriline periood  $P = 29\frac{1}{2}$  ööpäeva.

**§ 61. Varjutused.** Kui kuuorbiidi tasapind ühtiks ekliptika tasapinnaga, siis varjutused toimuksid iga kuu. Iga noorkuu puhul osutuks Kuu täpselt Maad ja Päikest ühendaval sirgel ning varjaks oma läbipaistmatu kehaga meilt Päikese. Selle järeldusel esineks iga kord nähtus, mida me nimetame päikesevarjutuseks (joon. 67).

Täpselt samuti satuks Kuu iga täiskuu ajal varju, mille heidab endast Maa ja mille tulemusena toimuks kuuvarjutus. Kuuorbiidi kallakuse tõttu ekliptika suhtes liigub Kuu noor- ja täiskuu ajal enamalt jaolt ekliptikast kõrgemalt või madalamalt ning varjutust ei teki.

Varjutused võivad tekkida ainult siis, kui noor- või täiskuu juhtub kuuorbiidi ühe sõlme läheduses. Teiste sõnadega, Päike ja Kuu peavad üheaegselt olema kuuorbiidi sõlmede läheduses.

Et neid sõlmi on kaks, Päike aga läbib mööda ekliptikat täisringi aasta jooksul, siis iga aasta esineb kaks perioodi (mis on lahutatud ajavahemikuga pool aastat), millal var-



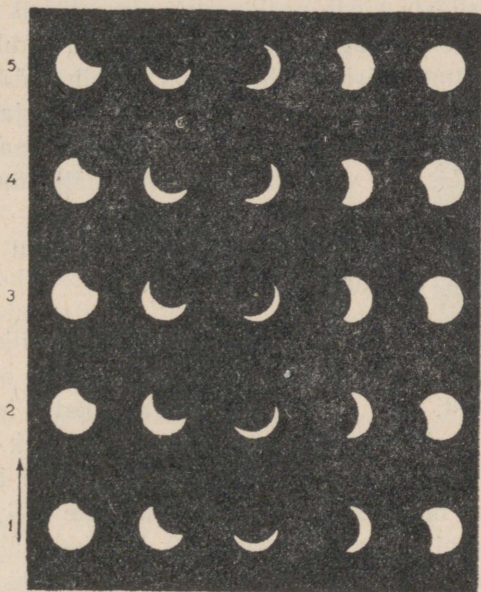
Joon. 67. Päikese ja Kuu varjutuste skeem.

jutused võivad tekkida. Täpsemad arvutused näitavad, et iga aasta peab toimuma mitte vähem kui kaks ja mitte rohkem kui viis päikesevarjutust ja mitte rohkem kui kolm kuuvarjutust; kuid kuuvarjutusi võib ka üldse mitte esineda. Kõige sagedamini juhtub, et aastast on kaks päikese- ja kaks kuuvarjutust.

**§ 62. Kuuvarjutused.** Maa heidab endast koonusetaolise, Päikesest eemale suunduva varju; kui täiskuu juhtub küllalt

lähedal kuuorbiidi sõlmele, siis Kuu selles faasis osaliselt või täielikult sukeldub Maa varju, mistõttu tekibki kuuvarjutus — osaline või täielik.

Maa varju läbimõõt Kuu kaugusel on peaaegu  $2\frac{1}{2}$  korda suurem Kuu läbimõõdust. Kui seejuures Kuu läbib varju keskk kohta, siis kestab täielik kuuvarjutus kuni 1 tund 40 min.,



Joon. 68. Osalise päikesevarjutuse mitmesugused faasis (järjekord vasakult üles püstridadena).

mitte arvestades aega, mille jooksul Kuu pikkamisi laskub Maa varju, samuti pikkamisi väljub sellest, milleks kulub veel kaks tundi.

Varjutuste ajal Kuu harilikult ei kao täielikult, vaid jääb nähtavaks, kuigi nõrgalt. Seejuures ta muutub värvuselt punakaspruuniks, enam-vähem tumeda või heleda varjun-

diga. Põhjus peitub selles, et päikesekiired, murdudes Maad ümbritsevas atmosfääris, satuvad Maa varju koonusesse. Kuid kõigist värvustest, millistest koosneb valge päikesevalgus, atmosfäär neelab tugevasti helesiniseid ja nende naaberkiiri, kuid laseb läbi selle varjukoonuse sisse peamiselt punaseid kiiri, mida ta neelab nõrgemini. Need kiired valgustavadki Kuu varjutuse ajal.

Tugev helesiniste kiirte neeldumine atmosfääris ilmneb ka Päikese tõusu ja loojangu ajal. Hommikul ja õhtul, kui kiired tungivad atmosfäärist läbi kaldu, läbib päikesevalgus paksemaid õhukihte kui päeva keskpaiku ja sinkjad-helesinised kiired neelduvad tugevamini. Seepärast Maa õhkkond omab sinkjat-helesinist värvust, Päike aga näib tõusu ja loojangu ajal punasena.

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

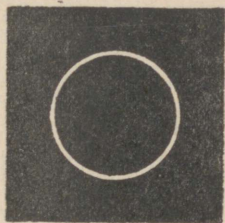
**§ 63. Päikesevarjutused.** Kuu on Maast väiksem; seepärast Kuu poolt heidetud varjukoonuse läbimõõt on väiksem Maa läbimõõdust. Kuu vari ei saa korraga katta kogu Maad või isegi tunduvat osa temast. Täielik päikesevarjutus on nähtav ainult selle võrdlemisi väikese laigu sees, mille Kuu vari moodustab Maa pinnal. See ellipsikujuline varjulaik millalgi ei küüni isegi 300 km-lise läbimõõduni, olles harilikult palju väiksem. Piirkonnas väljaspool seda laiku, kuhu langeb Kuu poolvari, raadiusega kuni neli tuhat kilomeetrit, on nähtav osaline varjutus, s. o. Kuu katab ainult osa päikesekestast (joon. 68). Maa teistes kohtades, väljaspool varju ja poolvarju, päikesevarjutust ei esine.

Seetõttu et Maa pöörleb ümber telje; Kuu aga ringleb ümber Maa, liigub Kuu vari mööda Maa pinda ja päikesevarjutus on nähtav järjestikku (eri momentidel) maapinna eri kohtades. See toimub nn. täieliku varjutuse ribas, mis

ulatub mööda Maa pinda kuni 12 000 km. Selle kõrval on nähtav ainult osaline varjutus ja seda väiksem (seda väiksema faasiga), mida kaugemal on see koht täieliku varjutuse ribast.

Varjutuse faasiks nimetatakse Kuu poolt kõige enam varjatud Päikese läbimõõdu osa suhet kogu läbimõõdusse. Ta väljendub Päikese läbimõõdu osades.

Nii Kuu kui ka Maa orbiidi elliptilisuse tõttu on Kuu näiv (nurk-) läbimõõt kord suurem, kord võrdne, kord väiksem Päikese omast. Esimesel juhul kestab täielik päikesevarjutus teatud aja (mitte üle 7 min. 40 sek.), teisel — ainult ühe silmapilgu, viimasel juhul aga Kuu üldse ei kata Päikest täiesti, tema ääred jäävad nähtavaks ümber Kuu tumeda ketta — toimub rõngakujuline varjutus (joon. 69).



Päikesevarjutuse pilt on järgmine. Kõige esiti Päikese ketta läänepoolsel (paremal) serval ilmneb väike must väljalõige. Ta järjest kasvab, ja Päike ikka enam ja enam kattub Kuuga. Nõnda möödub umbes tund.

Joon. 69. Päikese rõngakujuline varjutus.

Täieliku varjutuse alguseni päikesevalgus nõrgeneb pidevalt, ning seetõttu just mitte väga märgatavalt. Täieliku varjutuse algusega muutub pilt järsult: läheb pimedaks ja taevas muutuvad nähtavaks kõige heledamad tähed ning planeedid. Ümber Päikese ilmuvad nähtavale heledad leegitaolised eended (protuberantsid), mis väikeste roosakate keelekeste näol ulatuvad välja Päikesest. Varjutatud Päikese ümber välgatab päikesekroon, milleks on Päikese atmosfääri välimised osad. Pärast täieliku varjutuse lõppu ilmub Kuu parema serva tagant nähtavale kitsas päikesesirbik, mis kallab heledat valgust, ja kohe kaob kroon, protuberantsid

ning tähed. Sirbika kasvab järjest ja Kuu nihkub ära Päikese kettalt samuti umbes ühe tunni jooksul.

Kuigi päikesevarjutused esinevad kuuvarjutustest sagedamini, on Maa ühes ning samas kohas päikesevarjutused, eriti täielikud, nähtavad hoopis harvemini kui kuuvarjutused. Täielikud päikesevarjutused esinevad mõnes maakohas keskmiselt üks kord umbes 300 aasta jooksul, muidugi võimalikude kõrvalekaldumistega. NSV Liidu piirides olid täielikud päikesevarjutused nähtavad 1914., 1936., 1941. ja 1945. aastal. Järgmised lähemad NSV Liidus nähtavad päikesevarjutused on: 12. septembril 1950 (riba ulatub põhjast lõunasse, tšuktšide ja korjakkide rahvusringkonnas) ja 26. veebruaril 1952 (algab päikesetõusu ajal Irkutski oblasti edelaosas), ning NSV Liidu Euroopa-osas nähtavatest — 30. juunil 1954.

Täielike varjutuste ajal läheb korda vaadelda selliseid nähtusi, milliseid teisel ajal pole võimalik näha. Seepärast korraldatakse nende vaatlusteks täieliku varjutuse ribasse eri ekspeditsioonid.

1936. a. päikesevarjutus oli nähtav peaaegu kogu NSV Liidu territooriumil (vt. joon. 70), seejuures täielikuna pikas ribas Mustast merest kuni Vaikse ookeanini. See andis võimaluse organiseerida terve rea ekspeditsioone astronoomia- ja füüsika-alaste eriküsimuste lahendamiseks. Paljud nõukogude ekspeditsioonid saavutasid väärtuslikke tulemusi. Aastail 1941 ja 1945, hoolimata sõjaolukorrast, samuti teostati NSV Liidus ulatuslikke varjutuste vaatlusi.

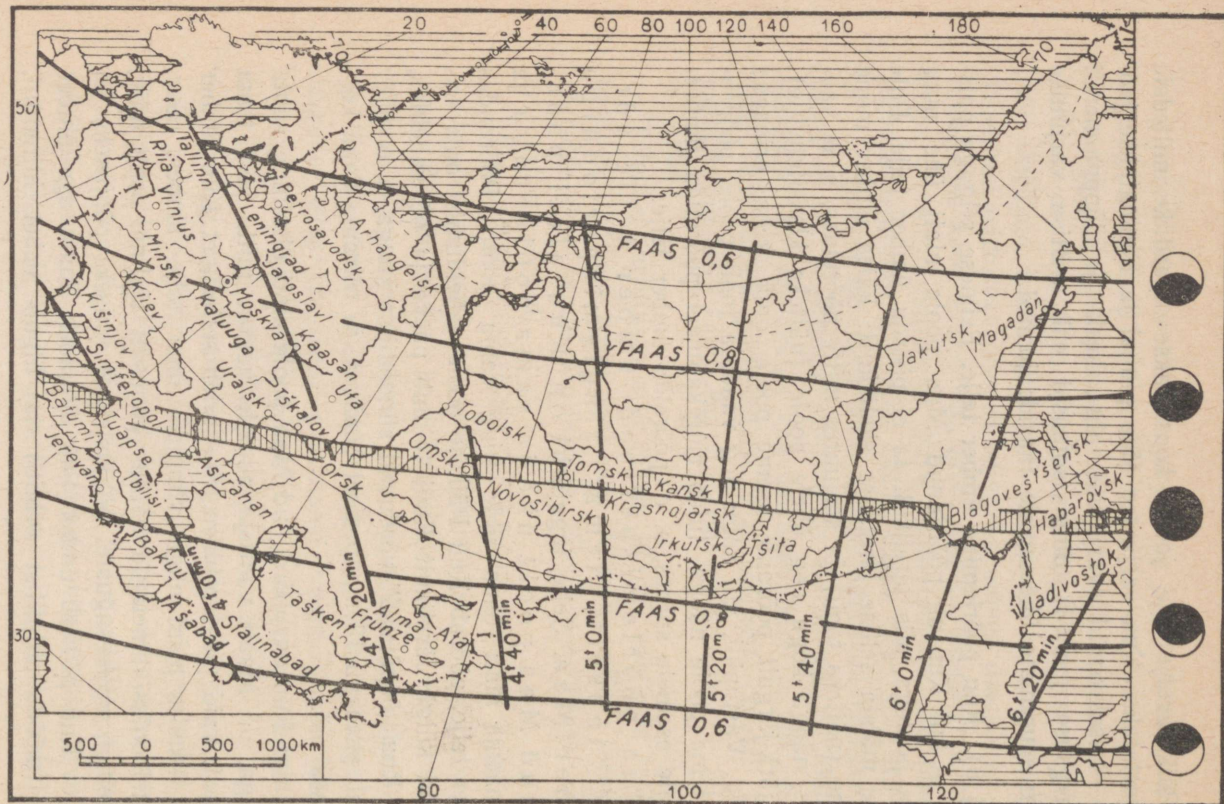
Oli aeg, millal inimesed väga kartsid varjutusi, pidades neid pahadeks enneteks või jumala viha väljenduseks. Nüüd teadlased, tundes Kuu liikumise teooriat, arvutavad varakult iga varjutuse alguse kuni sekundi kümnendikosa täpsusega. (Tähelepanevad väikesed vaatluste erinevused arvutustes viivad edasisele Kuu liikumise teooria täpsustamisele.)

Päikesevarjutuste jaoks koostatakse kaardid, milledele joonestatakse Kuu varju tee Maa pinnal ja tõmmatakse jooned — isokroonid (varjutuse alg-, kesk- ja lõppmomenti üheaegsuse jooned) ning isofaasid ehk osalise varjutuse kõige suuremate ühesuguste faaside jooned.

**§ 64. Kuu pöörlemine ümber telje.** Esimese pilguga paistab, et kui Kuu on pöördunud Maa poole alati ühe ning sama poolega, siis järelikult ta ei pöördu ümber telje. Pole raske mõista sellise järelduse ekslikkust: käies ümber mõne eseme (näiteks tooli) ja seejuures mitte pööreldes, s. o. vaadates näoga kogu aeg ühele poole (näiteks klassitahvlile), me järk-järgult pöörame eseme poole oma keha erinevad küljed. Vastupidi, kui kogu aeg vaadata tooli poole, pöörduks tema poole näoga, tuleb ringikäimisel pöörduda ümberolevate esemete suhtes, s. o. pöörelda ümber telje.

Kuu pöörlemisperiood ümber telje võrdub täpselt tema ringlemisperioodiga ümber Maa. Selle tagajärjel on Kuu alati pöördunud Maa poole ühe ja sama poolkeraga ja me näeme alati tema ühte ning sama poolt. Pöördudes ümber telje, pöörab Kuu Päikese poole vaheldumisi oma erinevaid külgi. Järelikult Kuul toimub päeva ja öö vaheldus, kuid Kuu „ööpäevad” võrduvad sünoodilise kuuga, s. o. päev kestab peaaegu 15 maapealset ööpäeva, ja niisama kaua kestab seal öö.

Kuigi Kuu on pöördunud Maa poole alati ühe ning sama küljega, on Maalt vaateleja silmale nähtav mitte pool tema pinnast, vaid pisut rohkem. See tuleb sellest, et Kuu ümber Maa liikudes pisut nagu võnguks oma telje ümber. See, libratsiooniks nimetatud nähtus on osalt tõeline, osalt näiv, ja toimub mitmesugustel põhjustel. Peamiseks põhjuseks on see, et Kuu pöörleb ümber telje ühtlaselt, kuna aga ümber Maa (mööda elliptilist orbiiti) ta liigub vahel kiiremini,



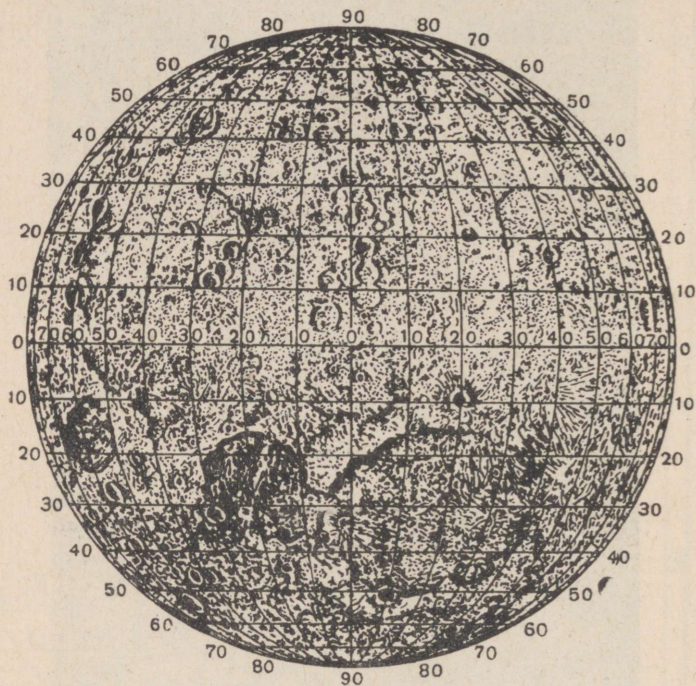
Joon. 70. 1936. a. päikesevarjutuse nähtavuse kaart. Pikijoontega on ühendatud punktid, mis omavad ühesugust varjutuse faasi (isofaasid). Ristjoontega on ühendatud punktid, kus varjutus oli nähtav üheaegselt (on antud maailmaaeg). Keskmise viirutatud ribaga on tähistatud kohad, kus varjutus oli täielik.

vahel aeglasemalt. Selle tagajärjel me võime vahete-vahel näha väikesi osi Kuu teisest poolkerast, mis võimaldaski üldsummas tundma õppida 0,6 kogu tema pinnast.



Joon. 71. Kuu pinna foto „Vihmade mere” piirkonnas tsirkidega: Eratosthenes (paremal, üleval), Archimedes, Aristüllos, Autolükos (madalamal, vasakul) ja Platon (all). (Võrdle joon. 73.)

§ 65. Kuu pinnaehitus. Maa kaaslase Kuu pind, tema liikumine ja füüsilised tingimused, mis valitsevad temal, on uuritud paremini kui ühelgi teisel taevakehal, sest et Kuu on meile kõige lähemaks taevakehaks. See võimaldab väga üksikasjaliselt uurida ka tema pinna iseärasusi. Paljud Kuu



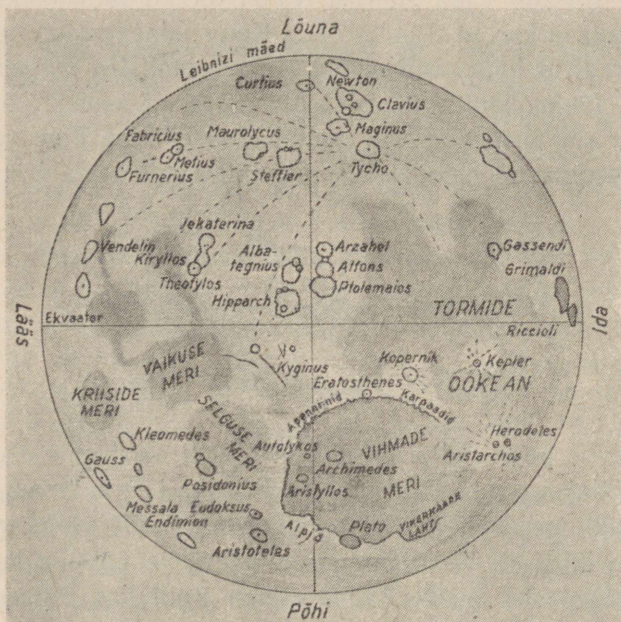
Joon. 72. Kuu kaart.

pinna üksikasjad on nähtavad isegi tugevajõulise binokliga.

Juba palja silmaga on Kuu kettal nähtavad tumedad lai-  
gud, mida XVII sajandil nimetati meredeks. See nimetus  
on säilinud ka kuni käesoleva ajani, kuigi juba ammu on  
kindlaks tehtud, et Kuul ei ole vett. Kuu „mered” kujutavad  
endist tasase pinnaga alasid, mis võrreldes mitmesuguste

ebatasaste aladega peegeldavad vähem valgust ja näivad tumedamatena.

Teleskoobis torkab silma, et Kuu pind on äärmiselt ebataasane: ta on üleni kaetud mägede ja mäeahelikega ning nagu oleks läbi kaevatud mitmesuguses suuruses süvenditega. Need süvendid on kujult ümmargused. Kuu ketta äär-

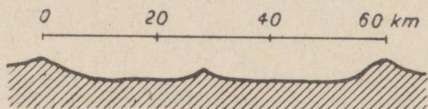


Joon. 73. Kuu peamiste pinnavormide skemaatiline kaart.

tel nad näivad piklikena, kuid see on tingitud perspektiivist: me vaatame neile mitte otse ülevalt, vaid külje poolt. Need on rõngataolised mäed. Nende mõnesuguse sarnasuse tõttu maapealsete vulkaanide kraatritega anti neile kraatrite nimetus. Nüüd harilikult nimetatakse neid tsirkideks, nende ümmarguse kuju tõttu. Mõnede tsirkide läbimõõdud

ületavad 200 km. Tsirkide põhi on küllalt tasane, kuid neid tasandikke rõngastena ümbritsevad mäevallid on väga keerulise ehitusega. Nende mäevallide kõrgus ulatub mitme kilomeetrini.

Kuu tsirkid — kraatrid — on väga vähe sarnased maapealsete vulkaanide kraatritega. Vahekorrad mäe kõrguse ja kraatri süvendi enda suuruse vahel on nii ühtedel kui teistel hoopis erinevad (joon. 74). Kuna maapealsete vulkaanide kraatrid kujutavad endist koonusetaolistes mägedes esinevaid läbimõeldult väikesi lehtritaolisi süvendeid, on Kuu tsirkide sügavus võrreldes nende läbimõelduga õige väike ja nad meenutavad oma kujuga pigemini väikesi taldrikuid.



Joon. 74. Kuu suure tsirki profiil.

Päikese poolt valgustatud mäed, eriti need, mis asetsevad Kuu kettal valguse ja varju piiril, nn. terminaaatoril, heidavad varjusid, millede pikkuse järgi võib määrata mägede kõrgust. Terminaator on päeva ja öö piirjoon ning tema lähedastes piirkondades esineb Kuul kas Päikese tõus või loojang. Täiskuu ajal näevad maapealsed vaatlejad Kuud selleltsamalt poolelt, millisel temale paistab ka Päike; seepärast Kuu mägedel varju ei ole, mis võtab võimaluse lähemalt selgitada Kuu pinna reljeefi.

Kuu pinna mõnedes kohtades on nähtavad määratu suured maapealsete mägedega sarnased mäeahelikud ja pikad praod, mis läbivad tema koort.

Kui Kuul asuksid mõistusega olendid, kes püstitaksid kunstlikke ehitisi nagu näit. meie linnad, me näeksimme seda,

sest praegusaegsed teleskoobid võimaldavad näha Kuul mõnesaja meetri suurusi ja veelgi väiksemaid moodustisi.

Kuu vaatluste puhul täiskuu ajal torkavad silma heledad kiired, mis radiaalselt lähevad laiali mõnedest Kuu tsirkidest. Kõige pikemad kiired väljuvad tsirkist Tycho (Kuu lõunapoolkeral). Arvatakse, et need on mitte kõrged vulkaanilisest tuhast kuhjumid.

**§ 66. Kuu füüsilised tingimused** on väga omapärased ja erinevad teravasti maapealsetest. Raskusjõud on Kuul kuus korda väiksem kui Maal. See olukord oli põhjuseks, et Kuu ei suutnud kinni pidada õhu ja veeauru osakesi. Seepärast Kuul puudub atmosfäär ja tema „meredes” pole tilkagi vett.

Atmosfääri puudumist Kuul tõestavad mitmed nähtused. Üks neist seisab selles, et tähtede kattumisel Kuu poolt nad ei kustu järk-järgult Kuu servale lähenedes, vaid kaovad selle taha järsku. Kui Kuud ümbritseks atmosfäär, siis tähed kustuksid järk-järgult: lähenemisel Kuu servale tähtede heledus nõrgeneks järjest valguse neeldumise tõttu Kuu õhkkonnas.

Atmosfääri puudumine Kuul põhjustab järgmisi nähtusi: kuupealsete mägede varjud on mustad ja teravad; Kuul pole ei koitu ega hämarikku ega mingisuguseid ilmastikulisi nähtusi; taevas paistab täiesti mustana ja temal võib üheaegselt näha Päikest, Maad ja tähti. (Meie taeva helesinine värvus, hämarikud, koit ja eha ning selletaolised nähtused on seletatavad valguse hajutamisega õhuosakeste poolt.) Kuul pole iialgi vihma ja me iialgi ei näe tema kohal pilvi või udu.

Atmosfääri puudumine, mis tasandaks temperatuuri kõikumisi, ja päeva ning öö pikk kestus põhjustab Kuul kuumuse ja pakase terava vahe. 354-tunnise päeva jooksul Kuu pind kuumeneb kuni  $120^{\circ}$ , seejärel aga 354-tunnise öö vältel jahtub kuni  $-160^{\circ}$ . Pole mingisugust alust oletuseks, et

tingimused meile nähtamatul Kuu poolel erineksid tema meie poole pööratud poolkera tingimustest. Olemasolevatel tingimustel aga on orgaaniline elu Kuul võimatu.

Suure hulga Kuu tsirkide rõngaskuju, milletaolisi me Maal peaaegu ei kohta, on kahtlemata tingitud Kuul valitsevatest füüsilistest tingimustest. Selle kohta on olemas kaks oletust. Need kraatrid võisid tekkida (sarnaselt lehtritaoliste aukudele mürskude lõhkemisel) planeetidevahelises ruumis liikuvate suurte kivide (meteoriitide) langemisest Kuu peale. Maa peale langedes sellised kivid harilikult ei saa tekitada suuri lehtreid, sest nende põrked pehmenevad atmosfääri takistusega. Kuigi vahel sellised lehtrid tekkisidki (väga massiivsete meteoriitide langemise puhul eriti suurte kiirustega), siis enamik neist pole maapealsetes tingimustes säilinud vee ja tuule purustava mõju tõttu.

Teise oletuse järgi tekkisid Kuu tsirkid energilise vulkaanilise tegevuse tulemusena väga kauges minevikus. See tegevus võib mõnesugustel tingimustel ilmnedada mitte pursete näol vulkaanide koonusetaolistest kraatritest, vaid laava väljavoolamiste näol läbi laiade avade, mis moodustavad laava järved. Selle hüpoteesi järgi tuleb vaadelda Kuu tsirke kui hangunud laava järvi.

## IX peatükk.

### Planeedid.

§ 67. Päikesesüsteemi üldine ülevaade. Päikesesüsteemi kuuluvad planeedid, mis nende kaaslastega ringlevad ümber Päikese.

Lähtudes Päikesest asuvad planeedid järgmiselt: Merkuur, Veenus, Maa, Marss,

Jupiter, Saturn, Uran, Neptuun ja Pluuto. Merkuur on Päikesele ligi kolm korda lähemal kui Maa, Pluuto aga 40 korda kaugemal kui Maa.

Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel ringleb ümber Päikese parv väikesi planeete, mis kannavad asteroidide nime. Neid tuntakse enam kui poolteist tuhat.

Päikesesüsteemi koosseisu kuuluvad samuti omapärased taevakehad, nimega komeedid, ja suur hulk meteorkehi.

Planeedid võib jaotada kahte väga erinevasse rühma. Esimesse kuuluvad Maa-tüüpi planeedid — Merkuur, Veenus, Maa ja Marss. Nende mõõted on suhteliselt väikesed, nad on lähedased Päikesele, nende tihedused on suured ja välised pinnakihid tahkes olekus. Füüsilised tingimused võimaldavad mõnedel neist planeetidest orgaanilise elu olemasolu.

Teine planeetide rühm — Päikesest kaugel asuvad määratu suured väikese tihedusega taevakehad — Jupiter, Saturn, Uran ja Neptuun. Kõik nad on ümbritsetud gigantsete tihedate atmosfääridega, mis täiesti varjavad meie eest nende planeetide pinna. Need planeedid ringlevad kiiresti ümber oma telje ja seetõttu on tugevasti lapikud.

Kõige suuremaks planeediks osutub Jupiter, väiksemateks aga Merkuur ja Pluuto (kui jätta kõrvale väikesed planeedid — asteroidid).

Kõik arvulised andmed planeetide kohta on toodud tabelis VI.

**§ 68. Merkuur ja Veenus.** Vaatlustel teleskoobiga näeme ka Merkuuril ja Veenusel faase, mis teeb neid sarnasteks Kuuga, ainult nende pinnal pole näha peaaegu mingisuguseid üksikasju.

Nende planeetide ebasoodsa asendi tõttu vaatlemiseks (vrd. § 12) on neist teada vähe. Mõlemad planeedid, eriti Merkuur, on Päikesele lähedal ja saavad seetõttu päikese-

valgust ja -soojust hoopis rohkem kui Maa. Nii Merkuuril kui ka Veenusel pole avastatud kaaslasi.

Merkuuril puudub atmosfäär. Tema ümber telje pöörlemise periood võrdub ümber Päikese ringlemise perioodiga, s. o. tema üks poolkera on alati pöördunud Päikese poole ja äärmiselt kuumutatud, teine aga on igavese külma öö pimeduses.

Veenus on ümbritsetud tiheda pilvise atmosfääriga, mis varjab meie eest tema pinna. See tõttu on meile täpselt tundmata tema ümber telje pöörlemise periood. Samuti on veel tundmata ta pilvede koostis. Veenuse pilved nähtavasti ei koosne vee aurudest. On tehtud kindlaks, et Veenuse atmosfäär sisaldab palju süsihappegaasi, hoopis rohkem kui Maa atmosfäär.

**§ 69. Maa planeedina.** Maa on suuruselt peaaegu võrdne Veenusega ja omab kaaslast — Kuud. Viimane on oma emaplaneediga võrreldes sedavõrd suur, et Maad ja Kuud oleks õigem nimetada kaksikplaneediks. Veenusele on Maa kõige heledam planeet. Teda on võimalik vaadelda tervete ööde vältel. Ka Merkuuri öises taevas särab Maa väga heledasti. Teistele planeetidele osutub Maa kord hommikuseks, kord õhtuseks planeediks, mis muudab oma faase; tal on üldiselt sama välisilme, nagu on meie suhtes Veenusel. Vaatlejad, kes vaataksid Maad teleskoobiga naaberplaneetidele, eriti Veenusel ja Merkuurilt, näeksid ookeanide sina, pooluseid ümbritsevate lumeväljade valgusust ja pilvede valgeid ribasid ning laike, mis alati katavad ligi poole Maa pinnast. Kuid maapealse õhu poolt tekitatud udovina tõttu poleks tema pinna detaile siiski võimalik selgesti näha.

Selliste vaatlustega saaks kindlasti konstateerida atmosfääri olemasolu, mis etendab osa elu arenemisel Maal.

Peame nüüd silmas, et Maa (samuti kui kõik teisedki meie päikesesüsteemi planeedid) poleks nähtav ka kõige lähemalt tähelt vaadatuna, kuigi teda vaadeldaks läbi suu-

rima teleskoobi, nagu neid on ehitatud Maa peal, sest ta on tähtedest liiga kaugel.

§ 70. **Marss.** Veenuse järel on suurtest planeetidest meile lähimaks taevaseks naabriks Marss, mis on vaadeldav siiski tunduvalt sobivamates tingimustes. Vahel ta läheneb meile ainult 55 miljoni kilomeetri kaugusele. Sellised lähene-



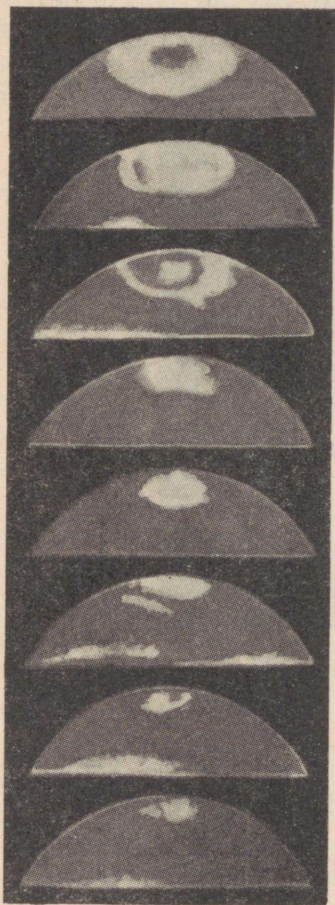
Joon. 75. Marsi teleskoobiline vaade (Antoniadi joonise järgi). Üleval — valge polaarmütsike.

dused, mis kannavad suurte vastasseisude nime, korduvad iga 15—17 aasta järel. Lähim neist saabub 1954. aastal.

Marsi ümber telje pöörlemise periood on peaaegu samaugune kui Maalgi. (Tema ööpäev on pikem maapealsest ainult 40 min. võrra.) Planeedi telg on ta orbiidi tasapinna suhtes kaldu nurgi  $65^{\circ}$ , nii et Marsil samuti kui Maalgi toimub regulaarne aastaegade vaheldus. Ses suhtes on ta väga sarnane Maaga.

Esimene, mis Marsi teleskoobilistel vaatlustel silma tor-  
kab, on suurema osa tema pinna punakas värvus. Just selle  
tõttu Marss paistabki palja silmaga vaadeldes punaka taeva-  
kehana. Väiksema osa ( $\frac{2}{5}$ ) pla-  
needi pinnast katavad tumedad  
laigud, mida nimetatakse me-  
re deks, kuna punakad piir-  
konnad kannavad mandrite  
nime. Nagu Kuugi puhul, on  
merede ja mandrite nimetuste  
kasutamine Marsil kokkuleppe-  
line.

Kõige paremini on Marsi  
pinnal näha valged heledad  
laigud, mis asuvad planeedi  
polaarpiirkondades. Neid nime-  
tatakse polaarmütsikesteks ja  
nähtavasti nad koosnevad, nagu  
see järeldub nõukogude tead-  
laste töödest, jääst ja lumest,  
meenutades jää ja lume kuhju-  
misi Maa poolustel. Analoogili-  
selt maapealsetele polaarmütsi-  
kestele alluvad nad oma suuru-  
ses aastaajalistele muutustele.  
Kui näiteks Marsi lõunapool-  
keral on talv, on lõunapolaar-  
mütsike väga suur. Kevade saa-  
bumisega ta sulab, jaguneb osa-  
deks ja väheneb suuruselt  
(joon. 76). Ühenduses sellega  
tekib ja levib ümber polaar-  
mütsikese tume ääristus.



Joon. 76. Marsi polaarmütsi-  
kese muutused nelja kuu  
jooksul.

Läbimõõdult on Marss kaks korda väiksem Maast. Ta on Päikesest poolteist korda kaugemal kui Maa ja seetõttu saab tunduvalt vähem soojust ning valgust. Marss on ümbritsetud hoopis hõredama atmosfääriga kui Maa ja see sisaldab ainult vähesel hulgal hapnikku ja veeauru — orgaanilise elu olemasoluks nii vajalikke aineid. Veeauru on Marsi atmosfääris sedavõrd vähe (mitte üle 5% sellest hulgast, mis on õhkkonnas maapinna läheduses), et seal pilvi tekib õige harva. Hapnikusisaldus Marsi atmosfääri ühes ruumiühikus, võrreldes Maa atmosfääriga, ei ületa 15%. Hõreda ja pilvitu atmosfääri tõttu on Marsi pind, samuti kui Kuugi pind, vaatlusteks alati kättesaadav.

Vilumatu silm ei näe Marsi kettal midagi erilist. Vilunud vaatlejad aga, töötades suurte teleskoopidega, suutsid järkjärgult läbi uurida kogu tema pinna ja koostasid koguni üksikasjalised Marsi kaardid. On kindlaks tehtud, et tumedate laikude värvus, nende tihedus ja varjund samuti osutavad muutusi, mis on seotud aastaegade vaheldusega Marsil. Marsi antud poolkeral omavad tumedad laigud kevadel rohekat varjundit, sügiseks aga muutuvad pruunikaiks, tuhmuvad.

Vaatlustel väikeste teleskoopidega liituvad Marsi paljudes kohtades väikesed tumedad laigud peenikesteks tumedateks joonteks, mida nimetatakse kanaliteks. Nüüd suurte teleskoopidega toimetatud vaatlused näitavad, et kanalid ei ole Marsi elanike kunstlikud ehitised, nagu arvasid mõned uurijad varemalt. Paljud „kanalitest” ei osutugi pidevateks joonteks, vaid koosnevad väikeste korrapäratute täpikete ridadest.

Marsi kõige soojemates kohtades temperatuur ei ületa  $15^{\circ}$ , külmemates aga ulatub kuni  $-100^{\circ}$ . Kuna sellel planeedil füüsilised tingimused on sarnased maapealsetega, kuigi võr-

ratult karmimad, võib täiesti eeldada orgaanilise elu olemasolu Marsil.

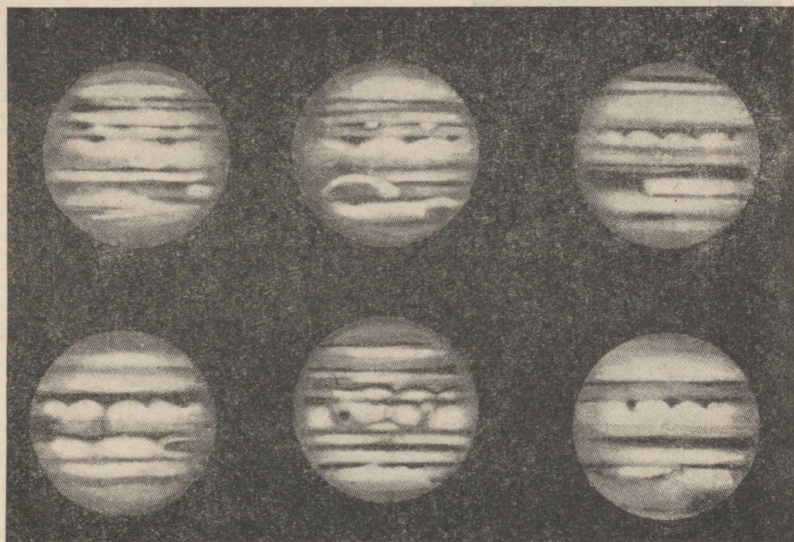
Oletatakse, et Marsi pinna punakad kohad osutuvad liiva-kõrbedeks, „mered” aga — madalikeks, millesse koguneb vähesel hulgal niiskust. On võimalik, et tumedate laikude aastaajalised muutused on seletatavad nähtustega, mis on sarnased roheline taimestiku kasvule ja närbumisele meie Maa tingimustes.

Suuri mägesid Marsil pole ja kogu ta pind on küllalt tasane. Nähtavasti osutub Marss vananevaks planeediks, mille areng on läinud kaugele. Me võime endile kujutella Marsi füüsilist olukorda kui vahepealset Kuu olukorra ja Maa olukorra vahel.

Marsil on teada kaks kaaslast — Fobos ja Deimos (tõlkes kreeka keelest — Hirm ja Õudus). Need Marsi kuud on väga väikesed ja võrdlemisi nõrgalt valgustavad tema öid. Fobos, mille läbimõõt ei ületa 20—30 km, on Marsi pinnale 36 korda lähemal kui Kuu Maale ning ringleb ümber oma planeedi 7 t. 30 min. jooksul, s. o. kiiremini kui Marss pöörleb ümber telje. Seepärast ta tõuseb läänes ja loojub idas, ning seejuures kaks korda iga ööpäeva jooksul.

**§ 71. Jupiter** — päikesesüsteemi kõige suurem planeet — on 1300 korda suurem Maast oma ruumalalt ja enam kui 300 korda suurem temast massilt. Juba väikese astronoomilise pikksilmaga on piki planeedi ekvaatorit nähtavad tumedad pilvede vöödid (joon. 77). Ära märkides neis vöötides, mis asetsevad planeedi laiaulatuslikus ja tihedas atmosfääris, mõne laikudest, võib juba tunni aja pärast veenduda selles, et Jupiter pöörleb kiiresti ümber telje (perioodiga umbes 10 tundi). Kiire pöörlemise järel-  
dusena on Jupiter tugevasti lapik poolustel. (Lapikus moodustab  $\frac{1}{16}$  ja on hästi märgatav teleskoobis.) Jupiter

ei pöörle nõnda kui tahke keha — tema ekvaatorilised piirkonnad pöörlevad kiiremini (9 t. 50 min.) kui polaarsed (9 t. 59 min.). On kindlaks tehtud, et Jupiteri atmosfäär koosneb peamiselt ammoniaagi ja metaani gaasist ning et tema temperatuur on  $110^{\circ}$  allpool nulli. See seletub Jupiteri kaugusega Päikesest ja seetõttu ta pinna nõrgast soojenemisest.

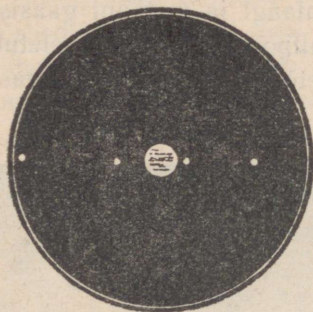


Joon. 77. Jupiteri teleskoobiline vaade ja muutused sellel.

Jupiteril on teada üksteist kaaslast, milledest neli kõige suuremat on nähtavad isegi juba kuuekordse suurendusega binoklis (joon. 78). Teleskoobis on hõlpus jälgida nende ringlemist ümber planeedi.

§ 72. Saturn on ruumalalt peaaegu kaks korda väiksem Jupiterist ja oma ehituselt temaga väga sarnane. Ta on samuti ümbritsetud tiheda pilvkattega,

millest planeedi pinda pole võimalik läbi näha. Pilved Saturnil on samuti kui Jupiterilgi välja venitatud vöötidena piki ekvaatorit, kuid uurida neid võõte on raskem. Oma koos-

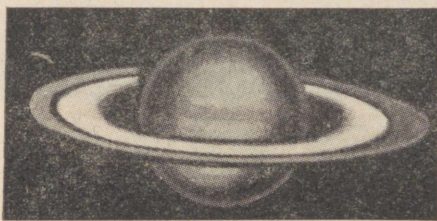


Joon. 78. Jupiter ja tema kaaslased teleskoobi vaateväljas.

tiselt on Saturni atmosfäär väga sarnane Jupiteri atmosfääriga; Saturni keskmine tihedus on väga väike — ta moodustab kõigest 0,7 vee tihedusest Kiire ümber telje pöörlemise ( $10\frac{1}{2}$  tundi) ja väga väikese tiheduse tulemusena on Saturn poolustel veel lapikum kui Jupiter (tema lapikus võrdub  $\frac{1}{10}$ ).

Tähelepanuväärne on lai tasane rõngas, mis ümbritseb Saturni tema ekvaatori tasapinnas (joon. 79).

Tumedate vahedega — lõhedega on rõngas pikuti jaotatud kolmeks osaks. On tõestatud, et Saturni rõngas pole pidev, vaid koosneb lugematust hulgast väikestest osakestest, mis kaaslaste sar-



Joon. 79. Saturni vaade teleskoobis.

naselt ringlevad ümber planeedi Kepleri seaduste järgi. Neid osakesi on sedavõrd palju ja nad on üksteisele nii lähedal, et sellel kaugusel, millest meie neid vaatleme, liituvad nad pidevaks ringiks. Sõltuvalt

Saturni asendist Maa suhtes, muutub rõnga välisilme. Kui me teda vaatame küljelt, siis ta, olles äärmiselt õhuke (mitte paksem kui 15 km), pole nähtav. Vahel aga on Saturni rõngas pöördunud meie poole nõnda, et me näeme teda kõige suuremal määral (joon. 80).

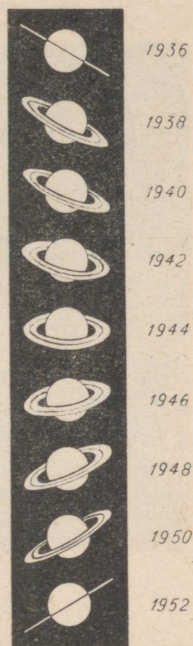
Saturnil on teada üheksa kaaslast, milledest üks (Titan) on nähtav ka väikestes teleskoopides.

### § 73. Uuran, Neptuun ja Pluuto.

Uuran ja Neptuun osutuvad õige suurteks planeetideks, mis on igas suhtes sarnased Jupiteriga. Nad on samuti ümbritsetud tiheda atmosfääriga, mille keemiline koostis on peaaegu sama mis Jupiterilgi; nende atmosfäärides on pilvevöödid välja venitatud paralleelselt planeedi ekvaatoriga. Nad on samuti tugevasti lapikud ja pöörlevad väga kiiresti ümber telje (Uurani pöörlemisperiood on ligi 11 tundi, Neptuunil umbes 16 tundi). Nende vaatlemisel isegi tugevate teleskoopidega pole nende pinnal peaaegu midagi näha, sest nad on Päikesest ja Maast väga kaugel. Uuranil on teada neli kaaslast, Neptuunil aga üks. Kõigi suurte planeetide peal, Jupiterist Neptuunini, on väga külm ja nende atmosfäär pole kõlblik hingamiseks; seetõttu on orgaaniline elu neil võimatu.

1930. a. avastatud Pluuto nähtavasti pole suurem Maast. Isegi kõige tugevamates teleskoopides on ta vaevalt nähtav nõrga tähekesena ilma märgatava kettata.

§ 74. Asteroidid ehk väikesed planeedid ringlevad ümber Päikese Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel, neid on väga palju ja nad pole kaugeltki

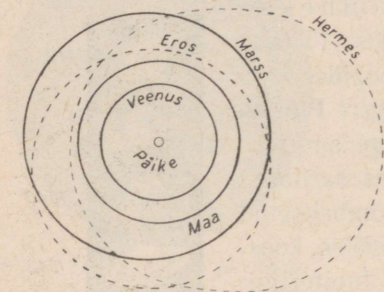


Joon. 80. Saturni rõnga muutused.

veel kõik tuntud. Igal aastal avastatakse neid veel kümnete viisi (kokku on neid teada üle poolteise tuhande). Kõige suurem neist on Ceres (avastatud 1801. a.), mille läbimõõt moodustab ainult 770 km, kuna enamiku seni avastatud asteroidide läbimõõdud on mõned kilomeetrid. Uhelgi väikesel planeedil pole atmosfääri samal põhjusel, miks teda pole Kuul

ja Merkuuril: nende külgetõmbejõud ei ole küllaldane haihtuvate gaaside kinnipidamiseks.

Väikeste planeetide orbiidid on äärmiselt mitmekesised. Mõnedel neist on kalle ekliptika suhtes ja orbiidi piklikkus väga suured. Selles suhtes on eriti tähelepanuväärivad niisugused väikesed planeedid nagu Eros, Hermes ja Amor: nende orbiitide suure piklikkuse tõttu nad vahel lähenevad Maale tunduvalt lähemale kui Marss ja seega võimaldavad täpsemalt määrata päikesepa-



Joon. 81. Väikeste planeetide Erose ja Hermese orbiidid.

rallaksi suurust. Viimasel ajal on avastatud asteroide, nagu näiteks Adonis, mis vahete-vahel liginevad Päikesele lähemale kui Maa ja Veenus. Üks niisugustest planeetidest (Hermes) võib kord 15 aasta jooksul tulla Maale peaaegu niisama lähedale kui Kuu (joon. 81).

## X peatükk.

### Komeetid ja lendtähed.

§ 75. Komeetide kuju. Sõna „komeet” tõlkes kreeka keelest tähendab „karvane täht”. Komeetideks nimetatakse planeetide taoliselt mööda taevast liikuvaid udulaigu-kujulisi taevakehi, millel vahel on helendav saba. Komeedi saba on alati suunatud Päikesest eemale. Komeetide sabade mõõted on määratu suured; mõnikord nad võtavad enda alla taevast

mõnikümmend kraadi, ruumis aga ulatuvad kümnete ja koguni sadade miljonite kilomeetrite kaugusele. Komeetide fotodel (joon. 83) tähed esinevad kriipsukestena seetõttu, et komeetid liiguvad tähtede suhtes, fotokaamera aga ülesvõtmisel liigub komeedi järel. Komeedi peas (tema kõige hele-



Joon. 82. 1843. a. suur komeet sabaga.

damas osas) võib harilikult näha mingit tihendit — komeedi tuuma.

Astronoomid vaatlevad igal aastal mitut komeeti, kuid enamik neist on nähtavad ainult teleskoopides. Komeete nimetatakse sageli nende teadlaste nimedega, kes neid avastas ja uuris, näiteks Halley komeet (inglise teadlane, kes määras kindlaks 1682. a. komeedi perioodsuse).

**§ 76. Komeetide orbiidid.** Pikkade sabadega heledad komeetid ilmuvad harva: keskmiselt 8—9 korda sajandi

jooksul. Nende orbiidid on väga sarnased paraboolidega. Päikesest ringi möödudes lähevad need komeetid uuesti jälle ära kaugemale maailmaruumi. Komeetide orbiidid moodustavad



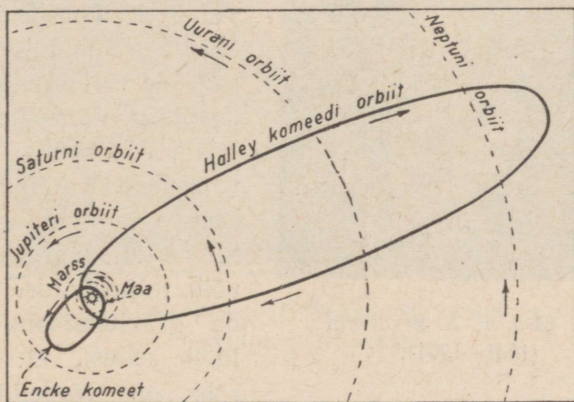
Joon. 83. Nõrga komeedi vaade teleskoobis.

väga piklikke ellipseid (ekstsentristsiteet läheneb ühele ja afeeli kaugus on kümneid tuhandeid astronoomilisi ühikuid). Seepärast niisuguste komeetide ringlemisperioodid võivad vahel väljenduda aastatuhandetega.

Mõned komeedid, peaausjalikult teleskoopilised, liiguvad mitte eriti piklikke ellipseid mööda. Suletud orbiitidega komeedid perioodiliselt lähenevad Päikesele, mistõttu neid nimetataksegi perioodilisteks.

Kõige lühem ringlemisperiood (3,3 aastat) on Encke komeedil. Alates 1819. aastast nähti tema Päikesele lähene mist umbes 40 korda. Laialt tuntud on ka hele Halley komeet, mille ringlemisperiood on umbes 75 aastat (joon. 84). Viimasel korral ta lähenes Päikesele ja oli vaadeldav 1910. a. Uuesti peab ta jälle Päikesele ja Maale lähenema 1986. a. paiku.

§ 77. Komeetide füüsiline loomus. Spektrivaatlused näitavad, et komeedi pea ja saba koosneb äärmiselt hõredatest gaasidest — süsinikhapendist

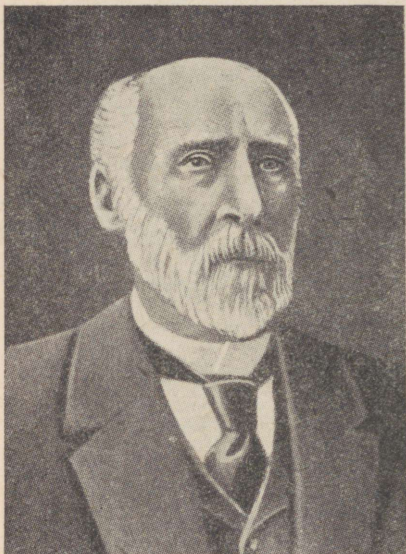


Joon. 84. Halley ja Encke komeedi orbiidid.

(vingugaasist — CO) ja tsüaanist. Nende gaaside helen-damine on põhjustatud päikesekiirtest, kuid see pole lihtne valguse peegeldumine (vrd. § 112). Peale selle esineb mõnede komeetide sabas ja on koguni ülekaalus õige peeni-kesi tolmuosakesi, mis peegeldavad päikesevalgust.

Eriti edukalt on komeetide loomust uurinud vene teadlased. Rohkesti komeete on avastatud nõukogude astronoomide poolt.

Komeetide sabad on vahel sirged, vahel pisut kõveraks painutatud. Nagu tõestas vene astronoom F. A. Bredihhin (1831—1904), on komeedi saba seda sirgem, mida suurem on osakestele mõjuv Päikese tõukejõud võrreldes Päikese tõmbejõuga.



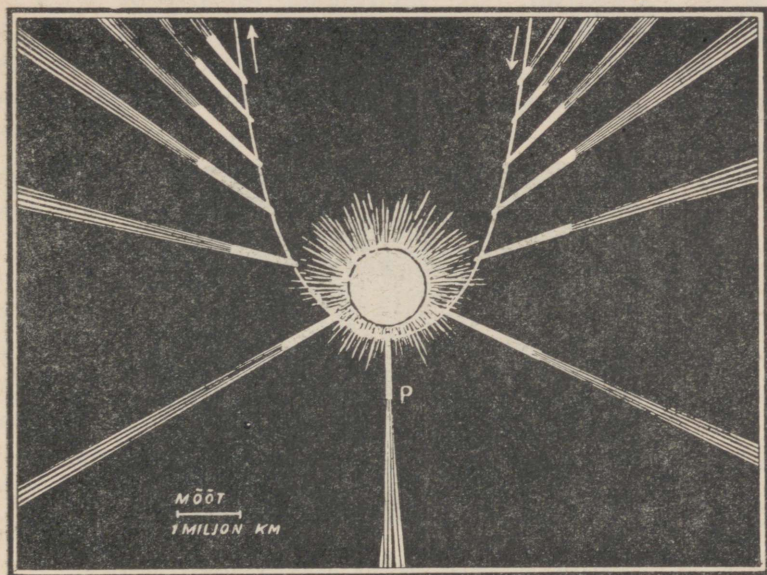
Joon. 84-a. F. A. Bredihhin  
(1831—1904).

Katseliselt on kindlaks tehtud, et valgusekiired avaldavad rõhumist nende poolt valgustatud kehadele. Selle rõhumise suurust mõõtis katseliselt vene füüsik P. N. Lebedev (1866—1912). Rõhumise mõju suurtele tolmuosakestele on väike, võrreldes tõmbejõuga Päikese poole, kuid väikestele tolmukübemeketele ja gaasiosakestele ta mõjub märgatavalt ja võib mitmekordselt ületada gravitatsioonijõu. See tuleb sellest, et valguse rõhk on võrdeline keha pinnasuurusega, külgetõmbejõud aga on võrdeline tema ruumalaga. Kübemekete suuruse vähenemisega aga nende ruumala väheneb kiiremini kui pindala.

Niisiis päikesekiirte rõhumine gaasiosakestele, mis komeedi lähenedes Päikesele ja soojenedes väljuvad komeedi tuumast, sunnib neid osakesi eemalduma temast suure kiirusega, mis viibki komeedi saba tekkimisele (joon. 85). On pandud

tähele komeete mitme sabaga: see näitab, et nad koosnevad mitmesuguse suurusega osakestest.

Komeedi tuuma tahke osa on suuruselt väga väike ja koosneb nähtavasti üksteisest väikeste vahedega eraldatud kivide või kivitükkide kuhjumist. Komeetide massid



Joon. 85. Komeedi saba Päikesele lähenemisel kasvab ja on alati suunatud temast eemale.

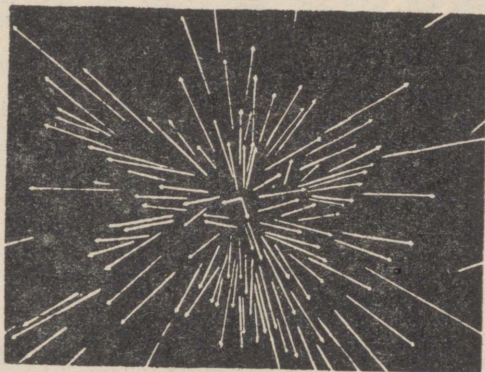
on äärmiselt väikesed ja ei ületa väikeste asteroidide masse (miljardikud Maa massist).

§ 78. **Meteoorid** ehk lendtähed on kõige paremini vaadeldavad kuuvalgetuil ööl, eriti sügisel hilistel kellaaegadel. Meteoor tekitab mulje, nagu langeks täht. Mõnedel öödel, näiteks 10. ja 11. augustil, on lendtähti näha harilikult väga palju.

Kui mõnes kindlas taeva piirkonnas vaadeldavate meteoride nähtavaid liikumisteid mõttes pikendada vastassuunas, siis osutub, et enamik neist lõikub peaaegu ühes punktis. Seda punkti nimetatakse radiandiks (joon. 86).

Radiant on perspektiivne nähtus: sama parve meteorid liiguvad üksteisega rööpselt, kuid kaugel paistavad nende teed koondunuina.

Meteoridel pole midagi ühist kinnistähedega. Selle nähtuse põhjustavad pisitil-



Joon. 86. Meteorid ja nende radiant.

lukesed tahked osakesed, massilt murdosa grammist, mis suure kiirusega liiguvad planeetidevahelises ruumis ja kohtumisel Maaga sööstavad tema atmosfääri. Meteoori osakesi leidub Maa teel alati, vahete-vahel aga tungib neid koguni suurtes hulkades Maa atmosfääri. Lennates atmosfääri kiirusega mõnest kilomeetrist sekundis kuni 200 km/sek-ni, kuumenevad nad nende liikumist pidurdavate õhumolekulide mõjul niivõrd, et umbes 80—150 km kõrgusel muutuvad auruks, jõudmata Maa pinnani.

Meteoride spektrites võib tähele panna nende ainete hõõgivate aurude jooni, millest koosneb meteoori osake (raud, räni, kaltsium jt.). Vahel jätab meteoor enda järel lühikeseks ajaks uduse ribakese; see on meteoori jälg — meteorist mahajäänud tolmukübemekesed ja aurud.

**§ 79. Komeetide lagunemine ja meteorid.** Paljud meteooriosakesed osutuvad komeetide tuumade lagunemise produktiks. On tähele pandud, et perioodilised komeedid oma korduvatel tagasipöörumistel Päikese juurde muutuvad järjest vähem heledaks. Mõnedel neist ilmnes osadeks jagunemine, s. o. pandi tähele, kuidas komeet järk-järgult lagunes mitmeks osaks.

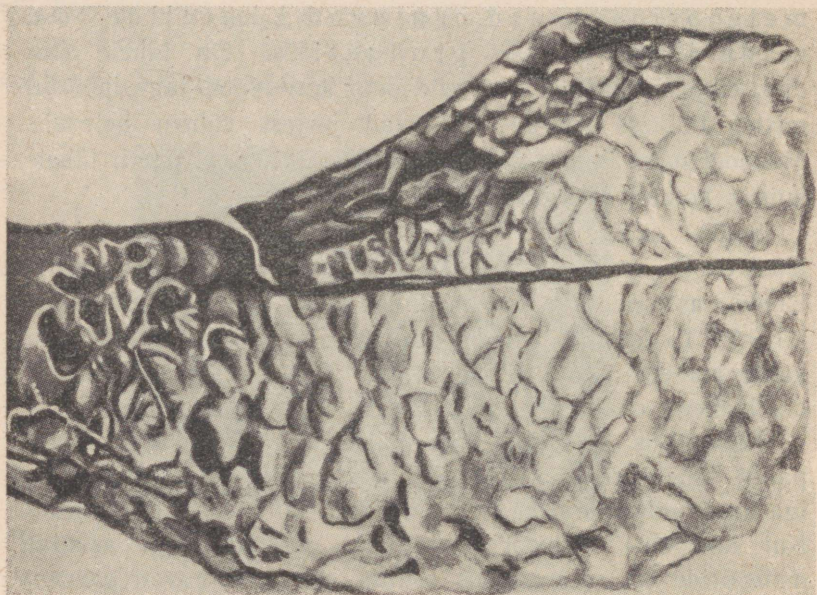
Selles suhtes on kõige tähelepanuväärsem Biela komeet. (Nii nimetatakse seda komeeti teda avastanud tšehhi astronoomi-asjaarmastaja Belõi moonutatud nime järgi.) Ta lagunes kaheks osaks. Aastail 1846 ja 1852 neid kahte komeedi osa veel nähti, kuid järgmistel ilnumisaegadel komeeti enam ei saadud vaadelda: ta kadus ära.

Novembris 1872, kui Maa löikus selle komeedi orbiidiga, pandi tähele rikkalikku lendtähtede sadu; seesama kordus iga aasta novembris ka edaspidi, kuid mitte enam nii rohkesti. Kui novembri meteoride radiandi asendi järgi arvutati meteoride tee ruumis, siis osutus, et nad liiguvad parvena või vooluna sedasama orbiiti mööda, mida mööda varemalt liikus Biela komeet. Nähtavasti Biela komeedi tuum lõplikult lagunes kaheks osaks, muutudes ulatuslikuks väikeste kivikeste parveks; Maaga kohtumisel need põhjustasidki meteoride nähtuse.

Samasugune sarnasus ilmneb ka mõnede komeetide orbiitide ja mõnede meteoride osakeste voolude orbiitide vahel. Meteoride osakeste parv aegamööda venib välja piki orbiiti; orbiit ise aga planeetide häirete mõjul vahel kaldub kõrvale Maa orbiidist ja seepärast mõned rikkalikud meteoride voo-

lud aja jooksul jäävad nõrgaks või lakkavad: Maa enam ei kohtu nende meteorsete osakestega.

§ 80. **Boliidid ja meteoriidid.** Hoopis harvemini võib näha väga heledaid meteore, millel on tulikera kuju. Selliseid nähtusi nimetatakse boliidideks. Nad toimuvad



Joon. 87. Raudmeteoriit „Boguslavka”. (Langes 18. oktoobril 1916 Ussuuri oblastis. Kogukaal 257 kg.)

suuremate meteorkehade Maa atmosfääri tungimise tagajärjel. Need ei pihustu nii kiiresti kui väikesed meteorsed osakesed ja läbivad atmosfääris pikema tee, kadudes 30—60 km kõrgusel. Suur meteorkeha, lõigates suure kiirusega õhku, tekitab atmosfääris häälலை, mida kõrv tajub kui raksatustega pikselööki.

Boliidide vaatlused tekitasid minevikus igasuguseid ebauskumisi, nende hulgas fantastilisi kujutlusi „mägilohedest”.

Enam-vähem suured meteororkehad, tungides atmosfääri tihedamatesse kihtidesse ja kaotades õhu takistuse mõjul oma määratu suure kiiruse (keskmiselt 20—25 km kõrgusel), langevad maapinnale vabalt langeva keha kiirusega. Maapinnale langenud meteororkehi nimetatakse meteoriitideks.

Meteoriidid on suuruselt väga erinevad. Kõige suurem neist, mis leiti Lõuna-Aafrikas 1927. a., kaalub 70 tonni. On pandud tähele koguni langevate kivide vihma — see tuleb meteoriitide lagunemisest atmosfääris. Oma koostiselt esineb kaks põhitüüpi meteoriite — kivi- ja raudmeteoriidid; viimased koosnevad peaaegu täiesti puhtast rauast.

Meteoriidid võivad olla tükkideks lagununud komeetide või mõnede teiste tükkideks lagununud taevakehade kildud. Neis leitakse ainult samu keemilisi elemente, mis on tuntud Maalgi, see ilmselt veel kord tõendab universumi materiaalsust. Kuid meteoriitides esinevad mitmesugused mineraalid, milliseid Maal millalgi ei esine, annavad tunnistust erilistest meteoriitide tekkimise füüsilistest tingimustest (rõhk, temperatuur jms.).

Siberi taigas Krasnojarskist põhja pool langes 1908. a. maha määratu suur meteoriit, mis oma langemisega tekitas metsas suuri purustusi. Seda meteoriiti nimetatakse tunguusi meteoriidiks. Tema massi hinnatakse 2000 tonnile. Selliste suurte meteoriitide langemist juhtub äärmiselt harva. Meie maal loetakse mahalangenud meteoriit riigi omanduseks ja leidmisel kuulub ärandmisele teaduslikule asutisele.

**§ 81. Kas on võimalik Maa kokkupõrge komeediga.** Sageli tekivad pahatahtlikkude isikute poolt ülessoojendatud

kuuldused Maa võimalikust hukkumisest kokkupõrkamisel komeediga. Arvutused näitavad, et Maa kokkupõrge komeedi tuumaga on äärmiselt vähe tõenäoline.

Kuid mis siis õieti võib juhtuda Maa ja komeedi kokkupõrke tulemusena? Kui komeet oma sabaga „riivab” Maad, siis komeedi saba hõredad gaasid pole üldse võimelised tungima Maa atmosfääri tihedatesse kihtidesse ja meie ei märkagi, et Maa viibib komeedi sabas. Sellised juhud on juba esinenud (1910. a. Halley komeet) ja ei toonud endaga kaasa mingisuguseid erilisi tagajärgi. Kui aga juhtuks Maa kokkupõrge otse komeedi tuumaga, siis on kõige tõenäolisem, et võib panna tähele ainult rikkalikku tähesadu ja võib olla ka meteoriitide langemist, mis igal juhul ei ähvarda tuua kuigi märgatavat kahju elule Maal.

Komeetide ilmumisel ei ole muidugi mingisugust sidet maapealsete sündmustega — sõdadega jne., nagu seda arvati varem. Praegusaja teadus mitte ainult purustab kõik komeetide ilmumisega seotud eelarvamused, vaid lubab juba mõnepäevase vaatluse põhjal ette arvutada uuesti ilmunud komeedi kogu edaspidise tee päikesesüsteemi piirides.

## XI peatükk.

### Päike.

**§ 82. Uldandmeid Päikesest.** Päike on planeetide süsteemi keskseks kehaks. Ta omab kera kuju ja koosneb hõõguvaist ning seetõttu tugevasti helendavaist gaasidest.

Päike on hoopis suurem ja massiivsem kui kõik planeedid ühtekokku (ruumalalt 600 korda ja massilt 750 korda). Tema mass on 332 tuhat korda suurem Maa massist, läbimõõt aga 109 korda suurem Maa

läbimõõdust. Päikese sisse mahuks koguni kogu Kuu orbiit, mis on Maast 30 Maa läbimõõdu kaugusel. Kõik planeetid, nende hulgas ka Maa, liikudes ümber Päikese, saavad valgust ja soojust temalt.

Kõrvutades Päikese massi planeetide omaga, on kasulik tähele panna järgmist: kui kogu päikesesüsteemi massi (Päike koos planeetidega) võtta 100-ks, siis Päikese kohta tuleb sellest 99,86, kõikide planeetide kohta kokku aga ainult 0,14.

Mis puutub Maa kaugusesse Päikesest (umbes 150 miljonit km), mis näib meile kujutlematult suurena, siis moodustab see ainult pisut üle saja Päikese läbimõõdu.

**§ 83. Päike ja elu Maal.** Päikeselt saadav valgus ja soojus kindlustab elu Maal. Vee auramine, sademete hulk, jõgede voolamine, tormid, äikesed, põuad ja kõik teised nähtused, milledest on tingitud kliima ja ilm Maal, olenevad Maa soojendamisest Päikese poolt ja peavad muutuma sõltuvalt Päikesel toimuvast muutustest.

Inimsugu kasutab laialt mitte üksi otsest päikeseenergiat soojuse ja valguse näol, vaid ka teisi liike ja vorme, milledeks ta muundub, näiteks vee- ja tuuleenergiat (veeturbii- ning hüdro-elektrijaamades, tuulikud jms.). Kivisüsi — Päikese soojuse mõjul arenenud taimede kivistunud jäänused — see on samuti Maa põues peidetud päikeseenergia varud. Määratu suur osa Maale langevast päikeseenergiast jääb siiski kasutamata. Praegusel ajal rakendatakse vahel mitut tüüpi nn. päikesemasinaid, s. o. aparate, mis koguvad otsest päikeseenergiat ja muundavad seda teisteks energia liikideks — auru- ja elektrimootorite energiaks. Seega seisab meie Liidu rahvamajanduses päikesemasinatel ees suur tulevik.

**§ 84. Päikese vaade teleskoobis.** Kui vaadata Päikesele teleskoobiga läbi tuhmi klaasi, näeme teda ümmarguse ket-

tana, mille heledus äärtes pisut nõrgeneb (joon. 88). See asjaolu näitlikult rõhutab Päikese kerasust.

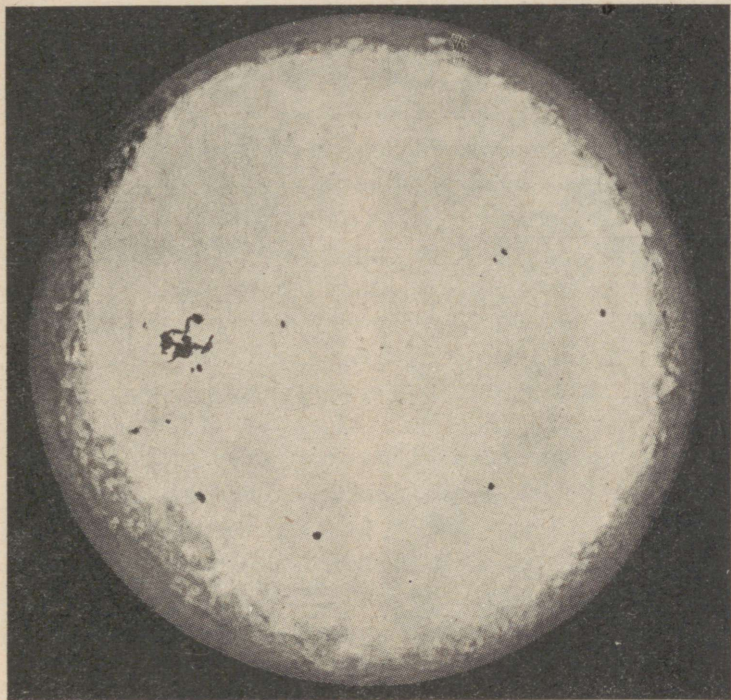
Väga sageli võib Päikesel näha mitmesuguses suuruses tumedaid laike, Päikese äärte lähedal ja laikude äärtel aga võib tähele panna väikesi heledaid lõkkeid, mida nimetatakse fakliteks. Heade teleskoopidega võib näha ka seda, et Päikese pind pole ühtlaselt hele, vaid nagu sõmerlik, nagu koosneks ta tihedasti üksteise kõrvale paigutatud väikestest teradest. Neid helendavaid teri nimetatakse granulateks, kogu seda nähtust aga granulatsooniks. Kogu nähtavat valgustandvat Päikese pinda nimetatakse fotosfääriks (kreeka k. *fos* tähendab valgus).

Esimesena juhtis tähelepanu Päikese laikudele Galilei varsti pärast teleskoobi leiutamist. Religiooni kaitsjad suhtusid sellesse nähtusesse väga vaenulikult, sest ta oli vastuolus usuliste kujutlustega taevakehade täiuslikkusest ja muutmatusest.

**§ 85. Päikese pöörlemine.** Kui vaadelda Päikest ja temal nähtavaid laike päevast päeva, siis võib kergesti tähele panna, et need järjest nihkuvad mööda Päikese ketast idapoolsest äärest läänepoolse ääre poole. See tuleb sellest, et Päike pöörleb ümber oma telje perioodiga umbes 25 ööpäeva. Maa pealsele vaatlejale näib, et Päike pöördub ümber telje 27 ööpäeva jooksul, sest seni kui Päike teeb ühe täispöörde ümber telje, liigub Maa oma orbiidil ümber Päikese mõnesuguse kaare võrra samas suunas. Seetõttu peab Päike pöörduma veel teatud nurga võrra, et endine laik uuesti osutuks just otse vastu Maad. Päikese ekvaator on kaldu ekliptika tasapinna suhtes nurgi  $7^{\circ}$ .

Päikese laikude ja teiste tema kettal olevate moodustiste näivate liikumiste vaatlused näitavad, et ketta eri osad pöörlevad erinevate kiirustega. Kõige kiiremini pöörlevad ekvaa-

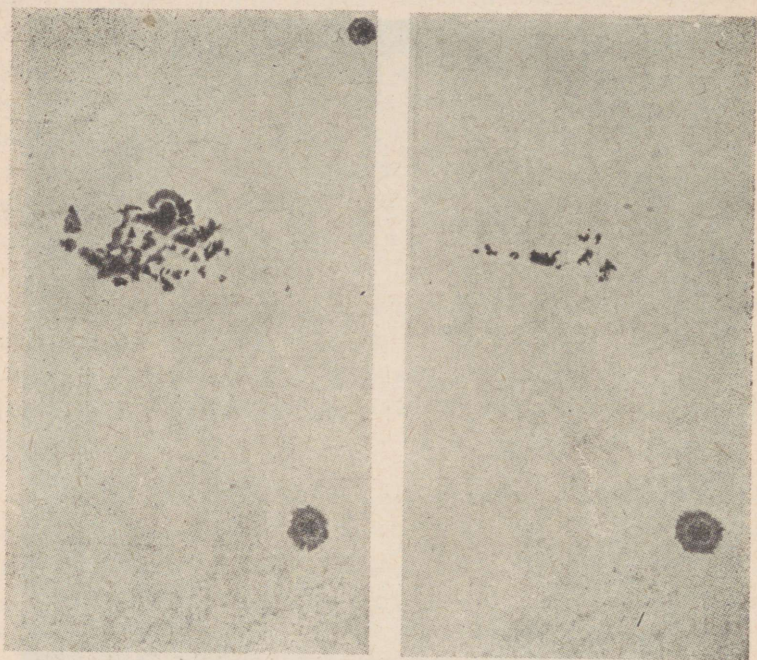
torilised osad, tehes ühe ringi 25 päeva jooksul. Mida lähemale Päikese poolustele, seda aeglasemalt toimub pöörlemine, ja  $10^0$  võrra Päikese poolustelt eemal kestab üks pööre 34 ööpäeva. Järelikult Päike ei pöörle kui tahke, vaid kui vedel



Joon. 88. Päikese foto koos laikudega.

või gaasiline keha. See asjaolu on täielikus kooskõlas Päikese väikese tihedusega (keskmine tihedus  $1,4 \text{ g/cm}^3$ ) ja tema kõrge temperatuuriga. Päikese pinna temperatuur, s. o. tema fotosfääri temperatuur on umbes  $6000^0$ .

§ 86. Päikese laigud ja nende muutused. Päikese laikude suurused on väga erinevad. Vahel on need laigud nii suured, et on nähtavad palja silmaga (läbi tuhmi klaasi). Paljud laigud on oma läbimõõdult suuremad Maa läbimõõdust.



Joon. 89. Muutused Päikese laikude rühmas ühe ööpäeva jooksul. Must laik üleval annab kujutluse Maa suurusest samas mõõdus.

Vahel esinevad laigud tervete rühmadena. Laikude näiv kuju on väga mitmekesine ja ei sõltu üksi nende tõelisest kujust, vaid ka nende asetusest Päikese kettal. Perspektiivi mõjul laigud ketta äärel just kui surutakse kokku, muutuvad kitsamaks. Peaaegu iga laik, mis vaatlustel näib tumedana, on ümbritsetud heledama, halli äärega, nn. poolvarjuga.

Laikude tumedus viis juba ammust ajast mõttele, et need on Päikese pinna jahtuvad osad. Nüüd on kindlaks tehtud, et kuigi Päikese laikudes olevate gaaside temperatuur on tunduvalt madalam ülejäänud pinna temperatuurist (umbes  $4500^{\circ}$ ), siiski on laikude sees olevad gaasid samuti hõõguvad ja näivad tumedatena ainult kontrasti tõttu veel kuumemate ja heledamate osadega Päikese fotosfääris.

Päikese gaasid on alalises liikumises. See liikumine ilmneb ka laikudes, kusjuures laikudes esinevad muutused on kolossaalsed nii oma iseloomult kui ka mõõteilt. Harilikult tulevad laigud nähtavale väikeste tumedate täpikestena (nn. pooridena), suurenevad järjest, ümbritsetakse teiste laikudega, seejärel jagunevad osadeks või liituvad üksteisega, muudavad oma kuju (joon. 89) ja koguni liiguvad korrapäratult edasi mööda Päikese pinda (peale pöörlemise koos Päikesega). Harukordselt võib juhtuda, et mõni laikude rühm jääb püsima Päikese 3—4 ringi kestel. Harilikult lagunevad nad mõne päeva jooksul osadeks ja kaovad ära ning nende asemele ilmuvad uued.

Faklid, vastandina laikudele, osutuvad Päikese fotosfääri kõige kuumemaiks osadeks. Granulaid tuleb võtta kui enam hõõguvaist gaasidest koosnevaid pilvi Päikese fotosfääris. Nii faklid kui granulad tekiavad, kaovad ja vahetpidamata liiguvad.

Päikese laikude pikaajalised vaatlused, nende arvu ja nende poolt kaetud pindala määramised näitasid Päikese laikude perioodsuse olemasolu.

Seejärel kui laikude hulk ja nende poolt kaetud pindala on antud tsüklis saavutanud kõige suurema väärtuse (Päikese laikude maksimum), väheneb nende hulk ja suurus järjest ning aasta 6 pärast saavutavad nad miinimumi. Siis algab uuesti laikude arvu suurenemine, mis jõuab uue maksimumini keskmiselt 11 aastat pärast eelmist maksimumi

(vt. joon. 93). Iga perioodi (tsükli) algul ilmuvad laigud kaugel Päikese ekvaatorist (kuid millalgi ei esine polaarpiirkondades) ning järjest liiguvad tema poole, kuhu jõuavadki miinimumi ajaks.

Perioodsuse olemasolu tõttu võib ette öelda, millisel aastal on Päikese laikusid kõige enam, või vastupidi — kõige vähem. Viimane laikude maksimum esines 1947.—1948. a., uus aga tuleb 1959. a. Päikese laikude tekkimise uus tugevnemine oli teravalt märgatav alates 1945. aastast.

**§ 87. Päikese spekter ja keemiline koostis.** Päike omab pidevat spektrit, mis on läbi lõigatud tumedate fraunhoferi joontega. See viitab sellele, et fotosfäär on ümbritsetud vähem tuliste gaaside kihiga, milliseid me otseselt ei saa vaadelda. Need gaasid oma neelamisega tekitavadki tumedate joonte esinemise spektris. Neid Päikese vähem tuliseid kihte võib nimetada tema atmosfääriks. Valguse neeldumise tõttu selles paksus atmosfäärikihis paistavadki Päikese ketta ääred tema keskosast tumedamana.

Fraunhoferi joonte asendite määramise põhjal on läinud korda kindlaks teha, millistele keemilistele elementidele nad kuuluvad, s. o. läks korda määrata Päikese atmosfääri moodustavate gaaside keemilist koostist. Peamised neist elementidest on järgmised: vesinik, naatrium, kaltsium ja raud. Kuni praeguse ajani on kindlaks tehtud 66 keemilise elemendi olemasolu Päikesel. Kõik nad on gaasilises olekus, sest nende temperatuur on väga kõrge.

**§ 88. Päikese valgus ja soojus.** Maa saab Päikeselt tohutu hulga soojust ja valgust. Et Päike on Maast väga kaugel ja kiirgab energiat igas suunas, siis Maale langeb sellest energiast ainult äärmiselt väike osa (ligikaudu üks kahemiljardik): Sel alusel võib endale kujutleda, kui kõrge peab olema tema temperatuur, kui palju soojust ja valgust

tä kiirgab. Katsete ja arvutuste varal on kindlaks tehtud, et 1 cm<sup>2</sup> suurune pind, mis Maa atmosfääri pii- ril on asetatud risti Päikese kiirtega, saab ühes minutis 1,93 kalorit. Seda suurust nimetatakse päikese- ehk solaarkonstan- diks. Selle määramisel arvestatakse päikeseenergia neeldu- mist Maa atmosfääri poolt.

Mõnesuguse kujutluse Päikese poolt kiiratavast üldisest energia hulgast võime saada järgmise näite abil: kui Päike külmuks ümberringi ära 14 m sügavuselt, siis tema poolt kiiratavast soojusest jätkuks, et kogu seda jääkoort ära sulatada ühe minuti jooksul.

Teades solaarkonstandi suurust võib arvutada Päikese temperatuuri. Sedasama võib teha, kasutades § 58 kirjeldatud, samuti teisigi võtteid. Üks neist võtetest, mis on rakendatud Moskvast prof. V. K. Tserasski (1849—1925) poolt, on väga huvitav. Tserasski koondas nõguspeegli abil päikesekiired ühte punkti. Selles punktis, nagu näitavad arvutused, temperatuur ei saa olla kõrgem Päikese temperatuurist. Kuid siiski kõik Maa peal tuntud ained, kui neid paigutati sellesse punkti, sulasid ära momentaalselt.

Mitmesuguste uurimuste kokkuvõte näitab, et Päikese pinna temperatuur, arvates absoluutsest nullist, on 6000<sup>o</sup>, järelikult kõik ained Päikesel peavad olema hõõguvas gaasilises olekus.

Et Päikese keskmine tihedus võrdub 1,4 g/cm<sup>3</sup>, s. o. ligi 1½ korda suurem vee tihedusest, siis Päikese sisemuses peavad teda moodustavad gaasid olema äärmiselt tugevasti kokku surutud.

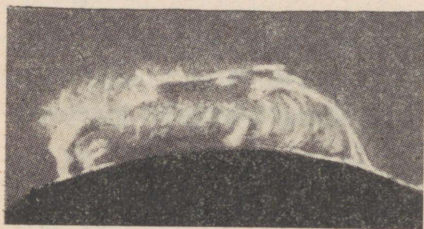
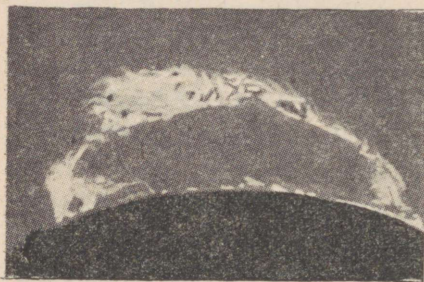
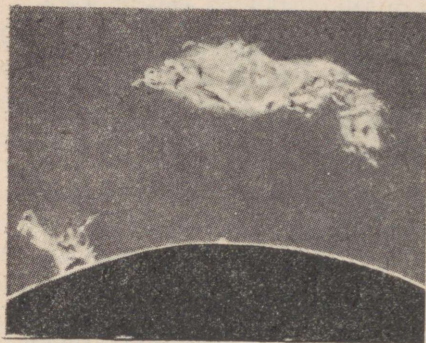
**§ 89. Ümberpöörav kiht, kromosfäär ja protuberantsid.** Fotosfääriga puutub otseselt kokku õhuke gaaside kiht, mis neelates fotosfääri poolt kiiratud valgust, kutsub esile tumedad fraunhoferi jooned pideva päikesespektri heledal foonil. Seda kihti nimetatakse ümberpööravaks kihiks.

Ta osutub Päikese atmosfääri alumiseks kihiks.

Ümberpöörava kihi kohal asub palju ulatuslikum, alaliselt lainetav kiht — kromosfäär.

Ta koosneb peamiselt vesinikust ja kalsiumist. Kromosfääri tihedus on väga väike, väiksem õhu tihedusest maapinna läheduses.

Ümberpööravat kihti ja kromosfääri nähakse harilikult ainult täielike päikesevarjutuste ajal, mil Kuu läbipaistmatu ketas varjab Päikese nähtava ketta — fotosfääri. Siis, täieliku varjutuse momendil, saavad nähtavaks (just kui läbilõikes) ümberpöörav kiht ja kromosfäär, viimane roosaka rõnga näol, mis ümbritseb Päikest varjavad tumedat Kuu ketast. Pärast viimase fotosfääri äärekeste kadumist Kuu taha muutub ümberpöörava kihi spekter otseselt nähtavaks 1—2 sekundi jooksul heledate joontena tumedal foonil. Need jooned on nähtavad just spektri neis osades, kus harilikus päikese spektris



Joon. 90. Foto 1919. a. 29. mai protuberantsist ja selle muutustest 4 tunni kestel.

esinevad tumedad jooned. Hariliku päikesespektri tumedad jooned muutuvad (pööratakse ümber) heledateks; sellest ongi ümberpöörav kiht saanud oma nimetuse.

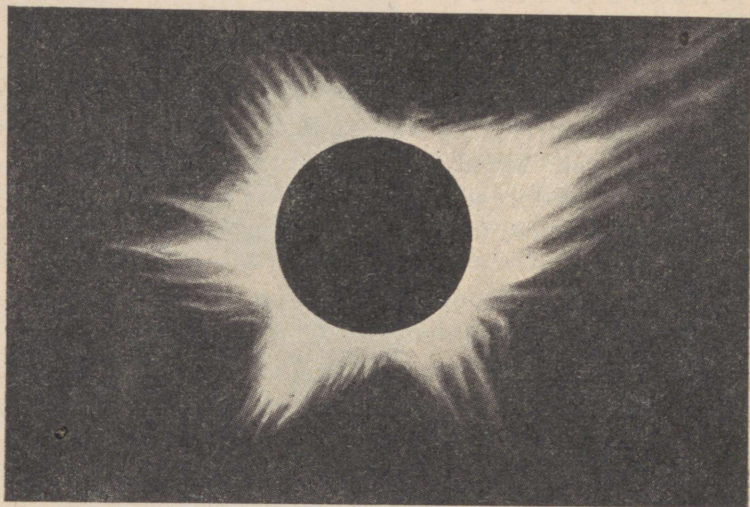
Siin ja seal kromosfääri pinna kohal kerkivad üles punakad leegitaolised keeled, just kui hõõgivate gaaside fontäänid, mis kohati pilvedena ujuvad Päikese atmosfääris. Neid helendavaid eendeid kromosfääris nimetatakse protuberantsideks. Nad tõusevad Päikese pinna kohal määratu suurele kõrgusele, mis ulatub sadasse tuhandetesse kilomeetritesse (Maa läbimõödust kümneid kordi suurem), ja on väga mitmesuguse kujuga. Neis toimuvad pidevad, kiired ja tugevad muutused (joon. 90). Protuberantsid koosnevad peamiselt vesinikust ja kaltsiumist, kusjuures nende aine, tõusnud kõrgele, uuesti langeb Päikesele.

Spektroskoobi abil võib üksikuid protuberantse fotografeerida ja vaadelda ka väljaspool varjutuse aega.

**§ 90. Päikese kroon.** Päikese täieliku varjutuse ajal võib Päikese ümber, suures kauguses temast (kuni 2—3 Päikese raadiust), kromosfääri kihi kohal näha õrna pärlivärvilist-hõbedast helendust, just kui pärga ehk oreooli. Seda nimetatakse Päikese krooniks. Oma sisemistes osades (sisemine kroon), Päikese serva läheduses, on kroon kõige heledam. Välise krooni nõrgemad kiired ulatuvad temast eemale ühe kraadi võrra ja enamgi (joon. 91). Päikese krooni tuleb pidada Päikese väliseks hõrendatud kihiks. Ta koosneb osaliselt gaasidest, osaliselt äärmiselt väikestest tahketest osakestest, mis on alalises liikumises.

Viimasel ajal on leiutatud erilised riistad, millede abil võib näha protuberantse ja kromosfääri igal ajal, mitte ainult lühiajaliste ja haruldaste täielike päikesevarjutuste kestel. On võimalik väljaspool varjutuste aega osaliselt uurida ka krooni.

§ 91. Zodiaagivalgus. Selle nimetuse all tuntakse nõrka koonuse-  
taolist helendust, mis tõuseb horisondi alt enne koidu algust või pärast  
eha lõppu. Selle koonuse põhi on heledam ja asetseb horisondil Päikesepoolel.  
See näitab, et antud nähtus on seotud Päikesega. Zodiaagivalgus on eriti hästi nähtav lõunamaades ja ta on alati välja veninud piki  
ekliptikat mööda zodiaagi tähtkujusid, millest on tulnudki ta nimetus.  
Zodiaagivalgus tõenäoliselt koosneb tolmukübemetest, mis peamiselt on



Joon. 91. Päikese krooni foto. (Tehtud täielikul päikesevarjutusel  
19. juunil 1936.)

koondunud määratu suures ulatuses ekliptika tasapinnas ümber Päikese  
ja valgustatakse Päikeselt, kuna aga kroon koosneb tolmukübemete ja  
gaasimolekulide segust. Päikese atmosfäär selle sõna tavalises tähenduses  
vahetult puutub kokku Päikese pinnaga ja juba eranditult koosneb  
gaasidest.

§ 92. Päikese ehitus. Tehes kokkuvõtte eeltoodust, võime  
kujutleda endale Päikese ehitust järgmiselt. Päikese nähtav  
pind — fotosfäär — koosneb hõõguvatest gaasidest temperatuuriga  
kuni 6000<sup>0</sup>. Fotosfääris esineb pisut jahedamaid

kohti — omamoodi keerised Päikese gaasides; need on Päikese laigud. Päikese keskpunktile lähenemisel suureneb rõhk, tihedus ja gaaside temperatuur. Keskpunkti läheduses peab temperatuur, nagu see järgneb arvutustest, ulatuma kahekümne miljoni kraadini. Fotosfääriga piiratud Päikese kera on ümbritsetud määratu suure kattega — mitme vähese tihedusega gaasikihiga.

Nende kihtide keskmine paksus, nende koostis ja kaugus fotosfäärist selguvad järgnevast tabelist (vt. ka joon. 92):

Ümberpöörav kiht	600 km	Raud ja paljud teised elemendid
Kromosfäär	20 000 km	Vesinik, heelium, kaltsium, magneesium jt.
Protuberantsid	250 000 km	Vesinik, heelium, kaltsium
Päikese kroon	2 000 000 km	Peenike tolm ja gaasid
Zodiaagivalgus		
mitte vähem kui	150 000 000 km	Peenike tolm

**§ 93. Päikese energia-allikad.** Päike saadab igas sekundis maailmaruumi kolossaalse hulga energiat, kuid kogu aja jooksul, mil inimsugu on elanud Maal, pole see energia sugugi märgatavalt vähenenud, s. o. selle aja jooksul pole Päike sugugi jahtunud. Kust siis ometi ammutab Päike oma energia? Selle täiendamiseta oleks ta juba ammu jahtunud.

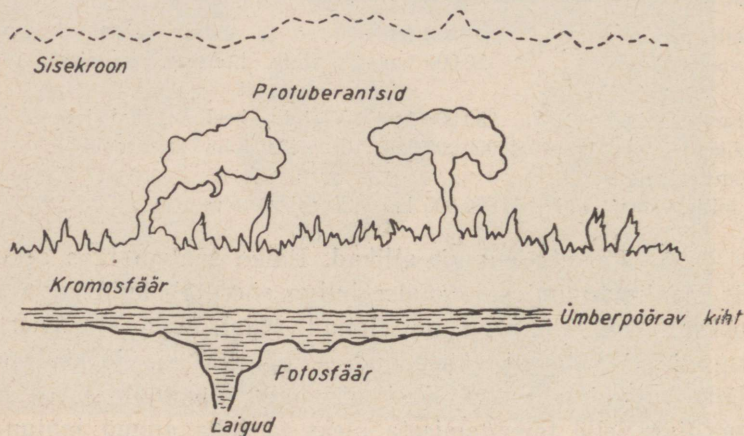
Kõige viimasel ajal, tänu füüsika edusammudele, on läinud korda kindlaks teha, et Päikese sisemuses energia järjest täiendub, eraldudes vesiniku muundumisel heeliumiks.

Kui mitu vesiniku aatomit ühinevad üheks raskemaks aatomiks, moodustades mõne teise keemilise elemendi aatomi (näiteks heeliumi), eraldub õige suur hulk energiat. See on tõestatud katsetega. Teisi selletaolisi aatomite muundamisi õnnestub nüüd teostada kunstlikult Maa peal.

Päikese keskpunkti läheduses toimub massiline heeliumi aatomite tekkimine vesiniku aatomite arvel hiiglaslikult kõrge temperatuuri tõttu. Seepärast ka energia eraldumine,

mis täiendab kiirguse läbi maailmaruumi hajunud energia kadu, toimub väga energiliselt.

Protsess, mille kaudu vesinik muundub heeliumiks, on väga keeruline. Ta toimub pidevalt ja lõppude lõpuks vesiniku hulk Päikese sisemuses järjest kahaneb, heeliumi aatomite arv aga suureneb. Kui kogu vesiniku varu Päikese sisemuses lõpeb, väheneb energia eraldumine tunduvalt ning Päike muutub vähem tuliseks, vähenedes ühtlasi järsku



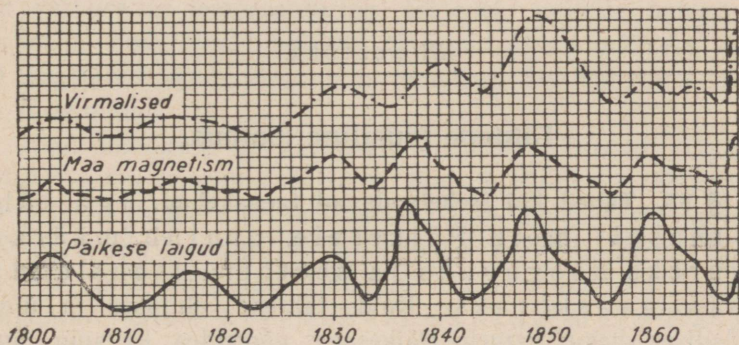
Joon. 92. Päikese atmosfääri ehitus (skeem).

oma mõõteis. Kuid vesiniku varusid Päikeses on küllaldaselt selleks, et säilitada tema poolt kiiratavat soojust paljude miljardite aastate kestel.

§ 94. Päikese tegevuse tsükkel ja selle seos maapealsete nähtustega. Spetsiaalsed vaatlused näitavad, et Päikese laikudes esinevad võimsad magnetilised väljad. See Päikese laikude magneetsus muutub perioodiga 22 aastat, s. o. kaks korda suuremaga kui laikude periood. Võnkumiste üheteistkümne-aastast perioodi näitavad ka teised nähtused Päikesel: faklite, protuberantside arv jms. Laikude maksimumi aastail muutub solaarkonstant vähe suuremaks kui miinimumi aastail. Niiviisi kogu Päikese tegevus tervikuna muutub perioodiga 11 aastat (õige-

mini perioodiga 22 aastat, kui arvestada laikude magnetilise välja muutuste perioodi).

Maa atmosfääris toimuvate nähtuste uurimine näitab paljudel neist nähtustest samasugust 11-aastast perioodsust. Nende hulka kuuluvad magnetilised tormid (magnetnõela võnkumised, häired raadiosides jms.), virmalised, äikesed jt. (joon. '93). Äikeste ja virmaliste keskmine arv kogu Maal suureneb Päikese tegevuse maksimumi saabumisega. Päikese tegevuse iseloom peab kahtlemata mõjutama ilmastikku. Päikesei toimuvad protsessid avaldavad mõju raadiolainete levimisele Maa atmosfääris.



Joon. 93. Seos Päikese laikude, Maa magnetismi ja virmaliste vahel.

Meie Liidus moodustab põllutöö rahvamajanduse silmapaistva haru ja laiaulatusliku põllumajandusliku planeerimise teostamiseks oleks tähtis omada võimalust ette näha kuumade, põuaste või vihmaste perioodide või külmade talvede tulekut jne. Selline võimalus oleks väga väärtuslik ka real teistel majandusliku elu aladel (transpordis, ehitustegevuses jne.). Nõukogude Liidu teadlased — astronoomid ja meteoroloogid — üheskoos asusid lahendama küsimust: kuidas Päikese tegevus mõjutab ilmastikku ja kuidas saab õppida varakult ennustama Päikese tegevusega seoses maapealsete nähtuste saabumist.

Me näeme Päikese uurimise alal samasugust teooria ja praktika ühtsust kui enamikul teistel astronoomia aladel. Me veendume jälle, et Maa ei ole isoleeritud taevakeha ja et tema atmosfääri liikumised on seotud Päikesel toimuvate nähtuste mõjuga.

## IV JAGU.

# TÄHTEDE MAAILM.

## XII peatükk.

### Tähtede füüsiline loomus.

§ 95. Tähed kui isehelendavad taevakehad. Iga täht, sarnaselt meie Päikesele, osutub määratu suureks hõõguvaks ja seetõttu isehelendavaks gaaskeraks. Kuid tähtede ehituses ja üldse füüsilises olekus esineb Päikesega võrreldes ka suur hulk erinevusi.

Päikese füüsilist loomust käsitlesime äsja üksikasjaliselt eelmistes paragrahvides. Erinevused tähtede vahel tulevad kõige ilmekamalt nähtavale, kui me võrdleme tähti Päikesega — valgustugevuselt, suuruselt, temperatuurilt, värvuselt ja massilt.

§ 96. Tähtede heledused. Heleduseks nimetakse tähe valgustugevuse suhet Päikese valgustugevusega. Tähtede heledusi õnnestus kindlaks määrata, teades nende kaugusi ja nende näivat valgustugevust võrreldes Päikese valgustugevusega.

Olgu näiteks mõõtmiste varal kindlaks tehtud, et mõni täht on meist miljon korda kaugemal kui Päike ja et tema

näiv valgustugevus on miljon miljonit korda 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 kui praegu, sest iga valgusallika näiv heledus muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Ta paistaks sama heledana kui Päike. Järelikult on antud täht tõepoolest niisama hele kui Päike; tema heledus võrdub ühega Samalaadselt võib arvutada ka teiste tähtede heledusi.

Nagu selgus, on mõnedel eri tüüpi tähtedel, näiteks teatud värvuse ja temperatuuriga tähtedel, millede kaugused on teada, oma kindel heledus. See võimaldab määrata kuskil avastatud sama tüüpi tähe heleduse, kui kaugus selleni on tundmatu.

Tähe heledused on äärmiselt erinevad. Tuntud tähtede hulgas omab suurimat heledust täht S Kuldkala tähtkujus. Ta paistab 8-nda suuruse tähena, kuid tõeliselt on ta ligi 500 000 korda heledam kui meie Päike. Kõige väiksema heledusega tähed hiilgavad Päikesest sajad tuhanded korrad nõrgemini. Oma heleduselt osutub meie Päike keskmiseks täheks — mitte väga heledaks, kuid mitte ka väga nõrgaks.

Väga heledaid tähti on maailmaruumis vähe, ja mida väiksem on tähtede heledus, seda suurem on nende arv.

**§ 97. Aastaparallaks ja tähtede kaugused.** Paragrahvis 54 selgitati üksikasjaliselt, mis on aastaparallaks ja kuidas seda mõõdetakse. Kui tähe aastaparallaks  $\pi$  on täpsete ja hoolikate mõõtmiste varal kindlaks tehtud, siis leitakse tähe kaugus  $D$  arvutuse teel lihtsast valemist:

$$D = \frac{a}{\pi},$$

kus  $a$  on maaorbiidi raadius. Nagu juba öeldud, on tähe kaugusi mugavam väljendada parsekkides.

Parsekkides väljendatud tähekaugus võrdub ühega, jagatud kaaresekundites väljendatud aastaparallaksiga.

Meile lähimaks täheks osutub üks nõrk täheke, mis asetseb esimese suuruse tähe  $\alpha$  Kentauris naabruses. Viimane paistab taeva lõuna poolkeral. Tema parallaks võrdub  $0'',76$ , kaugus aga  $1\frac{1}{3}$  parsekki ehk 4,3 valgusaastat. Et kujutleda endale seda tohutut kaugust, oletame, et Maalt sellele tähele on ehitatud raudtee, mida mööda peatusteta liigub kiirrong kiirusega 100 km tunnis. See rong jõuab täheni alles 40 miljoni aasta pärast.

Teised tähed on meist (või, mis on sama — Päikesest) veel palju kaugemal. Paljude tähtedeni on kaugused tundmatud — need on niivõrd suured, s. o. nende parallaksid on nii väikesed, et neid pole võimalik mõõta. Toetudes lähedaste tähtede parallakside mõõtmisele, on nüüd õnneks leiutatud teised viisid tähtede kauguse määramiseks. Kõige tähtsamaks nende hulgast osutub viis määrata mõnda tüüpi tähtede kaugusi nende heleduse põhjal, kui see on teada.

Kui teha kindlaks, et antud täht kuulub tähtede tüüpi, millede heledus on teada, siis võrreldes seda heledust tähe näiva heledusega ja toetudes näiva heleduse muutumise seadusele sõltuvalt kaugusest, võib arvutada selle tähe kauguse.

**§ 98. Tähtede värvused, spektrid ja temperatuurid.** On kerge märgata, et tähed omavad mitmesugust värvust — ühed on valged, teised kollased, kolmandad punased jne. Heledatest tähtedest näiteks on valged Siirius ja Veega, kollane — Kapella, punased — Betelgeuse ja Antares. Eri värvusega tähed omavad ka erinevaid spektreid (vt. § 57 ja

§ 58) ja erinevaid temperatuure. Analoogiliselt kuumutata-vale rauatükile on valged tähed kõige kuumemad, punased aga on kõige 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.

Selle põhjuseks on erinevused tähtede temperatuuris, mitte aga erinevused nende keemilises koostises, mis üldiselt kõigil tähtedel on umbes ühesugune ning lähedane Päikese ja Maa keemilisele koostisele. Uurides tähtede spektreid, me avastame tähtedel neidsamu keemilisi elemente, mis on meile tuntud Maal ja Päikesel, mitte leides mingisuguseid uusi, meile tundmatuid keemilisi elemente. See veel kord tõestab universumi materiaalsel ühtsust, aine ühtsust, millest koosnevad kõik taevakehad. Tähtede spektrite erinevused aga tulenevad nende atmosfääride temperatuuride erinevusest, sest iga keemilise elemendi aatomite spektrid muutuvad nende temperatuuride tugeval muutusel.

Tähtede temperatuure uuritakse § 58 kirjeldatud meetodite abil. Selle uurimise tulemusena on kindlaks tehtud, et kõige kuumemad on sinakad tähed, seejärel tulevad valged tähed. Nende pindade temperatuur on 30 000<sup>o</sup> kuni 10 000<sup>o</sup>, kuid leidub veel kuumemaidki tähti, temperatuuriga, mis ulatub kuni 100 000<sup>o</sup>-ni. Kollased tähed on jahedamad. Nende pinna temperatuur on umbes 6000<sup>o</sup>. Kõige vähem kuumad on punased tähed: nende pinna temperatuur on ainult 3000<sup>o</sup>, vahel aga koguni 2000<sup>o</sup> ja vähem. Tähtede sisemuses, samuti kui Päikesegi sisemuses, ulatub temperatuur paljude miljonite kraadideni.

Võrreldes Päikest tähtedega spektri ja temperatuuri alusel, tuleme otsusele, et Päike on keskmise temperatuuriga (6000<sup>o</sup>) kollane täht.

§ 99. Tähtede mõõdete määramine. Praegu on teadusel tähtede mõõdete määramiseks mitu meetodit. Ühte neist me selgitame järgmises näites.

On teada, et tähe pinna ruutsentimeetrilt kiiratud energia hulk sõltub ainult tema temperatuurist. Mida kõrgem on temperatuur, seda rohkem energiat ta kiirgab.

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

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

§ 100. Hiidtähed ja kääbustähed. Hiidtähtedeks nimetatakse suure heledusega tähti, kääbustähtedeks aga väikese heledusega tähti. Kuid ka mõõteilt kohtame tähtede hulgas nii hiiglasid kui kääbuseid.

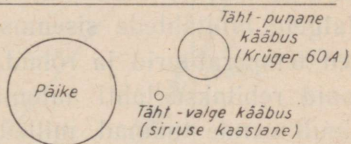
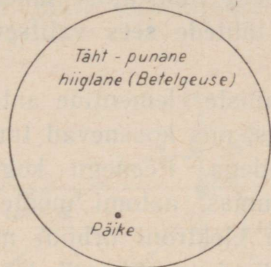
Nii kääbused kui ka kõige suuremad hiiglasid osutuvad madala pinnatemperatuuriga punasteks tähtedeks.

Punaste hiidtähtede hulka kuuluvad Betelgeuse ja Antares. Esimesel neist on läbimõõt 420, teisel 285 korda suurem Päikese läbimõõdust. Hiidtähe Betelgeuse sisse võiksid mahtuda päikesesüsteemi kõigi planeetide orbiidid kuni Marsini, viimane kaasa arvatud. Gaas, millest koosnevad puna-

sed hiidtähed, on väga hõre; tema tihedus on tuhandeid kordi väiksem toa õhu tihedusest.

Punased kääbused pole paljale silmale nähtavad. Üks neist, meile väga lähedane täht (nr. 60 Krügeri kataloogi järgi), on läbimõõdult  $2\frac{1}{2}$  korda väiksem Päikesest. Gaasid, milledest ta koosneb, on niivõrd tugevasti kokku surutud, et nende keskmine tihedus on 4,5 korda suurem vee ja kolm korda suurem Päikesest tihedusest.

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



Joon. 94. Päikesest, kääbus- ja hiidtähtede suhtelised suurused.

**§ 101. Valged kääbustähed.** On olemas tähti, mis oma heleduselt kuuluvad kääbustähtede hulka, kuid mis on valget värvi ja kõrge temperatuuriga. Oma suuruselt kuuluvad valged kääbustähed kõige väiksemate tähtede hulka. Nende mõõted on võrreldavad planeetide omadega, vahel aga on koguni väiksemad Maa mõõtest. Valge kääbuse näitena esineb Siiriuse kaaslane. See nõrk täht ringleb planeeditaoliselt ümber Siiriuse, kuid ta mass peaaegu võrdub Päikesest massiga ja ta kiirgab oma valgust.

Valgete kääbustähtede keskmine tihedus on äärmiselt suur; ta ületab vee tiheduse tuhandeid kordi. Ühe valge kääbustähe tihedus

on sedavõrd suur, et kui tema ainega täita sõrmkübar, ta võiks tasakaalustada raudteeveduri (tihedus  $5 \cdot 10^7$  g/cm<sup>3</sup>).

Maa peal me ei tunne sellise hiiglasliku tihedusega aineid. Seejuures aga koosnevad valged kääbused nendesamade keemiliste 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 tuumas, aatomi mõõte aga määravad tuumast kõige kaugema elektroni orbiidi mõõted. Need mõõted määravad piiri, milleni on võimalik lähendada aatomeid rõhumise mõjul. Valgete hiidtähtede sisemuses valitsevad hiiglaslikult kõrgeid temperatuurid ja rõhud. Kõrge temperatuuri tõttu elektronid rebitakse lahti aatomitest ja viimastest jäävad järele ainult nende tuumad, millede mõõted on väga väikesed võrreldes elektronide orbiitide mõõdetega. Seepärast määratu suurte rõhkude mõjul võivad mõõteilt vähenenud aatomid olla üksteise ligi surutud hoopis suuremal määral, mille tulemusena 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 füüsika-alaseid teadmisi aine ehituse alal.

**§ 102. Kaksiktähed.** Paljud tähed koosnevad kahest tähest, mis vastastikuse külgetõmbe mõjul ringlevad nende ühise raskuspunkti ümber. Niisuguseid tähti nimetatakse füüsilisteks kaksiktähtedeks. Paljale silmale liituvad sellised tähed üheks ja me näeme neid kui ühte tähte.

Ainult teleskoobi, vahel aga koguni spektraalanalüüsi abil võib kindlaks teha, et vaadeldav täht on kaksiktäht.

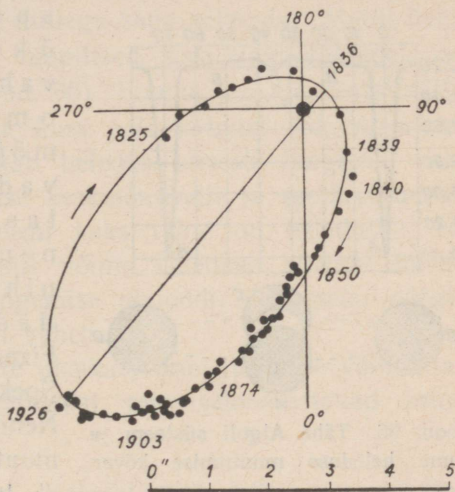
Vahel juhtub, et kaks tähte, mis on kaugel üksteise taga ega ole seotud vastastikuse külgetõmbega, paistavad pea-aegu ühes ning samas suunas, nii et paljale silmale nad liituvad üheks täheks. Niisuguseid tähti nimetatakse optilisteks kaksiktähtedeks.

Füüsilised kaksiktähed ringlevad teineteise ümber erinevate perioodidega ja erinevatel kaugustel. Üldse, mida lähemal üksteisele on tähed, seda lühemad on nende ringlemisperioodid, mis mõnede tähtede puhul mõõtvad tundidega, teiste juures aga aastasadadega.

Teleskoobis paistavad kaksikutena need tähed, millede ringlemisperioodid on harilikult mõned aastakümned või enam, nendevahelised tõelised kaugused aga ületavad Maa kauguse Päikesest.

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 endile, kuidas peaks muutuma valgus pläneetidel, mis ringlevad selliste kaksiktähtede ümber, kui horisondi kohale tõuseb vahel punane, vahel helesinine päike, vahel aga mõlemad päikesed korraga.

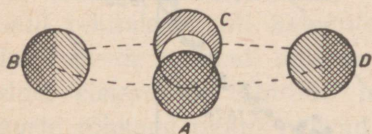
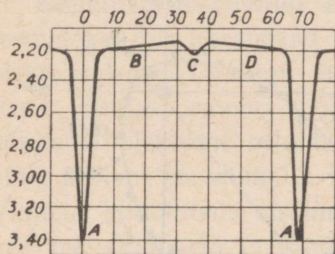


Joon. 95. Kaksiktähe orbiit ( $\gamma$  Neitsis).

Esineb süsteeme, mis ei koosne kahest, vaid kolmest või koguni neljast tähest. Need on nn. mitmekordsed tähed.

### § 103. Spektraalkaksikud ja varjutusmuutlikud tähed.

Vahel on kaks tähte oma vastastikusel ringlemisel teineteisele niivõrd lähedal, et isegi kõige võimsama teleskoobiga pole võimalik neid lahus näha. Sellisel juhul tuleb sageli appi spektraalanalüüs. Niisuguste kaksiktähtede



Joon. 96. Tähe Algoli süsteemi ja tema heleduse muutumise kõver.

spektrid katabad üksteist. Aga et vahel mõlemad tähed oma ringlemisel mööda orbiiti liiguvad meie suhtes vastassuundades, siis kannende spektrijooned nihkuvad vastassuundades vastavalt Doppler-Fizeau printsiibile (§ 58). Spektrijooned kahestuvad. Nende nihkumise suurus muutub perioodiliselt, sest et iga täht liikudes mööda

orbiiti kord läheneb meile, kord kaugeneb meist. Tähti, millede kaksiklus ilmneb ainult spektraalanalüüsi abil, nimetatakse spektraalkaksikuteks.

Mõnedel juhtudel, kui kaksiktähe orbiidi tasapind läbib just suunda, milles me sellele tähele vaatame, katab üks täht perioodiliselt teist. Seetõttu niisuguse kahest tähest koosneva süsteemi kogu valgushulk, mida me näeme, ajutiselt muutub. Seejuures võib üks täht olla heledam kui teine. Tähti, millede heledus perioodiliselt muutub seetõttu, et nad on kaksikud ja et üks tähte-

dest perioodiliselt katab ehk varjab teist, nimetatakse varjutuskaksikuiks tähtedeks. Vahel nimetatakse neid ka katmismuutlikeks (varjutusmuutlikeks) tähtedeks ehk algoliidideks, sest seda liiki tüüpiliseks täheks on  $\beta$  Perseuse tähtkujus, mida araablased nimetasid Algoliks.

Algol eestikeelses tõlkes tähendab „kuradi täht”. Nõnda nimetasid teda araablased, kes panid tähele Algoli heleduse muutusi, kuid ei teadnud, millega seda seletada. Algoli heleduse muutused, mis on tüüpilised seda liiki tähtedel, on kujutatud kõvera abil (joon. 96). Enama jao aja kestel säilitab täht püsivat heledust, kuni pole katmist ehk varjutust. Varjutuse algusega hakkab heledus kiiresti langema, saavutab miinimumi varjutuse keskmomendil ja seejärel uuesti tõuseb. Kui sellise süsteemi kaks tähte on heleduselt või suuruselt mittevõrdsed, siis võime heleduse kõveral tähele panna kahte heleduse langemise perioodi: ühel neist nõrgeneb valgus rohkem, teisel vähem.

Selliste heleduskõverate üksikasjaline uurimine võimaldab paljude faktide kindlakstegemist, mis iseloomustavad antud mitmekordset süsteemi.

**§ 104. Tähtede massid.** Kaksiktähtede liikumise uurimine võimaldab määrata nende masse, kasutades selleks Kepleri kolmandat seadust.

Kui kaksiktähe kaugus on teada, võib kilomeetrites määrata pooltelje pikkuse  $A$  väiksema tähe orbiidil, mida ta kujutab suurema tähe suhtes; tema ringlemisperiood  $P$  aga määratakse otseselt vaatlustest. Siis võrreldes kaksiktähe liikumist Maa liikumisega ümber Päikese, me võime Kepleri kolmanda täpsustatud seaduse põhjal kirjutada:

$$\frac{P^2(m_1 + m_2)}{1^2(M + m)} = \frac{A^3}{1^3},$$

kus  $P$  on kaksiktähe ringlemisperiood aastais,  $A$  — tema orbiidi suur pooltelg astronoomilistes ühikutes,  $m_1$  ja  $m_2$  aga nende tähtede

massid.  $M$  on Päikese mass,  $m$  — Maa mass, mille võrreldes Päikese massiga võime jätta arvestamata. Siis saame sellest valemist mõlema tähe masside summa, väljendatud Päikese massides:

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{P^2} M.$$

Teades aga vaatlustest mõlema tähe kaugust ühisest raskuspunktist, võib määrata kummagi tähe massi üksikult.

On kindlaks tehtud, et hiidtähtede massid on suuremad kui kääbustähtede massid, kuid need erinevused pole väga suured. Kõige raskemate tähtede massid on Päikese massist korda kümme suuremad, kõige kergemate massid aga mõni kord väiksemad. Järelikult on Päike oma massilt keskmine täht.

Me näeme, et kõigi füüsiliste tunnuste vaatekohalt — värvus, spekter, suurus, temperatuur ja mass — osutub Päike tavaliseks, ei millegi poolest eriliselt silmapaistvaks täheks.

Kui tähe mass ja läbimõõt on teada, pole raske arvutada tema keskmist tihedust valemist

$$D = \frac{m}{V},$$

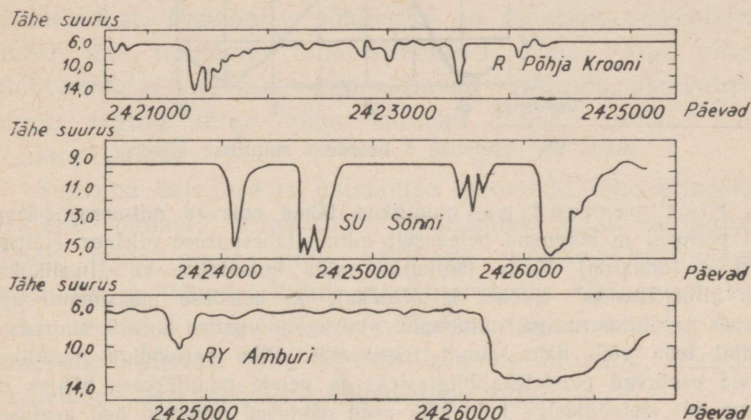
kus  $m$  on tähe mass,  $V$  aga tema ruumala. Sel viisil olidki määratud tähtede tihedused, mida mainiti eelmistes paragrahvides. On huvitav märkida, et väga väikese massiga (samast suurusjärgust kui Maa mass) tähti, s. o. isehelendavaid taevakehi, pole tänini avastatud.

**§ 105. Füüsiliselt muutlikud tähed.** Eespool nägime, et on olemas tähti, millede heleduse muutumine osutub näivaks ja toimub geomeetrilise põhjuse — katmise ehk varjutuse tõttu. Nende tähtede poolt kiiratud energia hulk tõeliselt ei muutu. Kõrvuti nendega esineb tähti, millede kiirgusenergia võngub. Füüsiliselt muutlikeks nimetatud

tähed tõeliselt muudavad nende poolt kiiratud energia hulka füüsiliste põhjuste mõjul.

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

Kõigepealt füüsiliselt muutlikud tähed liigitatakse 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 heleduse muutused korrapäratult,



Joon. 97. Heleduse muutuse kõverad korrapäratult muutlikel tähtedel.

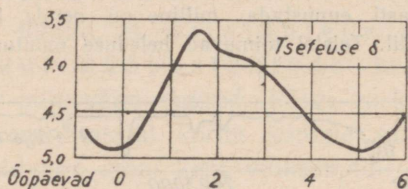
ilma ühegi perioodita, ja heleduse kõikumised ise on kord tugevamad, kord nõrgemad, ilma igasuguse seaduspärasuseta. Enamik niisugustest korrapäratult muutlikest tähtedest osutuvad punasteks hiiglasteks; nende hulka kuuluvad Betelgeuse ja Antares.

Mõnede korrapäratult muutlike tähtede heleduse muutuse kõverad on kujutatud joonisel 97. Nende heleduse muutuse põhjused on veel vähe uuritud.

Perioodiliselt muutlike tähtede hulgast võib eraldada kaks rühma — tsefeiidid ja pika perioodiga muutlikud tähed.

Oma nimetuse said tsefeiidid selle liigi tüüpilisest tähest —  $\delta$  (delta) Tsefeuse tähtkujus, mille heleduse muutuse kõver on kujutatud joonisel 98. Mitmesuguste seda tüüpi tähtede perioodid kõiguvad mõnest tunnist kuni mõnekümne päevani. Nende heledus kasvab kiiremini kui

kahaneb. Heleduse muutused ise moodustavad umbes ühe tähesuuruse. Koos sellega muutub pisut tsefeidide värvus ja temperatuur. Nende heleduse muutuse põhjuseks on tähe perioodiline pulseerimine, s. o. tähe paisumine ja kokkutõmbumine, millega kaasuvad muutused temperatuuris. Need kõikumised muudavad helendava pinna suurust ja pinnaühikult kiiratava energia hulka, nende korrutis aga määrabki tähe heleduse, nagu me seda juba teame.



Joon. 98. Tsefeuse  $\delta$  heleduse muutuse kõver.

Pika perioodiga muutlikud tähed omavad mitmesaja-päevalist perioodi ja kõiguvad heleduselt mitme tähesuuruse piirides. Näiteks täht  $\omicron$  (omikron) Vaala tähtkujus, mida kutsutakse ka „Imelikuks” ehk „Imepäraseks” (ladina k. *Mira*’ks), on heleduse maksimumi ajal umbes 3. tähesuurusega, miinimumi ajal aga nõrgeneb kuni 9. suuruseni, millal teda võib näha ainult teleskoobis. Pika perioodiga muutlikud tähed osutuvad punasteks hiiglasteks ja nende muutlikkuse põhjus on sama mis tsefeiididelgi, kuid kõik need nähtused esinevad neil aeglaselt ja vähema korrapärasusega.

**§ 106. Uued tähed.** Vahete-vahel on pandud tähele, et mõnes taevaosas äkitselt lööb särava täht, mida seal varem pole nähtud ja mis hiljem nõrgenedes uuesti kaob meie silmist. Sellised tähed nimetati uuteks tähtedeks. Hiljem selgus, et need tähed pole tõeliselt uued: väga nõrkade tähtedena olid nad olemas ka varem, kuid mõnesugusel põhjusel nad äkitselt tugevnesid heleduses kümneid tuhandeid kordi. Pärast lühiajalist süttimist sellise tähe heledus muutub endiseks. Niisiis uuteks tähtedeks nimetatakse selliseid tähti, mis heleduselt äkitselt tugevnevad mitmeid kümneid tuhandeid

kordi ja seejärel aegamisi kahanevad jälle endiseks. Näiteks uus täht Kotka tähtkujus enne ja pärast süttimist oli  $10\frac{1}{2}$  tähesuurusega, kuid mõne päeva kestel 1918. a. säras ta esimese suuruse tähena.

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

Suurima heleduse ja paisumise momendil tähe atmosfäär eraldub temast; kerakujulise gaasipilve näol ta kandub tähelt igale poole laiali kiirusega mõnisada kilomeetrit sekundis ja viimaks hajub maailmaruumis. Ühtaegu hakkab täht ise ikka enam ja enam kokku tõmbuma ning kuigi kuumeneb pinnalt kuni 50—80 tuhande kraadini, nõrgeneb ta heledus siiski mõõdete vähenemise tõttu.

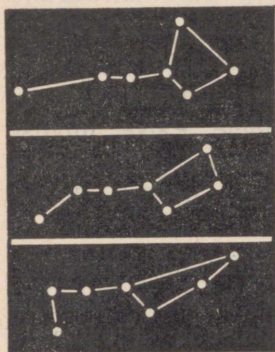
**§ 107. Tähtede liikumised.** Tähtede vastastikused asendid taevas näivad täiesti muutmatutena koguni paljude sajandite kestel. Tõeliselt aga kõik tähed, nende hulgas ka meie Päike, liiguvad, ja pealegi määratu suurte kiirustega — kümneid ja sadu kilomeetreid sekundis. Kuid tähtede äärmiselt suurte kauguste tõttu on nende asendite muutused väga aeglased.

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 vas-

tavalt Doppler-Fizeau' printsiibile (§ 58). See kiirus määratakse otse kilomeetrites sekundis spektrijoonte nihkumise suuruse põhjal.

Tähe liikumise kiiruse see komponent, mis on risti suunale, milles me vaatame tähele, 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. Teda mõõdetakse kaaresekundites aasta kohta, kui aga tähe kaugus on teada, siis võib teda väljendada ka kilomeetrites sekundi kohta.



Joon. 99. Suure Vankri seitsme tähe asendi muutus nende omaliikumise tõttu. Ülal — 50 tuhat aastat tagasi, keskel — praegusel ajal, all — 50 tuhande aasta pärast.

mitmekümne tuhande aasta pärast üksteise suhtes tunduvalt ja Suure Vankri „rataste” asetus muutub nõnda, nagu on näidatud joonisel 99.

Tähtede liikumise korrapärasusest kõneldakse järgmises peatükis, esialgu aga märkigem, et meie Päike liigub Herkulese tähtkuju suunas kiirusega 20 km sekundis.

Meenutagem, et tähed tähtkujudes on ainult näivalt üksteise lähedal, tõeliselt aga asetsevad nad väga suurtes ja

väga erinevates kaugustes nii meist kui ka üksteisest. See pärast ei saa koguni esitadaagi küsimust selle kohta, „millal me jõuame nende tähtkujudeni”.

Lüüra ja Herkulese tähtkuju tähtedele lähenemisel lähivad need tähed meie ees laiali just kui puud metsale lähene misel, mis kaugelt vaadates näib meile pideva seinana. Nende tähtkujude piirjooned kauges tulevikus muutuvad 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 kokkupõrkest mõne tähega. Tähtede kokkupõrkamine on niisama vähe tõenäoline, kui teatri või klubi suure saali vastasotstes hõljuva kahe tolmukübeme kokkupõrkamine.

### XIII peatükk.

## Tähesüsteemid ja udukogud.

**§ 108. Täheparved.** Mõnes kohas taevavõlvil võib teleskoobis, vahel ka palja silmaga, näha tihedaid tähtede sagraid ehk täheparvi. Neid on kahte tüüpi: hajunud ja kerakujulised (kerasparved).

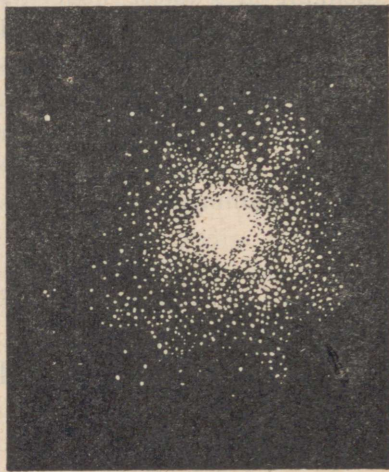
Hajunud täheparvedes on mõni sada või tuhat tähte korrapäratult laiali pillatud taevavõlvi väikesele piirkonnale. Kõik need tähed on ruumis tõepoolest üksteise lähedal ja on seotud vastastikuse külgetõmbega.

Tähtede kerasparved sisaldavad sadu tuhandeid tähti, mis tihenevad nende kerakujuliste parvede keskpunkti suunas. Nende parvede tähed on samuti seotud vastastikuse külgetõmbega, ja mida lähemale parve keskpunktile, seda lähemal üksteisele

on seal tähed ruumis. Kerasparvede mõõted on hajunud täheparvede mõõteist 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 vene rahvakeeles kannab ka Kujatara nime. Palja silmaga



Joon. 100. Hajunud täheparv — Plejaadid.



Joon. 101. Foto tähtede kerasparvest Herkulese tähtkujus.

paistab selles sagaras ainult 6 tähte, binoklis — mõnikümmend, teleskoobis aga on kogu vaateväli tähtedega üle puistatud.

Tüüpiline tähtede kerasparv esineb Herkulese tähtkujus, kuid binoklis või nõrgas teleskoobis ta paistab uduse tähena. Ainult võimas teleskoop näitab, et see on tihe kerasparv, mis koosneb sadadest tuhandetest tähtedest. Sellise kerasparve läbimõõt moodustab umbes sada parsekki, kuna haju-

nud täheparvede läbimõõtu, näiteks Plejaadidel, mõõdetakse ainult mõne parsekiga.



Joon. 102. Osa Linnuteest, nagu ta paistab paljale silmale.

§ 109. Linnutee. Linnutee nimetust kannab hele hõbedane vööt, mis paistab tähistaevas selgel

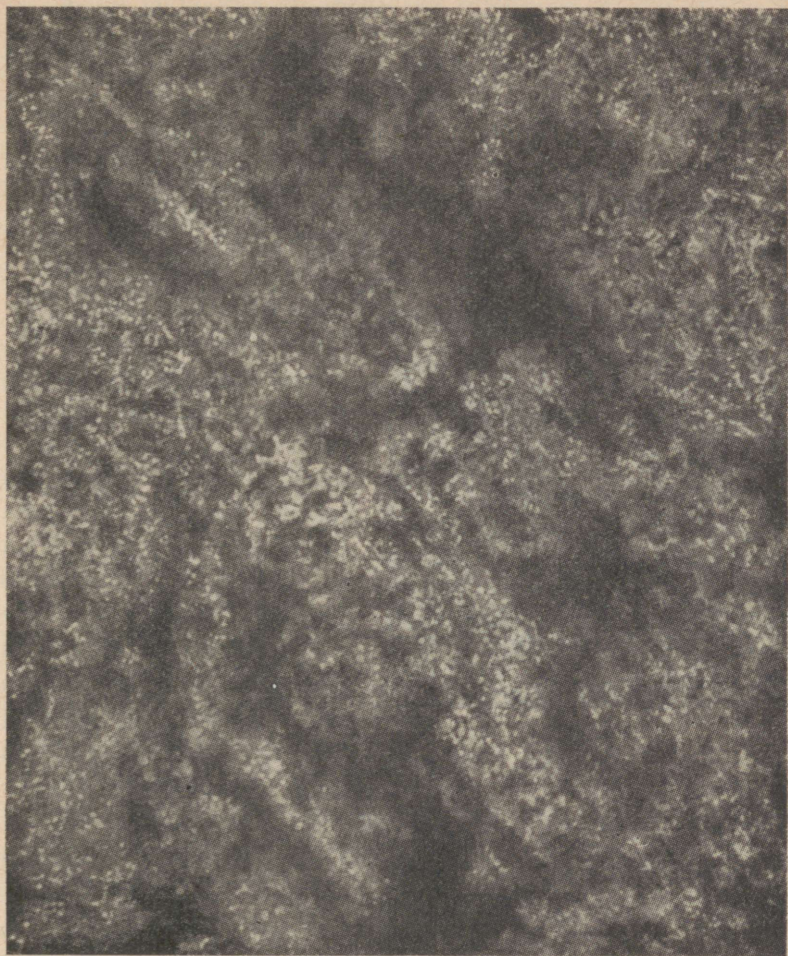
kuuvalguseta ööl. Ta käib ümber kogu taeva kui määratu suur võru. Ühes kohas on ta laiem, teises kitsam, ühes kohas nõrgem, teises heledam, ja kõige heledam on ta Amburi tähtkujus. Linnutee vöös asuvad tähtkujud: Perseus, Kassiopeja, Kotkas, Lüüra, Luik, Skorpion jt.

Teleskoobis, eriti aga fotodel paistab, et Linnutee koosneb äärmiselt nõrkade tähtede määratu suurest kogust. Kuid ka heledamaid tähti on taevas seda rohkem, mida lähemale Linnutee vööle. Omakorda, mida nõrgemad on tähed, s. o. mida kaugemal meist nad asuvad, seda tugevam on nende kuhjumine Linnutee vöös.

See näitab, et tähed on jaotatud ruumis ebaühtlaselt ja et tähesüsteemi ulatus pole igas suunas ühesugune. Ta on suurem selles suunas, millises paistavad nõrgemad (s. o. kaugemad) tähed ja suuremal hulgal, s. o. Linnutee tasapinnas. Sellest, et Linnutee osutub peaaegu täpselt taevaskera suuringiks, järeldame, et kogu meie tähesüsteem laiub Linnutee tasapinnas ja meie asume selle tasapinna läheduses.

**§ 110. Meie tähesüsteem — Galaktika.** Tähtede ruumilise jaotuse uurimine näitas, et kõik tähtkujude ja kõik Linnutee tähed on ühtne, gigantne tähesüsteem, mida nimetatakse Galaktikaks. Galaktika hulka kuuluvad ka tähtede hajunud ja kerasparved. Kuid viimased on laiali pillatud eranditult piki Galaktika äärepiirkondi, tema piiril, kuna hajunud parved esinevad läbisegi üksikute tähtedega kogu Galaktika ulatuses. Kogusummas koosneb Galaktika mitmest kümnest miljardist tähest, milledest üheks on meie Päike. Tähtede üldise paigutuse poolest meenutab Galaktika läätse kuju.

Kui saaksime vaadata talle küljelt, siis näeksime teda värtnakujulisena, nagu see on skemaatiliselt kujutatud joonisel 107. Kui me vaataksime talle „ülevalt” või „alt”, siis ta, ligikaudselt väljendades, paistaks meile ümmargusena.

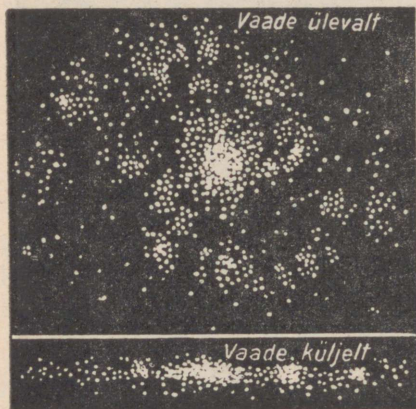


Joon. 103. Osa Linnutee foto.

Galaktika tähed kuhjuvad tema sümmeetria tasapinna ja keskpunkti poole. Kogu nende tähtede määratu suures hulgas esinevad siiski gigantsed tihendid, just kui tähtedest

koosnevad pilved, nende pilvede sees aga on väiksemad tihendid — need on hajunud parved. Tähtede kerasparved on jagunenud mööda Galaktika ääri.

Galaktika võrdlusest teiste tähesüsteemidega, mis on kirjeldatud järgmises paragrahvis, peab oletama, et tal on spiraalne ehitus. Tähtede pilved on asetatud piki spiraali harusid, mis väljuvad Galaktika keskpunktist.



Joon. 104. Galaktika skeem.

Meie päikesesüsteem asub Galaktika sees. Seetõttu vaadates seestpoolt, näeme Galaktikat hoopis teistsugusena, kui äsja kirjeldasime ja millisena teda näeks vaatleja, kes asuks kuskil kaugel väljaspool tema piire. Päikesesüsteem on Galaktika tasapinna lähedal ja seepärast vaadates selles tasapinnas mistahes suunas, tungib meie vaade läbi suurima tähtede hulga Galaktika suurima ulatuse suunas.

Siin meie silm kohtab hulga kaugeid tähti, mis paistavad väga nõrkadena ja seetõttu paljale silmale liituvad pidevaks uduseks vööks.

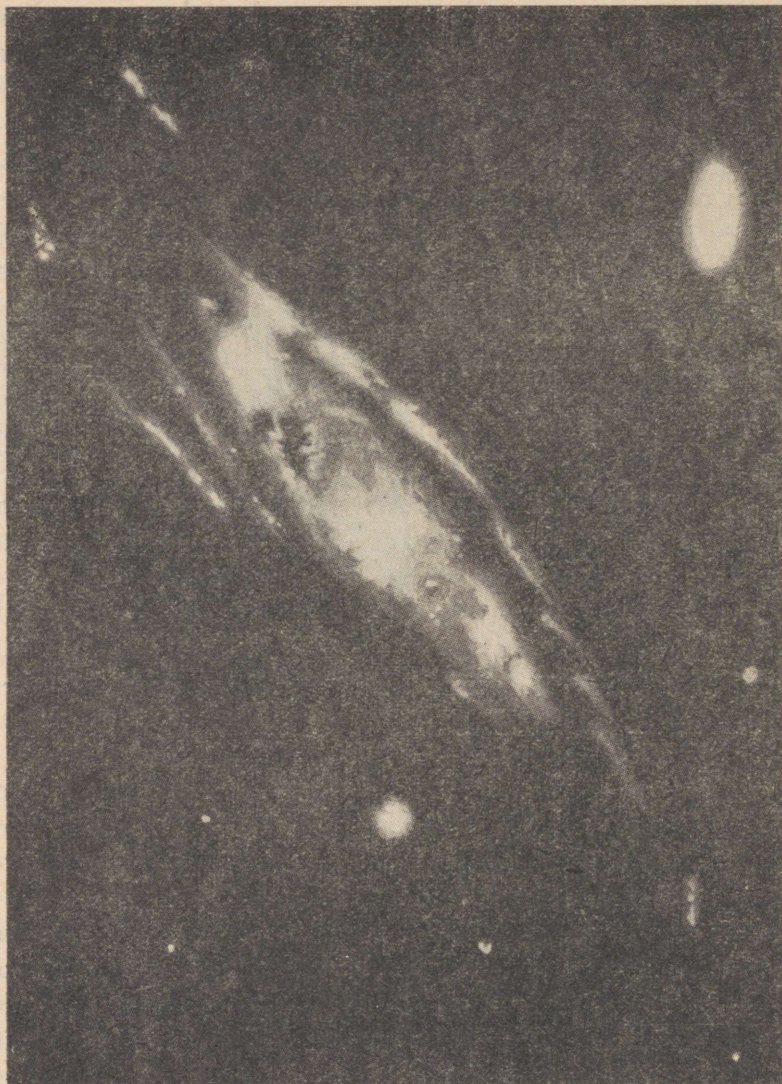
Päikesesüsteem on väljaspool Galaktika keskpunkti, mis asetseb Amburi tähtkuju suunas. Kõige heledamad Amburi tähtkujus nähtavad tähepilved moodustavadki Galaktika keskpunkti. Meilt kuni keskpunktini on 10 000 parsekki, Galaktika läbimõõt aga moodustab 30 000 parsekki, s. o. valgus levib tema ühest äärest teiseni umbes 100 000 aastat.

Kogu Galaktika on pöörlevas liikumises ümber telje, mis on risti tema tasapinnaga ja mida seetõttu nimetatakse tema ekvaatori tasapinnaks. Ta pöörleb meie tähesüsteemi ühise raskuspunkti ümber, mille läheduses asub hulk suure-massilisi tähti. Päike võtab osa sellest üldisest liikumisest ja tõttas mööda oma orbiiti kiirusega 275 km/sek, teeb ühe täisringi ümber Galaktika keskpunkti 225 miljoni aastaga.

Paragrahvis 107 kirjeldatud päikesesüsteemi liikumine kiirusega 20 km/sek on aga tema liikumine selle tähepilve tähtede suhtes, mille hulka ta kuulub.

**§ 111. Teised tähesüsteemid — galaktikad.** On kindlaks tehtud, et meie Galaktika pole ainuke tähesüsteem. On olemas suur hulk teisi temataolisi tähesüsteeme, mida nimetatakse galaktikateks. Meile lähimaks galaktikaks on spiraalne udukogu Andromeda tähtkujus (joon. 105). Teda nimetatakse nõnda seepärast, et paljale silmale ja isegi teleskoobis paistab ta uduse laiguna. Kuid fotograafia abil ilmneb, et tõeliselt on see hiiglasuur tähekoogu, mis tiheneb keskpunkti poole ja kus tähed on asetatud piki spiraalitaolisi harusid, mis väljuvad sellest tsentraalsest tihendist. Spiraalsed harud keerduvad ümber tuuma.

Et me seda udukogu näeme tema telje suhtes mõnesuguse nurga all, siis on tal väljavenitatud, piklik kuju. Hagijate tähtkujus (joon. 106) olev teine samasugune udukogu on pöördunud meie poole teisiti, tema tasapind on risti vaatesuunaga, ja selles me näeme spiraali harusid moonutamata kujul. Mõningaid galaktikaid me näeme küljelt ja seetõttu need, olles tõenäoliselt samuti spiraalse ehitusega, omavad värtna kuju sellele mähitud lõngaga (joon. 107). Kõik need kujud peavad olema ka meie Galaktikal, kui teda vaadelda mitmesuguste nurkade all suurest kaugusest.



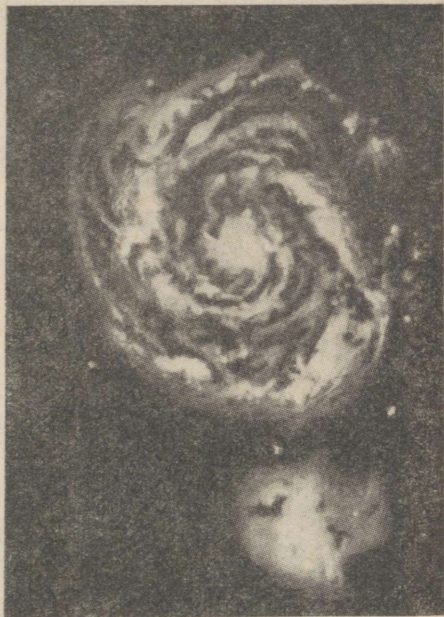
Joon. 105. Suur udukogu Andromeda tähtkujus.

Enamik galaktikaid on spiraalse ehitusega, mistõttu neid nimetatakse ka spiraalseiks udukogudeks. Teiseks nende üldnimetuseks on — välisgalaktilised udukogud.

Meenutagem, et isegi meie hoopis lähemad tähed Linnutee süsteemi liituvad paljale silmale pidevaks helendavaks uduribaks. Loomulikult ka need meist kauged tähesüsteemid paistavad meile udukogudena.

Andromeda udukogu — üks meie lähimaid galaktikaid — on meist eemal ligi 250 000 parsekki, s. o. tema valgus jõuab meieni ligi miljoni aasta pärast. Praegusaja maailma kõige suuremate teleskoopide abil pildistatud kaugemad galaktikad on meist peaaegu poole miljardi valgusaasta kaugusel.

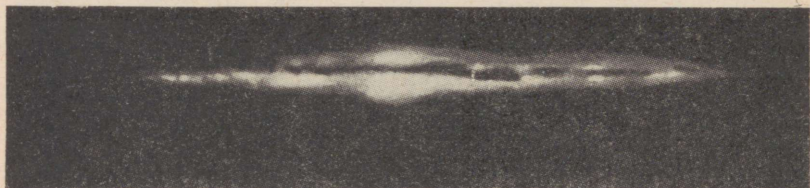
Galaktikate mõõted ja neid kujundavate tähtede arv on üldiselt samasugune kui meie Galaktikalgi, olgugi et viimane kuulub suurimate tähesüsteemide hulka. Mõnede galaktikate ääresades on avastatud meie omadega sarnaseid tähtede kemasparvi, neid tähesüsteeme moodustavate tähtede hulgas aga kohtame ka tsefeide, samuti pika perioodiga muutlikke



Joon. 106. Spiraalne udukogu Hagi-jate tähtkujus.

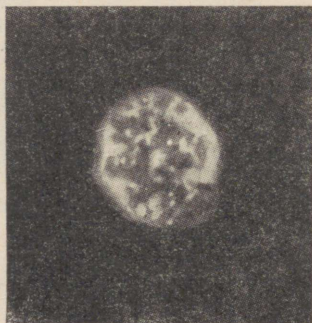
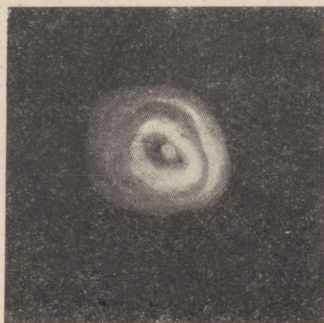
ja uusi tähti. Kõik need galaktikad pöörlevad ümber oma telje sarnaselt meie Galaktikaga.

§ 112. Heledad udukogud. Peale udukogude, mis tegelikult osutuvad kaugeteks tähesüsteemideks, võib siin ja seal



Joon. 107. Spiraalne udukogu küljelt vaadatuna.

tähtede keskel, peamiselt Linnutee vöös, näha udu-  
seid laiike — udukogusid, mis ei koosne  
tähtedest, vaid äärmiselt hõredast aimest.



Joon. 108. Planetaarsed udukogud.

Niisugused heledad udukogud liigitatakse oma kuju poolest difuusseiks (ähmased, tombulist kuju) ja planetaarseiks udukogudeks (väikesed, ümmargust kuju).

Planetaarsete udugogude keskpunktis (joon. 108) asetseb alati nõrk täheke, udugogude kuju aga on ringikese või rõngakese taoline. Selliste planetaarsete udugogude näitena



Joon. 109. Suur udukogu Orioni tähtkujus.

esineb udukogu Lüüra tähtkujus, mis on vaadeldav juba väikeses teleskoobis. Ta meenutab oma kujuga suitsurõngast, mis on lastud osava suitsetaja poolt.

Tuleb märkida, et planetaarseil udugudel pole midagi ühist planeetidega ja oma nimetuse nad said sellest, et teleskoobis nende kuju meenutab planeetide kettaid.

Difuusse udukogu näitena esineb udukogu Orioni tähtkujus (joon. 109), mis on binoklis hästi nähtav. Kuu enam või vähem heleda valgustuse 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. Kuid see pole lihtne valguse peegeldumine. Teatud määral on see helendamine sarnane gaasi helendamisega geissleri torus elektrilahenduse mõjul.

Teised heledad udukogud koosnevad kuhjunud tolmust, mis helendab mõnelt lähedaselt küllaldase heledusega tähelt peegeldunud valgusest. On olemas udukogusid, mis koosnevad tolmu ja gaaside segust, millede hulgas domineerivad vesinik, hapnik, heelium ja lämmastik.

Planetaarsete udukogude mõõted ületavad harva ühte parsekki, difuussete mõõted 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.

**§ 113. Tumedad udukogud.** Kõrvuti heledatega võib Linnutee vöös näha tumedaid udukogusid — mustade laikudena. Linnutee helendaval foonil (joon. 110). Taeva lõunapoolkeral kaks eriti musta laiku Linnutees on nimetatud isegi „sökottideks”.

Uurimused on näidanud, et sellistel juhtudel meil pole tegemist mingi auguga Linnutee tähtede massiivis, vaid gigantse tolmupilvega, mis varjab meie eest kaugete tähtede valgust. Niisugune pilv mõjub kui ekraan või eesriie. Tema

foonil paistavad ainult need tähed, mis on meile lähemad kui pilv ise. Enamik tumedatest udukogudest on kuhjunud



Joon. 110. Tume udukogu Maokandja tähtkujus.

Galaktika ekvaatori tasapinda. Valguse neeldumisega nüü-suguste udukogude poolt on seletatavad ka tumedad ribad, mida võib näha piki värtnataoliste udukogude, s. o. meie

poolt ekvaatori tasapinnas nähtavate galaktikate külgi (joon. 107).

Tumedad udukogud osutuvad samuti galaktilisteks moodustisteks kui heledadki, mida kirjeldasime eelmises paragrahvis. Nad kuuluvad meie Galaktika või teiste galaktikate koosseisu.

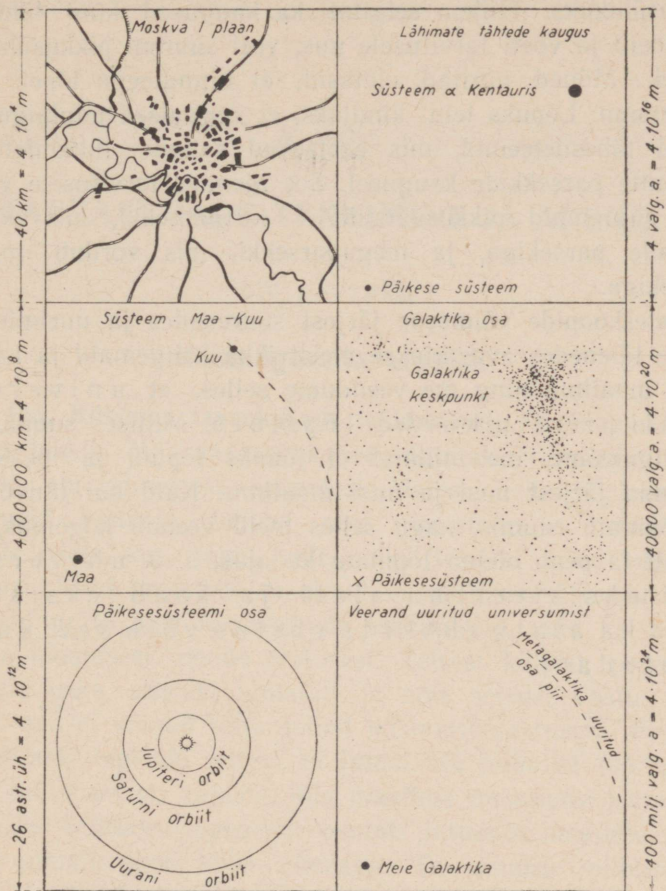
**§ 114. Tähtedevaheline keskkond.** Planeetide ja tähtede vaheline ruum on õhuta, kuid mitte absoluutselt tühi. Temas lendab meteorokehi ja nende osakesi, tolmuühemaid, molekule, üksikuid aatomeid ja elektrone. Tähtedevahelises keskkonnas on avastatud kaltsiumi, naatriumi, raua ja titaani aatomeid. Selle keskkonna tihedus on äärmiselt madal, ta on  $10^{24}$  korda väiksem vee tihedusest, kuna aga gaasidest või tolmust koosnevatel udukogudel on ta sada või tuhat korda suurem. Kuid sedagi tihedust me pole veel võimelised saavutama õhu hõrendamisel parimate õhupumpade kupli all.

Olgugi, et tähtedevahelise ruumi tihedus on väga väike, tekitab see keskkond väga kaugete tähtede valguse tunduvat neeldumist. Ta nõrgendab nende heledust ja teeb nad punasemaks. Seda asjaolu tuleb alata silmas pidada ja arvestada seda kaugete tähtede heleduse ja värvuste uurimisel. Tähtedevaheline keskkond, samuti kui ka tumedad udukogud tihenevad Galaktika tasapinna poole.

**§ 115. Universumi lõpmatus.** Usupooldajad harilikult väidavad, et meie maailm on lõplik ja piiratud. See väide viib tunnustamisele, et väljaspool materiaalsel maailma on teistsuguse maailma piirkond — mittemateriaalse, ülemeeelise ja just nagu tunnetamatu. Selles kahe maailma vastandamises seisabki igasuguse usulise, idealistliku maailma-vaate alus.

Esrindlik materialistlik teadus lähtub sügavast veendumusest, et maailm on üksainus, et tema ühtsus seisab kogu olemasoleva materiaalsuses ja et seetõttu ta on täiesti kätte-

saadav tunnetamisele meie meeltega. Maailmas pole midagi tunnetamatut, üleloomulikku.



Joon. 111. Maailma mõõtkavad, mastaabid.

Uued teaduslikud avastused iga kord kinnitavad neid põhilisi seisukohti.

Oli kord aeg, millal kõik taevakehad arvati olevat paigutatuna taevastel sfääridel mõne tuhande kilomeetri kaugusel

Maast. Pärast tehti kindlaks, et kaugus Päikeseni on 150 miljonit kilomeetrit, ja see kaugus võeti astronoomiliseks pikkusühikuks. Hiljem 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 parsekkide kaugusel. See ajendas tarvitusele võtma veel suuremaid pikkusühikuid — kiloparsekki, mis võrdub tuhande parsekiga, ja megaparsekki, mis võrdub miljoni parsekiga.

Teleskoopide võimsuse järjest suurenedes ja uurimismetodite täienedes avastatakse meist ikka kaugemaid ja kaugemaid maailmu ning me veendume selles, et universum on nii piiritu kui ka lõpmatu. Millises suunas me ka liiguksime, me millalgi ei jõuaks lõpuni ja peaksime kohtama järjest uusi ja uusi maailmu. Kuid kui universum on lõpmatu ruumis, nagu selles meid veenab kogemus, siis ilmselt ta peab olema lõpmatu ka ajas, s. o. universum pidi eksisteerima alati ja saab eksisteerima ka alati, ehkki ta ehitus võib seejuures muutuda.

## TAEVAKEHADE TEKKIMINE JA ARENG.

### XIV peatükk.

#### Kosmogoonia alused.

§ 116. **Küsimus taevakehade tekkimisest.** Küsimus sellest, kuidas tekkis Maa ja taevakehad, huvitab inimsugu tema teadliku elu esimestest astmetest alates. Selle küsimusega pöördusid vanaaja rahvad oma preestrite — usukultuse teenrite poole, kes, nagu neile näis, teadsid kõiki olemise saladusi. Kuid preestritel ei olnud mingisuguseid teaduslikke andmeid mitte üksi taevakehade tekkimisest, vaid ka nende kehade loomusest, nende ehitusest. Teisest küljest, preestrid levitasid usku, austust jumalate ja oma seisuse vastu. See pärast nad ei võinud jätta sellist küsimust vastuseta. Preestrid levitasid legende sellest, 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, just nagu jumala oma sõnadest, kuid tõeliselt on laenatud vanaaja juutide poolt paabeli 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 on vastuolus teaduse põhiliste andmetega. Nende jäme ekslikkus seisab esijoones selles, et maailm just nagu loodi ei millestki.

Katsetest on hästi teada, et ei millestki ei saa midagi teha, et materia on igavene, mitte loodav ja mitte häviv, ja et võimalikuks osutuvad ainult materia üleminekud ühelt kujult ja ühest olekust teise. Samuti on hävimatu ka materia liikumine, temale igavesti omane energia. Energia on olemas igavesest ajast ja ta ainult muudab oma kuju. Näiteks on teada, et soojus on liikumise varjatud vorm: aine osakesed liiguvad keha sees silmale nähtamatult. Aine (massi) jäävuse seadus ja energia jäävuse seadus on lähtekohaks teaduslike järelduste tegemisel maailmade tekkimise kohta.

Usulised legendid maailma loomisest jumala poolt, mis esitatakse kui arvustusele mittekuuluvad „jumalikud ilmutused”, pidurdasid teaduse arengut. Praegugi nad etendavad sügavalt reaktsioonilist osa.

Pole raske taibata, et väide maailma loomisest jumala poolt üldse midagi ei seleta ja ainult asendab ühe tundmatu teise tundmatuga. Teisest küljest, teades, et materia 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, milledest nad koosnevad, ja liikumised, milledest 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, s. o. muutub. Nii siis, taevakehade tekkimine, kujunemine ja areng on üksteisega tihedalt seotud.

Astronoomia osa, mis tegeleb taevakehade tekkimise ja arenemise küsimustega, nimetatakse kosmogooniaks.

**§ 117. Raskusi taevakehade arenemise uurimisel.** 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.

Teisest küljest, küsimust rohkearvuliste ja sageli väga vähe üksteisega sarnanevate taevakehade ja nende süsteemide tekkimise ning arenemise kohta pole võimalik otsustada ilma taevakehade füüsilise loomuse täpse tundmiseta ning ilma looduseaduste ja nende mõju täpse tundmiseta igal üksikjuhul.

Kuid vastandina usule, mis veeretab kõik jumala peale ja väidab, et maailm on tunnetamatu, et inimesed teda kunagi ei saa mõistma, uurib teadus maailma samm-sammult. Teadus rangelt piiritleb kindlasti-tuntu oletatavast ja oletatava veel tundmatust.

Selles seisabki teaduse jõud, mille edasiliikumisel oletatav järk-järgult muutub kindlasti tuntuks ja tundmatu asemele astub oletatav. Sellega teadus alatasa tõestab looduse tunnetamise võimalikkust ja selle tunnetamise järjest suuremat täpsust, ehkki ühelgi momendil kõik meie teadmised ei saa olla absoluutselt täpsed. Teaduse areng 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 ja ühed neist on alati nii või teisiti seotud teistega. Teaduslike kujutluste vahetus — see on just nagu tõusmine teaduse tippudele mööda trepi astmeid.

Näiteks, näivast vastuolust Uurani liikumises kogumaailmse gravitatsiooniseadusega, nagu teame, tekkis oletus pläneedi olemasolust väljaspool Uurani teed, seejärel aga avastatigi seni tundmatu planeet Neptuun (§ 49).

Teadus seletab hüpoteeside, s. o. teaduslike oletuste abil mitmesuguste taevakehade tekkimist ja kirjeldab nende arenemist. Ajalugu näitab, et 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 seadust”. Hüpoteesid, isegi ebaõiged, kutsuvad esile järjest uusi teoreetilisi uurimisi, mis viivad uutele avastustele teaduses. Mõned hüpoteesid, nagu näiteks Kanti ja Laplace'i laialt tuntud hüpoteesid meie päikesesüsteemi tekkimisest, on etendanud määratu suurt osa kogu teaduse arenemises.

Hüpoteesid ehk teaduslikud oletused erinevad lihtsatest oletustest sellepõllest, et nad põhinevad meie teadmiste kogusummal antud momendil ja peavad rahuldama suurt hulka teaduslikke nõudeid. Seepärast pole praegusel ajal sugugi nii lihtne luua teaduslikku hüpoteesi, nagu vahel mõeldakse. Iga vastu võetud hüpoteesi aluseks on rea teaduste sügav tundmine, kuigi nende populaarsel esitamisel, nagu näiteks selles õpikus, need hüpoteesid esimesel pilgul paistavad hoopis lihtsaina või hõlpsasti muudetavaina.

§ 118. **Taevakehade vanus** (s. o. aeg, mis on möödunud nende tekkimisest kuni praeguse momendini) on väga suur ja võrreldes sellega on inimese elu ning teaduse vanus Maa peal — ainult lühike hetk. Seda võib taibata juba selle põhjal, kui aeglaselt, kuigi pidevalt, muutub meie Maa pind, selle põhjal, et inimsoo olemasolu kestel pole Päikeselt kiirata-  
v energia märgatavalt muutunud jne.

Praegusel ajal on võimalik arvutada ajavahemikku, mis on möödunud Maa tekkimise momendist, s. o. tema vanust, kuigi see esimesel pilgul näib vähe tõenäolisena. Selleks on kasutada koguni mitu meetodit. Kõige täpsem neist on järgmine.

On teada, et nn. radioaktiivsete keemiliste elementide, nagu näiteks raadium, uraan, toorium ja teised, aatomid spontaanselt lagunevad, muundudes teiste keemiliste elementide aatomiteks. Uraan tekitab raadiumi, raadium aga lagunedes omakorda muundub lõppude lõpuks seatinaks, mis enam edasi ei lagune, vaid jääbki seatinaks. Sel viisil tekkinud seatina aatomkaalult pisut erineb harilikust seatinast. Mingisugused välised mõjutused, näiteks soojendamine, ei suuda uraani muundumist tinaks ei kiirendada ega aeglustada. See uraani lagunemise seadus ja tema lagunemise kiirus on hästi tuntud katsest. Ühes ajaühikus laguneb ja muundub seatinaks kasutada oleva uraani aatomitest kindel osa.

Kui asetada kuskile teatud hulk uraani, siis aja jooksul temas tekib kindel, juba varem ettemääratav hulk seatina, ja ümberpöörduvalt: seatina hulga suhtest antud kohas olevasse uraani hulgasse võib määrata, kui kaua kestis selle uraani lagunemine.

Paljud maakoores leiduvad mineraalid ja kivimid sisaldavad uraani ja tema lagunemisprodukti — seatina, kuigi õige vähestes hulkades. Tehes kindlaks seatina hulga ja uraani hulga suhte antud kivimis, me võime määrata, kui kaua kestis algul selles kivimis sisaldunud uraani lagune-

mine. Teiste sõnadega, me võime määrata, kui palju aega möödus momendist, mil uraan sattus antud kivimi koostisse, s. o. kui pikk on ajavahemik, mis on möödunud tema tekkimise momendist, milline on tema vanus. On selge, et kuni kivimi kujunemiseni ta püsis vedelas olekus (olles hõõgutuline), kus teda moodustavad osad said veel seguneda.

Mitmesuguste kivimite vanuse määramine on näidanud, et kõige vanemad neist on kujunenud 2 või isegi 3 miljardit aastat tagasi. Selline on ilmselt maakoore vanus, tema tahkestumise algusest möödunud ajavahemik. Kuni selle ajani oli Maa pind vedel ning hõõguv, millele osutavad hõõguva sula kivimassi (laava) purskumised vulkaanide kraatreist. Muidugi jahtub iga keha pinnalt kiirgamise teel, ka Maa hakkas jahtuma ja tahkestuma, nimelt pinnalt, säilitades sisemuses veel hõõguva oleku. Nõnda tekkis Maa koor, mis pole paksem kui 200—300 km. Mida sügavamale me laskume Maa sisse, näiteks kaevandis, seda kõrgemale tõuseb temperatuur (keskmiselt 1° iga 30 m kohta).

Seda laadi uurimused, maaväringute lainete levimine ja teised andmed sunnivad järeldama, et Maa sisemuses on tema mass väga kuumas olekus. Kõik see annab tunnistust sellest, et kauges, kauges minevikus kogu Maa esines hõõgutulise kehana ja tõenäoliselt isegi kiirgas oma valgust.

Tõenäoliselt samasugune peab olema ka teiste planeetide ehitus, kuigi massiivsemad planeedid pidid jahtuma aeglasemalt. Kui kõik planeedid ja nende kaaslased tekkisid enam-vähem üheaegselt, siis massiivsemad neist peavad praeguse ajani olema vähem jahtunud kui vähem massiivsed, sellised kui Kuu ja asteroidid.

Maa vanus tema kui taevakeha tekkimise momendist arvates peab olema suurem maakoore vanusest, s. o. suurem kahest-kolmest miljardist aastast. Päikese vanus peab kahtlemata olema veel tunduvalt suurem. See järgneb eriti nende

grandioosete protsesside hinnangust, mis toimuvad Päikese sisemuses. Peale selle aga näitab maakoos leiduvate kivis- lunud taimede uurimine, et Päikese kiirgamine pole oluliselt muutunud sadade miljonite aastate jooksul, s. o. et ta püsib praegugi sama kuumana kui kauges minevikus.

Tähtede liikumiste uurimised meie Galaktikas näitasid, et selle tähesüsteemi vanus pole väiksem, tõenäoliselt aga on isegi paljukordselt suurem kui Maa vanus.

Kõiki neid andmeid tuleb arvestada, kui me tahame kujutleda endale üksikute taevakehade ja nende süsteemide tekkimist ning arenemist. On huvitav, et raadiumi ja tema lagunemisproduktide uurimise põhjal on õnnestunud kindlaks teha meteoriitide, nende Maa peale sattuvate teiste taevakehade killukeste vanust. See osutus suurusjärgult samaks kui maakoore vanus, ulatudes kuni 10 miljardi aastani.

## XV peatükk.

### Kaasaegsed hüpoteesid.

**§ 119. Tähtede ja galaktiliste tähesüsteemide tekkimine.** Inglise teadlase Jeans'i (1877—1946) hüpoteesi järgi on meie Galaktika ja temaga sarnased tähesüsteemid tekkinud järgmisel viisil.

Kujutleme endale maailmaruumis kolossaalse massi gaasi, mis miljardeid kordi ületab Päikese massi ja mis oma füüsiliselt ehituselt meenutab (ainult suuremas mõõ- dus) Orioni udukogu gaase. Oma osakeste vastastikuse külgetõmbe mõjul peab selline gaasi mass järjest tihenema keskpunkti poole, ikka enam ja enam vähenedes mõõteilt. Kui tal on mingi telje ümber kas või nõrkki pöörlemine, mida võivad esile kutsuda läheduses olevate teiste sama- suguste gaasimasside külgetõmbejõud, siis mehaanika sea-

duste järgi peab meie gaasimassi pöörlemise kiirus sellel kokkutõmbumise ja tihenemise protsessil suurenema. Pöörlemise kiiruse suurenedes hakkab udukogu tsentrifugaaljõu mõjul, mis on suurim massi ekvaatoril, ikka enam ja enam poolustelt lapikuks muutuma ja lõpuks võtab läätse kuju.

Seega seisab gaas-udukogu esialgne arenemine tema üleminekus ligikaudu kera kujult lapikule kujule ja lõpuks läätsetaolisele kujule, mis on tugevasti lapik poolustelt ja väga välja venitatud, piklik ekvaatori tasapinnas.

Küllalt suure pöörlemiskiiruse saavutamisel satuvad ekvaatori piirkonnas olevad udukogu osakesed ebakindlasse olekusse, sest nende suurenenud tsentrifugaaljõud tasakaalustub tõmbejõuga udukogu keskpunkti poole. Sellises olekus piisab väiksemastki tõukest, et gaasi osakesed udukogu ekvaatori piirkonnas end temast lahti rebiksid. Selle tõuke võib anda läheduses asuv samalaadne udukogu. Oma külgetõmbejõuga tekitab ta meie udukogus kaks keskpunktist vastaskülgedel asetsevat tõusulainet, need on samasugused tõusulained, nagu Kuu tekitab maapealsetes ookeanides. Tõusulaineid tekitav tõuge võimaldab udukogu osakestel temast eralduda ekvaatori kahes vastaskohas. Kord alanud gaasi väljavoolamine, nagu näitavad arvutused, peab jätkuma ka edaspidi kahe joa näol.

Udukogu pöörlemise tulemusena väljavoolavad joad keerduvad tema ümber ja seetõttu udukogu saab spiraalse kuju. Niiviisi tekib määratu suur spiraalne udukogu, mille aine on kokku surutud tuumas ja hõre spiraali harudes. Neis harudes tekivad nende paratamatu ebaühtluse tõttu mitmesuguse massiga koondised, mille saatus kujuneb erinevaks.

Nagu arvutused näitavad, peavad väikese massiga gaasi koondised, mis on ühesugused planeetide massiga, hajuma ruumis, sest nende osakeste gravitatsiooniline tõmbumine koondise keskpunkti poole pole küllaldane.

Koondised, millede mass on suurusjärgult võrdne tähtede ja Päikese massiga, koonduvad ja tihenevad veel enam. Nõnda tekivad tähed.



Joon. 112. Suurte udukogude arenemise üksteisele järgnevad kujud.

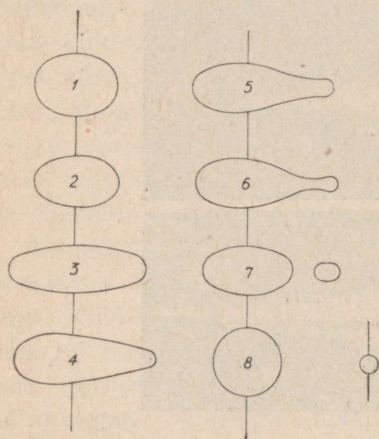
Koondised, millede mass on eriti suur, pole võimelised koonduma üheks suureks kehaks ja lagunevad osadeks, millede massid on suurusjärgult võrdsed Päikese massiga.

Nõnda tekivad spiraali harudes udukogu äärtes kerakujulised ja teised täheparved.

Tähtede tekkimise protsess levib udukogu äärtest järjest keskpunkti poole ja lõpuks tekibki spiraalne tähesüsteem ehk galaktika.

Maailmaruumis me kohtame suuri udukogusid kõigis neis astmeis, mida peab läbima igaüks sellistest udukogudest miljardite aastate jooksul (mõned neist on kujutatud joonisel 112). Välisgalaktiliste udukogude puhul esineb niisugune järjekord: kerakujulised, lapikud, läätsetaolised ja spiraalsed udukogud. Kuid vastuolus Jeans'i hüpoteesiga on see tõsiasi, et kõik niisugused udukogud koosnevad nähtavasti täielikult tähtedest, nii et nende evolutsioon pole lõplikult veel selgitatud.

**§ 120. Tähtede arenemine.** Võib oletada, et tähed, olles tekkinud koondistena udukogu sees, on algul määratu suured, väga väikese tiheduse ja võrdlemisi madala temperatuuriga — need on punased hiiglased. Oma osakeste graviteerumise mõjul keskpunkti poole tähed tõmbuvad kokku ja temperatuur nende sisemuses kui ka pinnal tõuseb. Kui tähe keskpunktis temperatuur ulatub mitme miljoni kraadini, algab seal pidev raskete keemiliste elementide aatomite tekkimine vesiniku aatomite arvel, millega kaasub energia eraldamine. Tähe temperatuur tõuseb ja ta muutub valgeks kuumaks täheks. Kui see olek on saavutatud ja tähe keskpunktis tõuseb temperatuur umbes



Joon. 113. Kaksiktähtede ja Kuu tekkimine.

sees, on algul määratu suured, väga väikese tiheduse ja võrdlemisi madala temperatuuriga — need on punased hiiglased. Oma osakeste graviteerumise mõjul keskpunkti poole tähed tõmbuvad kokku ja temperatuur nende sisemuses kui ka pinnal tõuseb. Kui tähe keskpunktis temperatuur ulatub mitme miljoni kraadini, algab seal pidev raskete keemiliste elementide aatomite tekkimine vesiniku aatomite arvel, millega kaasub energia eraldamine. Tähe temperatuur tõuseb ja ta muutub valgeks kuumaks täheks. Kui see olek on saavutatud ja tähe keskpunktis tõuseb temperatuur umbes

20 miljoni kraadini, läheb vesiniku aatomite heeliumi aatomiteks muundumise protsess veelgi energilisemaks, kusjuures eraldub tohutu hulk energiat. Kuid vesiniku varud tähes järjest kahanevad, energia juurdevool seestpoolt nõrgeneb ja järjest kokku tõmbudes ta muutub päikesetüübiliseks kollaseks täheks, aga veel enam jahtudes ja kokku tõmbudes — punaseks kääbustäheks.

Nii siis võib oletada, et meie Päike on täht, millel on pikk ajalugu. Kuid vesiniku varu temas on veel täiesti küllaldane tema kiirguse säilitamiseks miljardite aastate kestel. Teaduse edasine areng lubab täpsemalt ja kindlamalt kujutleda tähtede ja Päikese minevikku kui ka tulevikku.

§ 121. **Kaksiktähtede ja Kuu kujunemine.** Mitmesuguste kaksiktähtede süsteemide omavaheline kõrvutamine ja matemaatilised arvutused lubavad oletada, et kaksiktähed on kujunenud üksiktähtedest jagunemise teel. Kiiresti pöörlev täht peab tsentrifugaaljõu mõjul muutuma lapikuks ja küllalt kiire pöörlemise puhul võtab seejärel väljavenitatud, pikliku kuju, mis meenutab kanamuna või kurki. Edasisel pöörlemisel jõuab täht pirnitaolise kujuni — kaelaga (kitsama kohaga), nagu kujutatud joonisel 113. See kael venib pikemaks, muutub peenemaks ja lõpuks katkeb, nii et täht jaguneb kaheks kehaks.

Algul väiksem keha ringleb suurema ümber sama perioodiga, millisega algkeha pöörles ümber telje katkemise momendil. Suurema keha kokkutõmbumisel tema pöörlemisperiood väheneb, kuid väiksema keha poolt esile kutsutud tõusud hakkavad pidurdama peakeha pöörlemist, sest tõusulained on temal alati suunatud külgetõmbava keha poole, mille ringlemisperiood muutus väiksemaks peakeha pöörlemisperioodist.

Tulemuseks on, et kaaslane, vastavalt mehaanika seadustele, hakkab eemalduma peatähest ikka kaugemale ja kaugemale, tema ringlemisperiood aga suurenema. Siin kirjeldatud protsessi nimetatakse *tõusulaine-evolutsiooniks*.

Kauges minevikus moodustasid Maa ja Kuu ühe keha. Kuu võis Maast eralduda ja eemalduda siis, kui Maa oli veel vedel-tuline, ja just samasel viisil, nagu seda kirjeldasime. Arvutused näitavad, et enne Kuu eraldumist pidi Maal olema 5-tunniline pöörlemisperiood, praegusaja 24-tunnilise asemel. Maa pöörlemise aeglustumine tõusuhõõrdumise mõjul on vaatlustega tõestatud. Iga saja aasta kestel maapealne ööpäev pikeneb 0,001 sekundi võrra. Lõppude lõpuks muutub ööpäev Maal

võrdseks tähe- ehk sideerilise kuuga, s. o. Maa osutub pöörduks Kuu poole ühe ning sama poolega, samuti kui praegusel ajal Kuu Maa poole, ja Maa vastaspoolel Kuu pole üldse nähtav.

Kui Kuu oli vedel-tuline, olid Maa külgetõmbe mõjul tõusud tema massis veel tugevamad, kui need tõusud, mida meie kaaslane praegu põhjustab Maal. Seetõttu Kuu pöörlemine ümber telje aeglustus õige ruttu ja Kuu jäi Maa poole pööratuks ühe ning sama poolega. Tõusu eended temal tahkestusid ja seetõttu Kuu ei olegi täpne kera, vaid on pisut välja veninud Maa suunas.

**§ 122. 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 mingisuguseid teisi selletaolisi süsteeme, kuigi nad peavad olemas olema. Tõepoolest, kui me vaatleksime teisi päikesesüsteeme, siis nende hulgas tõenäoliselt leiduks süsteeme, mis on oma arengu erinevail astmeil. Neid omavahel võrreldes me oleksime suutelised restaureerima päikesesüsteemi tekkimise ja arengu lugu. See oleks analoogiline sellega, kui me metsas ühe ning sama liigi väikeste ja suurte puude kõrvutamise järgi võime mõista nende puude arenemiskäiku, kuigi meie silmade ees lühikese aja jooksul üksik puu ei jõua märgatavalt muutuda.

Ei tule unustada seda, et ka praegusaja ülivõimsate teleskoopidega me ei suuda näha Maaga sarnaseid planeete isegi lähimate tähtede ümber, nii nõrgalt peavad nad helen-dama. Seepärast see asjaolu, et meie neid ei näe, ei tõesta sugugi veel seda, et neid tõeliselt polegi olemas.

Hiljuti (1937) pandi tähele, et mõned tähed liiguvad nõnda, nagu tõmbaksid neid külge nähtamatud kaaslased, millede mass ainult mõned korrad ületab Jupiteri massi. Teiste sõna-dega, juba on avastatud viited mõnede tähtede ümber ring-levate, esialgu veel nähtamatute planeetide olemasolule. See-pärast ei saa olla õiged hüpoteesid planeetide tekkimisest

nende lahtirebimise tagajärjel Päikesest, tema kokkupõrkamisel teise tähega või lähenemisel temale kauges minevikus.

Viimasel juhul Päikeselt osa tema aine ärarebimine oleks pidanud toimuma Päikesel üleliiga suure tõusulaine tekkimise tagajärjel, mis oli esile kutsutud selle tähe külgetõmbejõuga. Sellised vaated, nagu sama Jeans'i hüpotees, viivad järeldusele, et päikesesüsteem nagu oleks universumis äärmiselt haruldaseks erandiks, mida ta, nagu näeme, ei ole. Päikesesüsteemi erandlikkus järgneks sellest, et tähed, nagu näitavad arvutused, lähenevad üksteisele väga harva, veel harvemini põrkavad kokku üksteisega, ja järelikult sel teel hulgalised planeetide süsteemid tekkida ei saa.

Kogu XIX sajandi kestel teadlased, lähtudes Kant'i ja Laplace'i hüpoteesist, oletasid, et päikesesüsteem tekkis suurest gaasilisest udukogust, millest tema pöörlemisel tsentrifugaaljõu tõttu piki ekvaatorit rebisid end lahti gaasrõngad, mis hiljem tihenesid planeetideks. Kuid praegusaja andmed kõnelevad, et sel viisil päikesesüsteemid samuti ei võinud tekkida terve rea põhjuste tõttu.

Nõukogude teadlase akadeemik V. G. Fessenkovi arvates võisid planeedid tekkida järgmisel viisil. Otsustades Maa koore ja Päikese atmosfääri kvantitatiivse keemilise koostise lähedase sarnasuse järgi, olid Maa ning järelikult ka kõik planeedid kunagi osa Päikesest ja eraldusid temast. See võis toimuda siis, kui Päike pöörles oma telje ümber hoopis kiiremini kui praegu ja kui planeedid võisid üksteise järel eralduda tema hõõguvast massist, sarnaselt protsessiga kaksiktähtede tekkimisel. Seejuures akadeemik Fessenkov arvestab ka neid füüsilisi protsesse, mis toimuvad Päikeses ja võivad tema planeetide tekkimist soodustada. Väikesed kerakesed pirnitaolise moodustise otsas, mida Päike omas siis, pidid olema võrdlemisi mitte just väga kõrge temperatuuriga. Muidu oleks pidanud lahtirebinud oletatava planeedi gaasid pärast Päikesest eraldumist hajuma maailmaruumis.

On väga oluline meenutada, et planeedid, isegi Jupiteri taolised hiiglased, osutuvad kübemekesteks võrreldes Päikesega (§ 82).

Tõusulaine-evolutsiooni tõttu planeedid pikkamööda eemaldusid Päikesest ja asusid nendele kohtadele, kus me neid näeme praegusel ajal. Koos sellega ja võrdlemisi kiiresti nad jahtusid ja lõpuks kattusid tahke koorega.

Nõukogude teadlane akadeemik O. J. Schmidt esitas 1944. a. tema poolt üksikasjaliselt käsitletud hüpoteesi planeetide tekkimise kohta. Selle hüpoteesi järgi tekkis päikesesüsteem meie Päikese läbimineku tagajärjel määratu suurest pilvest, mis koosnes tolmust ja peenikestest meteoriosakesetest. Seda laadi tolmust koosnevaid udukogusid eksisteerib: nad on suurel hulgal hajunud maailmaruumis tähtede keskel. Sellist pilve läbides tõmbas Päike endaga kaasa suure hulga peenikesi osakesi, mis hakkasid tema ümber ringlema peaaegu ühes ning samas tasapinnas. Suuremad osakesed tõmbasid enda poole väiksemaid või lihtsalt pörkasid nendega kokku. Niiviisi toimus väikeste taevakehade — tulevaste planeetide kasvamine. Teiste sõnadega, planeetide tekkimine oli analoogiline lumepalli tekkimisega, mille külge kogu aeg kleepuvad järjest uued osakesed.

Lähtudes olemasolevatest hüpoteesidest, pole praegusel ajal veel võimalik anda päikesesüsteemi ehituses kõigi üksikasjade seletust. Seda tehakse teaduse edasise arengu käigus.

**§ 123. Elu tekkimine Maal ja tema saatus tulevikus.** Kui Maa eraldus Päikesest, oli tema temperatuur algul seda võrd kõrge, et mingisugune orgaaniline elu ei saanud temal eksisteerida. Tõepoolest, elavate organismide põhilised elemendid — valkaine molekulid lagunevad kõrges temperatuuris oma koostesadeks. Mõnesuguse küllalt kõrge temperatuuri puhul pole aatomite keemilised ühendid üldse võimalikud. On olemas temperatuuri ülempiir, mille puhul valkaine

(nagu näiteks munavalge) kokku tõmbub: ta võib eksisteerida ainult madalamate temperatuuride puhul.

Kui Maa pind jahtus ära sedavõrd, et erinevate keemiliste elementide aatomid hakkasid üksteisega keemiliselt ühinema, tekkis lõppude lõpuks ka veeaur, mis küllastas Maa atmosfääri. Teisest küljest, süsiniku aatomid, mis omavad erakorralist võimet ühineda rühmadeks, hakkasid veel varemalt sadestuma Maa pinnale tuliste tilkade näol. Seal rauaga kokku puutudes moodustasid nad sellega keemilised ühendid, mida nimetatakse karbiidideks, need karbiidid aga, ühinedes ülekuumutatud veeauruga, tekitasid lihtsaimad orgaanilised ained — süsivesikud. Edasised süsivesikute ühendid hapniku ja lämmastikuga, mis samuti kõige kergemini astuvad ühenditesse, andsid need keerukad molekulaarsed moodustised, milledest koosnevad valkained.

Valgutaolised ained, mis esialgu olid lahustunud soojade ookeanide vetes, segunesid ja tekitasid süldisarnaseid masse. Sobivates tingimustes niisuguse „süldi“ tilgad kasvasid ümbritseva keskkonna molekulidega liitumisel ja muutusid keerulisemaks oma ehituselt, vahetpidamata muundudes ja sellega lihtsaimal kujul esile tuues jooni, mis on iseloomulikud elavatele organismidele. Mittesobivates tingimustes aga vähem kohanenud „süldi“ tilgad lagunesid, hävisid. Toimus omapärane „süldi“ tilkade „loomulik valik“. „Ellu jäid“ ja muutusid järjest keerukamaks ainult kõige enam kohanenud neist. Pikkamööda nad saavutasid selle keerukuse, mis iseloomustab elavat rakku. Bioloogia kirjeldab, kuidas neist lihtsaimatest rakkudest evolutsiooni teel miljonite aastate jooksul kujunesid järjest keerukamad elavad organismid, millede tippsaavutiseks osutub inimene. Ülalkirjeldatud viisil elu tekkimine Maal on praegusel ajal võimatu nii seetõttu, et ta toimub äärmiselt aeglaselt ja nõuab tingimusi, milliseid Maal tema ärajahtumise tõttu enam pole, kui ka seetõttu, et orgaanilised algained, kui nad nüüd peaksidki

tekkima, saaksid kohe hävitatud lõpmatu hulga mikroorganismide poolt, mis täidavad õhku, vett ja maapinda.

Analoogiliselt sellele, kuidas kaasaegne bioloogia kujutleb endale ülalkirjeldatud elu tekkimist Maal, peab elu tekkima ka teistel planeetidel, kui selleks on olemas soodsad tingimused. Päikese süsteemis on elu olemas Maal, nähtavasti ka Marsil ja võib olla ka Veenusel.

Loomulikult jõuab kord kätte ka see aeg, mil elu Maal peab lakkama. Mis saab olema selle lõpu peapõhjuseks — kas Päikese energia tunduv vähenemine või mõnesugused teised muutused Maa füüsilistes tingimustes, seda me täie kindlusega veel öelda ei saa. Kuid on selge, et elu olemasolu sõltub esijoonel Päikese soojusest ja valgusest. Samuti on selge, et elu lõpuga Maal ei lõpe elu universumis, sest universum tervikuna on igavene, ja igavene on ka tema arenemine. Elavad organismid, nende hulgas ka mõtlevad, arukad, tingimata eksisteerivad ja saavad eksisteerima lõpmatul hulgal taevakehadel lõpmatus universumis.

**§ 124. Universumi igavene olemine.** Analoogiliselt sellele, et teaduslike andmete valguses universum osutub lõpmatuks ruumis, ta osutub 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 — materia kohta, millest ta koosneb. Tema üksikud osad aga, nagu näiteks Maa, päikese süsteem, tähed ja isegi galaktilised süsteemid vahetpidamata kord siin, kord seal tekivad, sünnivad, teostavad pika arengutee ja lõpuks lõpetavad oma eksisteerimise sel kujul selleks, et neid moodustav materia võtaks uue kuju. Materia ise aga, muutes alatasa oma kuju, ei hävi millalgi; ta on igavene, ja igavene on ta liikumine. Oma

aja ära elanud maailmade asemele tekivad uued, millel  
aja jooksul samuti tekib elu, mis vahetpidamata keerulise-  
maks muutumise teel tekitab oma kõrgeima avalduse — aru-  
kad, mõtlevad olevused.

## ASTRONOOMIA PRAKTILISED RAKENDUSED.

### XVI peatükk.

#### Astronoomia praktiliste rakenduste alused.

§ 125. Astronoomia praktiliste rakenduste ala. Eelmistes jagudes me tutvusime astronoomia haaravamate kokkuvõtete taevakehade füüsilisest loomusest, kohast, millist omab meie Maa maailmas, seadustest, mis valitsevad taevakehade liikumisi ja arenemist. Ilma nende faktide tundmiseta inimsoo arenemine ja eriti tehnika arenemine oleks olnud võimatu. Kuid astronoomiast saadav kasu ei piirdu sellega. See teadus leiab otsest rakendust praktikas. Astronoomia tekkimine oli seotud eelkõige inimsoo praktiliste vajadustega. Tehnika arenguga muutusid need praktilised nõuded astronoomiale järjest mitmekesisemaks ja rangemaks, kuid ka astronoomia oma mitmekülgse arengu baasil saavutas võimaluse täpsemalt vastata praktilistele küsimustele.

Praegusel ajal astronoomia peamised praktilised rakendused seisavad aja täpses mõõtmises ja mitmesugustes orienteerumise viisides vastavalt erinevatele tingimustele, millistes on nende andmete tarvitajad.

Täpset aega vajavad üksikud kodanikud, asutised (eriti raudteed ja sideasutised), paljud käitised, kasulike maapõue-

varade otsijad, Nõukogude armee ja laevastik, samuti ka kõik need, kes vajavad astronoomilisi orienteerumisviise, s. o. geodesistid-kartograafid, meremehed, lendurid, reisijad — uute maade ning maakohtade uurijad jt.

Astronoomiline orienteerumine seisab vajaliku suuna määramises (põhja, lõuna jne.) erineva täpsusastmega, samuti vaatleja asukoha määramises maakeral, s. o. geograafilise laiuse ja pikkuse määramises. Laiust ja pikkust saab määrata ainult astronoomilistest vaatlustest.

Kõik astronoomia praktilised rakendused on seotud taevakehade koordinaatide määramisega, seepärast tuleb mõiste neist teha endale täiesti selgeks. Käesolevas peatükis vaatlemegi neid küsimusi.

**§ 126. Taevakehade koordinaadid.** Iga taevakeha asend taevaskeral määratakse kahe sfäärilise koordinaadi abil, mis väljendatakse kahe arvuga analoogiliselt sellele, kuidas määratakse iga koha asend maakeral tema geograafiliste koordinaatidega.

Taevakehade koordinaadid on erinevad, vastavalt sellele, milliste joonte suhtes me neid koordinaate määrame. Maa peal määratakse koordinaate maaekvaatori ja Greenwichi meridiaani suhtes.

Taevaskeral võib koordinaate määrata taevaekvaatori suhtes (analoogiliselt geograafilisele laiusele) ja alg- ehk null-deklinatsiooniringi suhtes (just nagu null-meridiaan geograafilise pikkuse määramisel). See on ekvaatoriline koordinaatide süsteem.

Kui aga taevakehade koordinaadid määrata horisondi ja taevameridiaani suhtes, saame horisondilise koordinaatide süsteemi.

Taevaekvaatori asend taevaskeral ei sõltu ei vaatleja asukohast Maa peal, ei kella- ega aastaajast. Seepärast tähtede

ekvaatorilised koordinaadid ei muutu. Taevakehade horisondilised koordinaadid aga muutuvad aja jooksul ja peale selle sõltuvad vaatleja asukohast Maal, sest maailmaruumi suhtes horisondi tasapind Maa antud kohas pöörleb ühes Maaga. Seepärast aja ning vaatleja asukoha määramine maakeral (orienteerumine) nõuab just taevakehade horisondiliste koordinaatide mõõtmist vaatluste abil. Taevakaardi koostamiseks aga ja taevakehade kandmiseks kataloogidesse tuleb kasutada ekvaatorilist koordinaatide süsteemi.

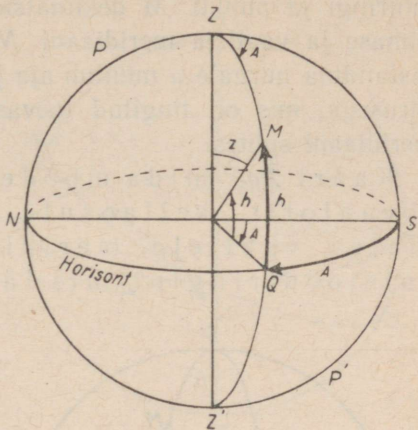
Ühe ja sama taevakeha ekvaatorilised ja horisondilised koordinaadid on üksteisega seotud ning ühtedest neist võib üle minna teistele ümberarvutuse abil (kuid ainult kindla ajamomendi ja vaatleja kindla asendi kohta maakeral).

**§ 127. Horisondiline koordinaatide süsteem.** Joonisel 114 on kujutatud horisondi kohal nähtav taevaskera pool. Ring  $NS$  on horisont,  $Z$  — seniit,  $S$  — lõunapunkt. Taevaskeral asetseva punkti  $M$  asendi määramiseks tõmbame temast ja seniidist läbi suure vertikaalringi kaare  $ZQ$ . Punkti  $M$  horisondilisteks koordinaatideks on: kõrgus  $h$ , mis mõõdetakse kaarega  $QM$  ja väljendab punkti  $M$  nurkkaugust horisondist, ning asimuut  $A$ , mis mõõdetakse lõunapunktist  $S$  lääne suunas võetud kaarega  $SQ$  ja mis väljendab nurka taevameridiaani ning punkti  $M$  läbiva vertikaalringi vahel.

Kõrguse  $h$  asemel kasutatakse sageli seniitkaugust  $z = 90^\circ - h$ , mis väljendab punkti  $M$  nurkkaugust seniidist. Kõrgus  $h$  (või  $z$ ) ja asimuut  $A$  väljendatakse kraadides.

**§ 128. Ekvaatoriline koordinaatide süsteem.** Joonisel 116 on kujutatud taevaskera ekvaatoriga. Taevaskera suur ring, mille tasapind on risti ekvaatori tasapinnaga ja mis läbib

kevadpunkti  $\Upsilon$ , on alg- ehk null-deklinatsiooniringiks. Punkti  $M$  asendi määramiseks tõmbame temast ja maailma poolusest  $P$  läbi deklinatsiooniringi  $PMq$ . Punkti  $M$  ekvaatorilisteks koordinaatideks on: kääne ehk deklinatsioon  $\delta$ , mida mõõdetakse punkti  $M$  nurkkaugust taevaekvaatorist näitava kaarega  $qM$ , ja otsetõus  $a$ , mida mõõdetakse kaarega  $\gamma q$ ; see loetakse punktist  $\gamma$  kellaosuti liikumisele vastassuunas (kui

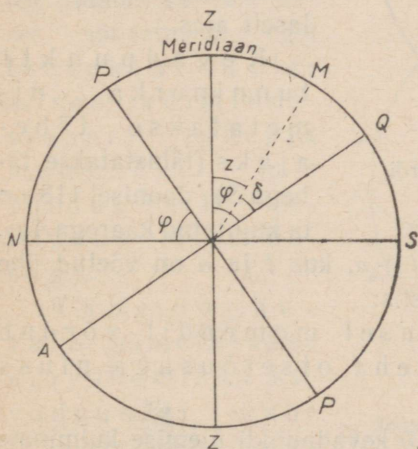


Joon. 114. Horisondiline koordinaatide süsteem.

ja väljendab nurka algdeklinatsiooniringi ja punkti  $M$  läbiva deklinatsiooniringi vahel.

Deklinatsioon ( $\delta$ ) väljendatakse kraadides ja loetakse ekvaatorist põhja poole positiivseks (+), lõuna poole aga negatiivseks (-); otsetõus ( $a$ ) väljendatakse ajas analoogiliselt geograafilisele pikkusele.

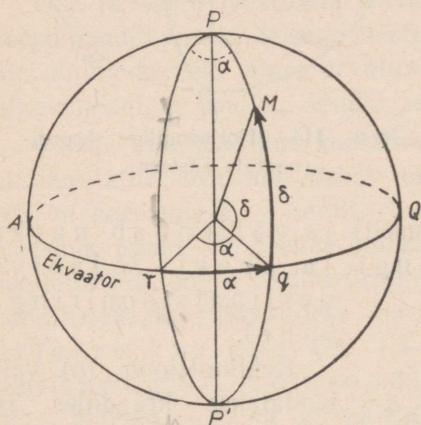
§ 129. Tunninurk ja tähe- ja päikeseeõpäev. Joonisel 117 on



Joon. 115. Seniitkaugus, deklinatsioon ja koha laius.

kujutatud horisoniline ja ekvaatoriline koordinaatide süsteem. Kui määrata punkti  $M$  puhul mitte nurk alg-deklinatsiooniringi ja punkti  $M$  deklinatsiooniringi vahel, vaid nurk viimase ja vaatleja meridiaani  $NPZS$  vahel, siis see nurk vastandina nurgale  $a$  muutub aja jooksul ja seejuures ühtlase kiirusega, mis on tingitud taevaskera pöörlemisest vaatleja meridiaani suhtes.

Kaart  $Aq$ , mida mõõdetakse mööda taeva-ekvaatorit kellaosuti liikumise suunas, alates vaatleja meridiaanist kuni deklinatsiooniringini, mis läbib punkti  $M$ , nime-



Joon. 116. Ekvaatoriline koordinaatide süsteem.

Joonisest nähtub, et  $s = t + a$ , kus  $t$  ja  $a$  on võetud ühe ja sama punkti kohta. Nii siis:

Täheaeg mõnesugusel momendil võrdub millise tahes taevakeha otsetõusuga pluss tema tunninurk.

On ilmne, et täheaeg  $s = 0$  kevadpunkti ülemise kulminatsioonimomendil.

tatakse antud punkti tunninurkaks  $t$ ; ta väljendatakse ajas.

Kevadpunkt, samuti kui iga teinegi taevaskera punkt omab antud vaatleja suhtes tunninurka, mis muutub ühtlaselt ajas.

Kevadpunkti tunninurka nimetatakse täheajaks (tähistatakse tähega  $S$ ). Joonisel 118 on ta kujutatud kaarega  $Aq\gamma$ .

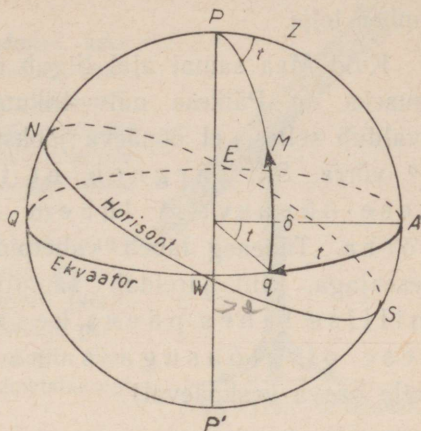
Astronoomilistes observatooriumides on kellad, mis käivad täheaja järgi ja näitavad 0 tundi 0 min. 0 sek. kevadpunkti ülemise kulminatsiooni momendil.

Et taevakeha ülemise kulminatsiooni momendil tema tunninurk  $t=0$ , siis selle taevakeha puhul

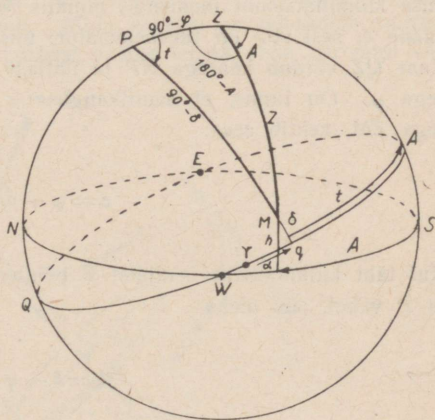
$$s = \alpha,$$

s. o. täheaeg võrdub nende taevakehade otsetõusuga, mis sellel momendil asuvad ülemises kulminatsioonis. See tähtis reegel on vaja meelles pidada ka veel teises sõnastuses: iga taevakeha on ülemises kulminatsioonis täheaja momendil, mis võrdub selle taevakeha otsetõusuga.

Tähe-ööpäevaks nimetatakse ajavahemikku kevadpunkti kahe teineteisele järgneva ülemise kul-



Joon. 117. Tunninurk.



Joon. 118. Seos ekvaatoriliste ja horisondiliste koordinaatide süsteemide vahel.

minatsioonid vahel. Pole raske taibata, et see on ajavahemik, mille jooksul Maa üks kord täielikult pöörduv ümber telje.

Kuid Maa samal ajal liigub ümber Päikese, mille tulemuseks on Päikese näiv liikumine mööda ekliptikat. Ta avaldub selles, et ööpäeva jooksul Päike nihkub ligikaudu  $10^{\circ}$  võrra. Siit järgneb, et tähe-ööpäev on päikese-ööpäevast lühem ligikaudu 4 minuti võrra. Täheaeg läheb vahetpidamata ette, võrreldes päikeseajaga. Siit järeldub samuti ka see, et täheaeg millise tahes päeva keskpäeval võrdub Päikese otsetõusuga samal päeval (täpsemalt — selle päeva keskpäeval).

§ 130. Taevakehade seniitkaugus nende kulminatsiooni momendil. Taevakeha seniitkaugust antud kohas tema ülemise kulminatsiooni momendil, kui tema kääne on teada, võib arvutada lähtudes järgmistest arutlustest. Joonisel 115 on kujutatud taevaskera. Olgu taevakeha ülemise kulminatsiooni momendil punktis  $M$ . Siis kaar  $QM$  on taevakeha kääne  $\delta$ , sest  $AQ$  on taevaekvaator, mis on risti maailma teljega  $PP'$ . Kaar  $QZ$  võrdub kaarega  $NP$  ja ühtlasi võrdub koha geograafilise laiusga  $\varphi$ . On ilmne, et seniitkauguse  $z$  kohta, mis on kujutatud kaarega  $ZM$ , kehtib seos:

$$z = \varphi - \delta.$$

Kui täht kulmineeriks seniidist  $Z$  põhja pool, s. o. punkt  $M$  osutuks  $Z$  ja  $P$  vahel, siis oleks

$$z = \delta - \varphi.$$

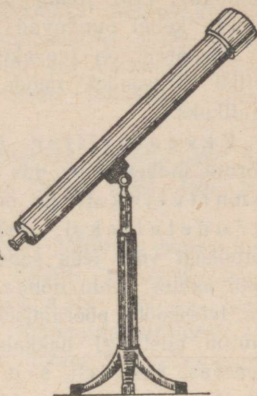
Need kaks valemit võimaldavad ette määrata taevakeha seniitkaugust ülemise kulminatsiooni momendil, kui on teada kääne ja koha geograafiline laius  $\varphi$ .

Selles paragrahvis kirjeldatud arvutus osutub lihtsaimaks näiteks taevaste nähtuste ettemääramiseks (ettearvutamiseks), astronoomia aga, nagu teada, on kuulus oma ettearvutuste täpsusega.

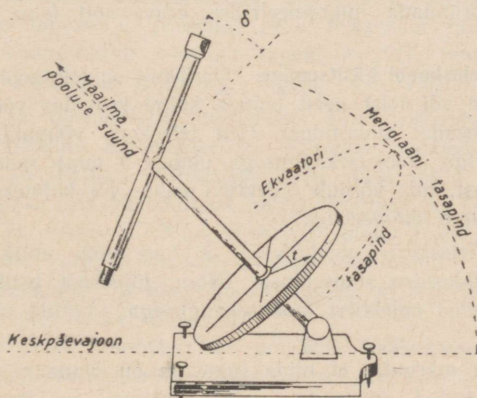
§ 131. Teleskoopide ülesseadmise kaks meetodit. Me nägime, et on olemas kaks taevaste koordinaatide süsteemi: horisondiline (taevakeha kõrgus ja asimuut) ja ekvaatoriline (kääne ja otsetõus). Vastavalt sellele esineb kaks meetodit ka teleskoopide ülesseadmisel alustele.

Asimutaalse ülesseadega alus (joon. 119) võimaldab pöörata toru liigendis (šarniiris) üles ja alla, s. o. kõrguti (vertikaalses tasapinnas), ja ümber püsttelje paremale ja vasakule, s. o. asimutaalselt. Seejärest niisugust ülesseadet nimetataksegi asimutaalseks.

Et taevakehad liiguvad horisondi suhtes kaldu ja seejuures pidevalt muutub nende kõrgus kui ka asimuut, siis asimutaalselt ülesseatud teleskoopi tuleb mõne taevakeha vaatlusel peaaegu pidevalt, vahetpidamata nihutada nii kõrguselt kui ka asimuudilt, s. o. teostada temaga kaks liikumist peaaegu üheaegselt. Mida suurem on teleskoobi suurenus, seda väiksemat osa taeva pinnast näeme temas, seda kiiremini väl-



Joon. 119. Teleskoobi asimutaalne ülesseade.



Joon. 120. Teleskoobi ekvaatoriline ülesseade.

jub taevakeha teleskoobi vaateväljast ja seda sagedamini tuleb nihutada teleskoopi, et taevakeha oleks veel nähtav okulaaris. See on väga ebamugav, eriti juhul, kui teleskoobiga tahavad vaadata järjest mitu inimest, kellel puuduvad kogemused tema käsitlemisel.

Seepärast on taevakehade vaatlemiseks mugavam kasutada ekvaatorilist ülesseadet, nende fotografeerimiseks aga osutub ta tingimata vajalikuks.

Ekvaatorilise ülesseadega alus võimaldab teleskoopi pöörata ümber telje, mis on asetatud maailma telje suunas (nimetatud tunniteljeks), ja ümber talle perpendikulaarse telje (nimetatud käändeteljeks). Selline seade on kujutatud joonisel 120 ja põhimõtteliselt võib teda saada asimutaalsest, kui viimase telg seada horisondi suhtes kaldu nõnda, et ta oleks suunatud maailma pooluse poole. Siis teleskoobi pööramisel ümber tunnitelje (milleks selle kalde puhul muutub püsttelg) hakkab pikksilma optiline telg kujutama taevakeha ööpäevast paralleeli, s. o. ringi, mille tasapind on rööpne taeva ekvaatori tasapinnale.

Kui selliselt ülesseatud teleskoopi juhtida mõnele taevakehale, siis pole enam vajadust pöörata teda ümber käändetelje, jääb üle pöörata teda ainult ümber tunnitelje ja seejuures ühtlase kiirusega. Selle pöörlemise mugavaks ja sujuvaks teostamiseks kasutatakse erilist, nn. mikro-meetrilist kruvi. Suurte teleskoopide pööramist teostatakse kellamehhanismiga. Kellamehhanism pöörab teleskoopi kiirusega üks ring ööpäevas (15<sup>o</sup> tunnis), nii et taevakeha püsib kogu aeg okulaari vaateväljas. Vaatlejal tuleb ainult vahete-vahel reguleerida kellamehhanismi käiku või parandada mikromeetrilise kruvi abil tema töötamise ebaühtlust.

**§ 132. Teleskoobi käsitlemine.** Harilikult on teleskoobiga kaasas mitu okulaari. Ühte või teist neist temale külge kruvides võib saada suuremat või väiksemat suurendust. Hea teleskoop võimaldab kõige võimsama okulaariga (fookusekaugusega umbes 5 mm) saada kõige suuremat suurendust, mis võrdub objektiivi kahe- või kolmekordse millimeetrites väljendatud diameetriga.

Näiteks teleskoop objektiiviga 50 mm võib anda kõige rohkem 100- kuni 150-kordse suurenduse. Nagu füüsikast teada, võrdub teleskoobi suurendus objektiivi fookusekaugusega, jagatud okulaari fookusekaugusega.

On kerge märgata, et mida tugevam on okulaar ja mida suurem on temaga saadud suurendus, seda väiksem on tema abil nähtav vaateväli. Suurenduste puhul 30—50 korda paistab Kuu vaateväljas

tervikuna. Suurenduse puhul 150 korda mahub vaatevälja ainult osake Kuust, kuid on näha juba rohkem üksikasju.

Mida suurem on suurendus, seda märgatavamaks muutuvad objektiivide valmistamise puudused ja õhu voolud atmosfääris. Selle tagajärjel paistavad üksikasjad taevakehadel halvemini kui väiksema suurenduse puhul ja seetõttu ei tule püüelda väga suuri teleskoobi suurendusi.

Et veenduda teleskoobiga saadavas suurenduses, soovitatakse üheaegselt vaadelda Kuud ühe silmaga otseselt, teisega aga läbi teleskoobi.

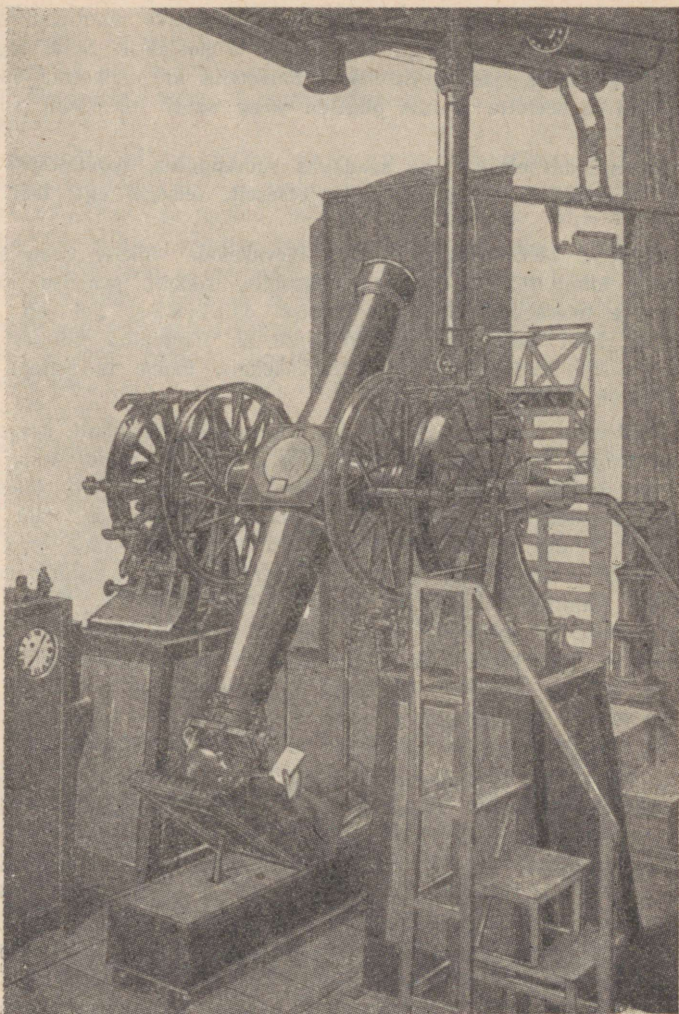
Selleks, et oleks kergem juhtida taevakehale väikese vaateväljaga teleskoopi, kinnitatakse suurele teleskoobile, rööbiti peamise toruga, teine väike teleskoop, mida nimetatakse *otsijaks*. Sel on väike suurendus, kuid suur vaateväli, millesse on tõmmatud niitidest rist. Juhtides otsija niitide lõikepunkti taevakehale, toome ta sellega peateleskoobi vaatevälja.

Ekvaatorilise statiivi telgede otsa asetatakse harilikult kraadideks jagatud ringid, mis näitavad selle tähe käänet ja tunninurka, mille järgi on sihitud teleskoop. Kasutades neid ringe võib teleskoobi juhtida taevakehale, mis pole otsijas nähtav. Selleks on vaja tähekaardi või teatmik-käsiraamatu järgi teada taevakeha kääne  $\delta$  ja otsetõus  $\alpha$  ning arvutada, milline on täheaeg vajalikul vaatlusmomendil. Taevakeha tunninurga määrame valemi põhjal  $t = s - \alpha$ . Seame teleskoobi nõnda, et tunnitelje jaotustega ringi osuti näitaks lugemist suurusega  $t$  (teleskoobi pealejuhtimise momendil), käändetelje ringi osuti aga näitaks lugemist  $\delta$ . Muidugi peab teleskoobi juhtimisel maailma poolusele käänderingil esinema lugem  $\delta = 90^\circ$ , tema asetumisel aga meridiaani tasapinda tunniringi lugem peab võrduma  $0^\circ$ .

Udukogude ja täheparvede vaatlemisel tuleb rakendada okulaare, mis annavad väiksema suurenduse ja suurema vaatevälja. Päikese, Kuu, planeetide ja tähtede vaatlemisel tuleb võtta mitte suurim, vaid parim suurendustest, mis on võimalik antud tingimustes. Tuleb kindlasti meeles pidada, et mõnikord Maa õhkkonna olukord ei luba selgesti vaadelda taevakehi isegi mõõdukate suurenduste puhul.

Komeedid, udugogud ja isegi nõrgad tähed on kuuvalgusel nähtavad halvasti või pole üldse nähtavad.

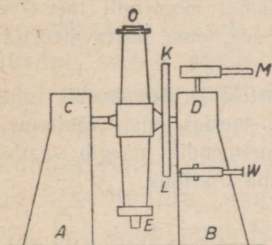
**§ 133. Taevakehade koordinaatide praktilise määramise viisid.** Kui teada taevakehade ekvaatorilisi koordinaate, mis ei sõltu vaatleja asendist Maa peal ega kellaajast, võib neid kanda nimestikesse (kataloogidesse) ja kujutada nende taevakehade asendid taevakaardil. Kuid



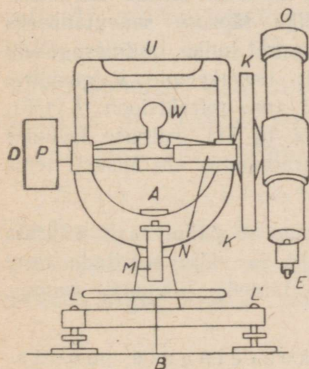
Joon. 121. Meridiaaniring.

kuidas määrata neid koordinaate praktiliselt, kuidas neid mõõta vaatluste teel?

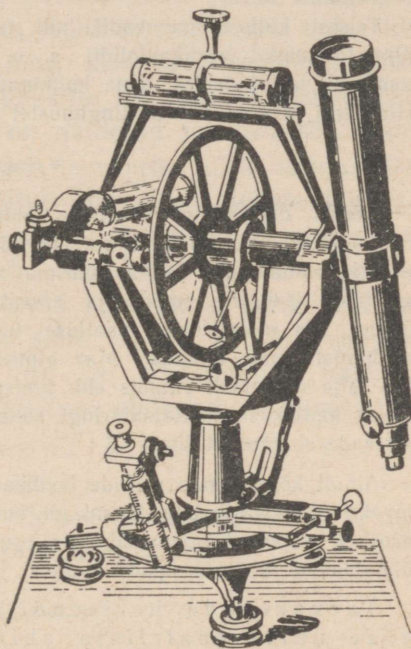
Näib võimalikuna, et taevakehade ekvaatoriliste koordinaatide määramiseks võib rakendada teleskoopi, mis on üles seatud ekvaatoriliselt ja varustatud osadeks jaotatud ringidega. Siis tarvitseks ainult



Joon. 122. Meridiaaniringi skeem.



Joon. 123. Universaalriista skeem.



Joon. 124. Universaalriist.

juhtida teleskoop taevakehale ja vaadata, milliseid  $t$  ja  $\delta$  lugemeid osuti näitab ringidel. Kuid sel viisil ei saa koordinaate määrata küllalt täpselt. Selleks otstarbeks kasutatakse observatooriumides teisi riistu, milledest peamiseks osutub nn. meridiaaniring (joon. 121 ja 122).

Meridiaaniringiks nimetatakse suure, väga täpselt jaotatud ringiga teleskoopi. Ta on pandud rõhtteljele, mis on üles seatud kahel monumentaalsel sambal ida-lääne suunas. Ring ja temaga ühen-

datud teleskoop asuvad seetõttu alati meridiaani tasapinnas, millest riist ongi saanud oma nimetuse.

Kui teleskoop, mida saab pöörata meridiaani tasapinnas, on juhitud seniiti, näitab jaotusringi osuti  $0^{\circ}$ . Meridiaaniringi teleskoopi võib suunata igale taevakehale tema kulminatsiooni momendil. Lugem ringil näitab tema seniitkaugust  $z$  sel momendil. Samal momendil taevakeha kääne  $\delta = \varphi - z$ , kus  $\varphi$  on vaatlajale tuntud — tema observatooriumi geograafiline laius.

Teisest küljest, momendil, mil taevakeha läbib teleskoobi vaatevälja tõmmatud vertikaalniidi, s. o. tema meridiaanist läbimineku momendil, teisiti öeldes, tema kulminatsiooni momendil, märgib vaatlaja kella järgi täheaja  $s$ . Neil tingimustel taevakeha otsetõus

$$\alpha = s.$$

Nõnda määratakse vaatluste abil meridiaaniringiga taevakehade horisondilised koordinaadid, millede järgi arvutatakse nende ekvaatorilised koordinaadid  $\delta$  ja  $\alpha$ . Suurima võimaliku täpsuse saavutamiseks aga tuleb seejuures uurida ja arvestada suurt hulka mitmesuguseid põhjusi, mis moonutavad vaatluse tulemusi: taevakehade valguskiirte niurdumist nende läbimisel Maa atmosfäärist (nn. refraktsioon; § 135), Maa telje nihkumist ruumis ehk pretsessiooni (§ 51), valguse levimise kiiruse lõplikkust, meridiaaniringi ehituse paratamatut ebatäpsust, tema ülesseade ebatäpsust jne.

Ainult kõigi nende mõjude hoolika arvestamise puhul saab määrata taevakehade koordinaate täpsusega kuni  $0'',01$  ja välja selgitada need äärmiselt väikesed muutused, mis osutavad tähtede liikumist ruumis, võimaldavad määrata nende kaugusi jms.

Taevakehade horisondilisi koordinaate mõõdetakse universaalriista abil, mida nimetatakse ka teodoliidiks (joon. 123 ja 124). Teodoliidiks nimetatakse asimuutalse ülesseadega väikest pikksilma, mis on varustatud jaotatud ringidega, taevakehade kõrguse ja asimuudi lugemi saamiseks. Lugemite tegemise hõlbustamiseks näitavad osutid: vertikaalringil  $0^{\circ}$  toru rõhtasendis (mida kontrollitakse vesiloe abil) ja rõhtringil  $0^{\circ}$ , kui toru on suunatud meridiaani tasapinnas lõunasse.

Taevakehade horisondilisi koordinaate mõõdetakse ainult mitmesuguste punktide geograafiliste koordinaatide määramiseks Maa peal, mis nõuab riista viimist ühest kohast teise. Seepärast tehakse teodoliidid portatiivsetena, hõlpsasti kantavana.

Lennuasjanduses ja meresõidul kasutatakse selleks otstarbeks teodoliidi asemel teisi riistu (vt. § 150).

**§ 134. Atmosfääriline refraktsioon** on valguse murdumine Maa atmosfääris, mis moonutab taevakehade näivat asendit taevaskeral. Taevakehade valgus sattudes õhuta ruumist Maa atmosfääri, murdub selles. Mida lähemale maapinnale jõuab valguskiir, seda tihedamaid õhukihte ta kohtab, murdudes neis ikka tugevamini ja tugevamini ning lähenedes seejuures püstsuunale. Selle tagajärjel valguskiire tee Maa õhkkonnas osutub kõverdunuks, nagu see on näidatud joonisel 125. Vaatleja, kes asub punktis  $M$ , näeb taevakeha mitte suunas  $MA$ , vaid suunas, mis on määratud puutujaga sellele kõverale  $AM$ , mida mööda liiguvad kiired refraktsiooni tõttu. Tõeliselt suund, milles vaatleja näeb taevakeha, on see suund, milles kiired taevakehast satuvad talle silma; punktis  $M$  aga kõverjoonelise kiire suund on selle kõvera puutuja suunaks punktis  $M$ . (Meie joonisel on tee kõverdumine näidatud ainult ühe kiire puhul, näitlikkuse otstarbel — liialdatult.)

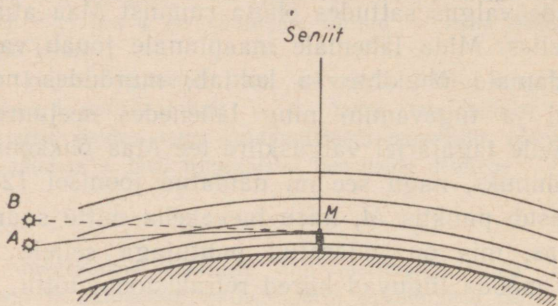
Nii siis, refraktsiooni tõttu näivad taevakehad seniidile lähemal, kui nad on tõe-poolset. Kui taevakeha tõeline seniitkaugus on  $z$ , näiv seniitkaugus aga  $z'$ , siis refraktsiooni suurus

$$q = z - z'.$$

Vaatlustel mõõdetud taevakehade seniitkaugused tuleb parandada (korrigeerida) refraktsiooni mõju suhtes. Kui taevakeha on seniidis, siis on ta refraktsioon null, kuid ta kasvab kiiresti taevakeha lähenedes horisondile ja päris horisondil ulatub 35'-ni.

Refraktsiooni tõttu taevakehad, nende hulgas ka Päike, tõusevad varem ja loojuvad hiljem, kui see järgneb ettearvestusest.

Siit järeldub näiteks, et võrdpäevsuste ajal, mis defineeritakse kui Päikese taevaekvaatoril olemise momendid, on päev tegelikult ööst pikem. Refraktsiooni suuruse tunduva erinevuse tõttu Kuu ja Päikese ketta ülemisel ja alumisel äärel, kui nad on horisondi läheduses, paistavad nad lapikutena.



Joon. 125. Atmosfääriline refraktsioon.

XVII peatükk.

## Aja mõõtmine.

§ 135. Tõeline päikeseaeg. Inimeste tööaja jaotus on seotud päeva ja öö vaheldusega ning seepärast määratakse igapäevases elus aega Päikese asendi järgi taevaskeral.

Tõeliseks keskpäevaks nimetatakse Päikese ketta keskpunkti ülemise kulminatsiooni momenti. Tõeliseks päikese-ööpäevaks nimetatakse ajavahemikku Päikese nähtava ketta keskpunkti kahe ülemise kulminatsiooni vahel. Tõelise päikese-ööpäeva alguseks võetakse keskpäev.

Tõeline päikeseaeg võrdub Päikese tunni-  
nurgaga.

Tõeliste päikese-ööpäevade kestus muu-

tub' aasta jooksul Maa ebaühtlase liikumise tõttu mööda orbiiti ja Maa ekvaatori kalde tõttu selle orbiidi suhtes.

Maapinna antud punkti asend Päikese suhtes määratakse nii Maa pöörlemisega ümber telje (mis maailma-ruumi suhtes toimub ühtlaselt) kui ka Maa ringlemisega mööda orbiiti (mis Kepleri teise seaduse järgi toimub ebaühtlaselt). Talvel, periheeli läheduses, on Maa liikumine kiirem, suvel, afeeli läheduses, on ta aeglasem.

Kuid isegi siis, kui Maa ringlemine mööda orbiiti toimuks mööda ringjoont, mitte aga mööda ellipsit, ja ühtlaselt, siis temaga liitunud Maa pöörlemine ümber telje, mis pole ristne ekliptika tasapinnaga, ikkagi tekitaks mõnesuguse Maa pöörete ebaühtluse Päikese suhtes.

Mõlema näidatud põhjuse koosmõjul tõeliste päikese-ööpäevade kestus muutub aasta jooksul väga keerukalt. Ükski mehaaniline kell ei saa käia täpselt Päikese järgi.

**§ 136. Päikese kell.** Tõelist päikeseaega võib näidata ainult päikese kell. See kujutab endast varba või nurka, mille vari kellaosutina nihkub mööda numbrilauda. Piki seda varju numbrilaual on teatud kellaaegadel tõmmatud jooned ja nende joonte kõrvale on kirjutatud vastavad tunniajad.

Päikesekellasid on mitmesuguseid tüüpe, kuid nende varb peab alati olema suunatud maailma poolusele.

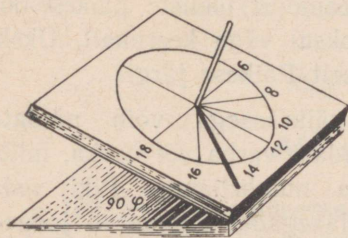
Ekvaatorilist päikese kella (joon. 126) valmistada on kõige lihtsam. Selleks võtame laua ja joonestame temale keskelt igale poole lähtuvad jooned niiviisi, et naaberjooned moodustaksid nurga  $15^{\circ}$ , ning kirjutame joonte juurde kell 12, 1, 2 jne. Nende joonte lõikepunktis kinnitame risti lauaga varva, mis läbib lauda.

Asetades varvaga laua kaldu horisoni suhtes nurgi  $90^{\circ} - \varphi$ , kus  $\varphi$  on vaatluskoha geograafiline laius, kinnitame ta nõnda, et kl. 12 märgitud joon laual oleks just keskpäevajoone kohal. See määratakse kindlaks päikese kella ülesseadmise kohal juba varem, nõnda nagu see oli kirjeldatud paragrahvis 10.

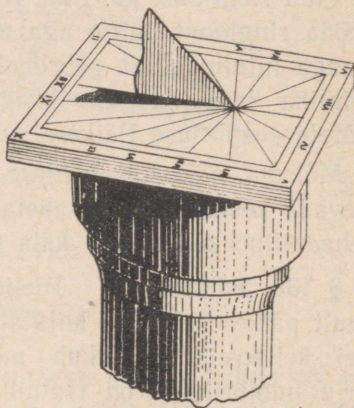
Horisoniline päikesekell (joon. 127) on selles suhtes parem. Võtame laua ja seame temaga risti kolmnurga, teravnurgaga, mis võrdub koha laiusega  $\varphi$ . Kolmnurga aluse pikendusena tõmbame joone ja kirjutame selle kõrvale kl. 12. Teistele kellaegadele vastavad jooned, sõltuvalt geograafilisest laiusest, tõmbame nurgi  $x$  selle joone suhtes, arvutades neid  $x$ -i väärtusi valemi põhjal

$$\tan x = \sin \varphi \tan t,$$

kus  $t$  asemele, mis võrdub 1, 2, 3 jne. tunniga, võtame  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  jne. Nurgad  $x$  üksteisele järgnevate kellaegade vahel ei võrdu  $15^{\circ}$ -ga nagu



Joon. 126. Ekvaatoriline päikesekell.



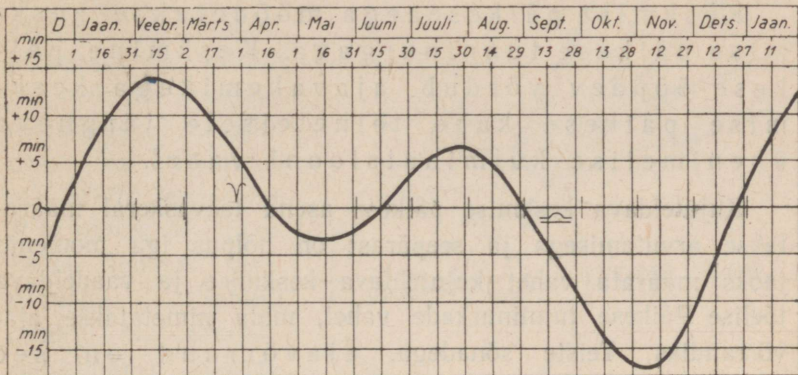
Joon. 127. Horisoniline päikesekell.

ekvaatorilises tähekellas, sest Päikese tunninurga  $t$  ühtlasel muutumisel varva vari rõhtsale tasapinnale nihkub ebaühtlaselt.

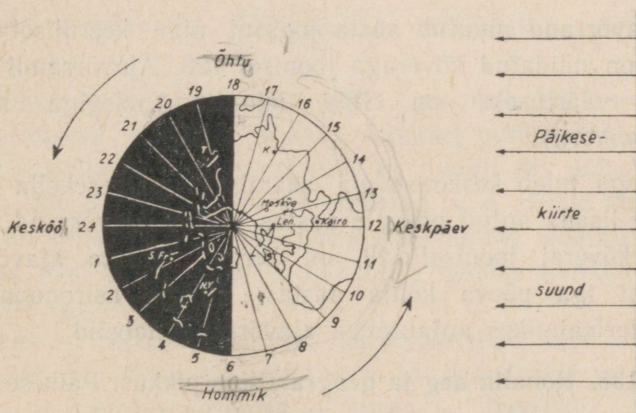
Horisonilise päikesekella numbrilaua keskpäevajoon tuleb samuti seada põhi-lõuna suunas.

**§ 137. Keskmine päikeseaeg ja ajavõrrand.** Tõeliste päikese-ööpäevade mittevõrdsus aasta erinevail aegadel takistab tõelise päikeseaja kasutamist. Seepärast kasutatakse praktikas nn. keskmist päikeseaega, mis kulgeb täiesti ühtlaselt.

Selliste kellade ebamugavus on selles, et 23. septembrist kuni 21. märtsini varva vari langeb numbrilauale altpoolt.



Joon. 128. Ajavõrrandi graafik.



Joon. 129-a. Kohalik aeg eri meridiaanidel.

Selleks otstarbeks kujutletakse mõnda punkti, mis ühtlaselt liigub mööda ekvaatorit ja teeb temal ühe ringi sama aja kestel, mille jooksul ebaühtlaselt liikuv Päike soori-

tab oma ringi mööda ekliptikat. Seda punkti nimetatakse keskmiseks päikeseks.

Keskmist päikeseaega mõõdetakse keskmise päikese tunninurgaga. Keskmise päikese-ööpäev võrdub ajavahemikuga keskmise päikese kahe teineteisele järgneva ühenimelise kulminatsiooni vahel.

Kujuteldava keskmise päikese asend taevaskeral määratakse arvutamisega ja seepärast on hõlpus iga momendi jaoks määrata vahet kujuteldava keskmise ja vaadeldava tõelise Päikese tunninurkade vahel, mida nimetatakse ajavõrrandiks. Teiste sõnadega, ajavõrrand on see algebraline suurus, mis tuleb liita (tema märgiga pluss või miinus) tõelise ajaga, et saada keskmist aega.

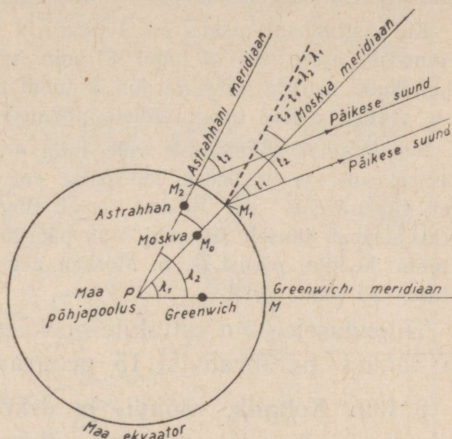
Ajavõrrand muutub aasta jooksul õige keerulisel viisil, nagu on näidatud kõveraga joonisel 128. Ajavõrrandi suuri- maks väärtuseks on  $16\frac{1}{2}$  minutit (märgiga miinus, 3. novembril).

Seega tuleb keskmise aja saamiseks päikesekella näitamisele lisada antud päevale aastas vastav ajavõrrand. Kasutades kõverat joonisel 128, on kerge määrata ajavõrrandi suurust iga päeva kohta aastas. Kõigis astronoomilistes kalenderteatmikes antakse ka ajavõrrandi tabelid.

**§ 138. Kohalik aeg ja geograafiline pikkus.** Päikese tunninurgaga määratav aeg on erinev kohtades, mis asetsevad Maa eri meridiaanidel, ja nimetatakse seepärast kohalikuks ajaks.

Joonisel 129-b on kujutatud maakera, vaadatuna Maa telje suunas põhjapooluselt.

Olgu  $M$  Maa ekvaatori punkt Greenwichi meridiaanil, millest mõõdetakse geograafilist pikkust. Olgu  $M_1$  Maa ekvaatori punkt, mis asetseb meridiaanil pikkusega  $\lambda$ . Punkti  $M_0$  (näiteks Moskva) meridiaani tasapinnaks on tasapind, mis läbib Maa telge  $P$  ja punkti  $M_0$ ; ta on ristne joonise tasapinnaga. Samuti punkti  $M_2$  (näiteks Astrahhani) meridiaani tasapinnaks on tasapind, mis läbib  $PM_2$ , samuti risti joonise tasapinnaga. Nurgaga  $\lambda_2$  määratakse punkti  $M_2$  pikkus.



Joon. 129-b. Kohalik aeg ja pikkus.

Päikese tunninurk, nagu teada, on nurk Päikese suuna ja meridiaani tasapinna vahel. Joonisel punktide  $M_0$  ja  $M_1$  puhul võrdub Päikese tunninurk  $t_1$ , punkti  $M_2$  puhul on ta aga  $t_2$ . Me näeme, et nad on erinevad, s. o. nende kohalikud ajad on erinevad. Ta on ühesugune ainult kohtades, mis asuvad ühel ning samal meridiaanil, näiteks punktis  $M_1$  ja punktis  $M_0$ .

Punktist  $M_1$  on tõmmatud katkeline joon, mis on rööbitine  $PM_2$ -ga. Suunaga Päikesele ta moodustab nurga  $t_2$ , punkti  $M$  meridiaaniga aga — nurga  $\lambda_2$ . Järelikult

$$t_2 - t_1 = \lambda_2 - \lambda_1,$$

s. o. kohalikud ajad kahes punktis Maa peal erinevad niisama palju, kui palju erinevad nende punktide pikkused.

Kui Moskva pikkus Greenwichi suhtes võrdub  $37\frac{1}{2}^{\circ}$ , s. o. 2 tundi 30 min. ida poole, siis ühel ja samal momendil Moskva kohalik aeg on suurem Greenwichi kohalikust ajast samuti 2 tundi 30 min.

Kui Astrahhani pikkus on 3 tundi 12 min., siis on Astrahhani aeg Greenwichi ajast ees 3 tunni 12 min. võrra. Astrahhani ja Moskva kohalikkude aegade vahe võrdub 3 tundi 12 min. — 2 tundi 30 min., s. o. võrdub nende geograafiliste pikkuste vahega.

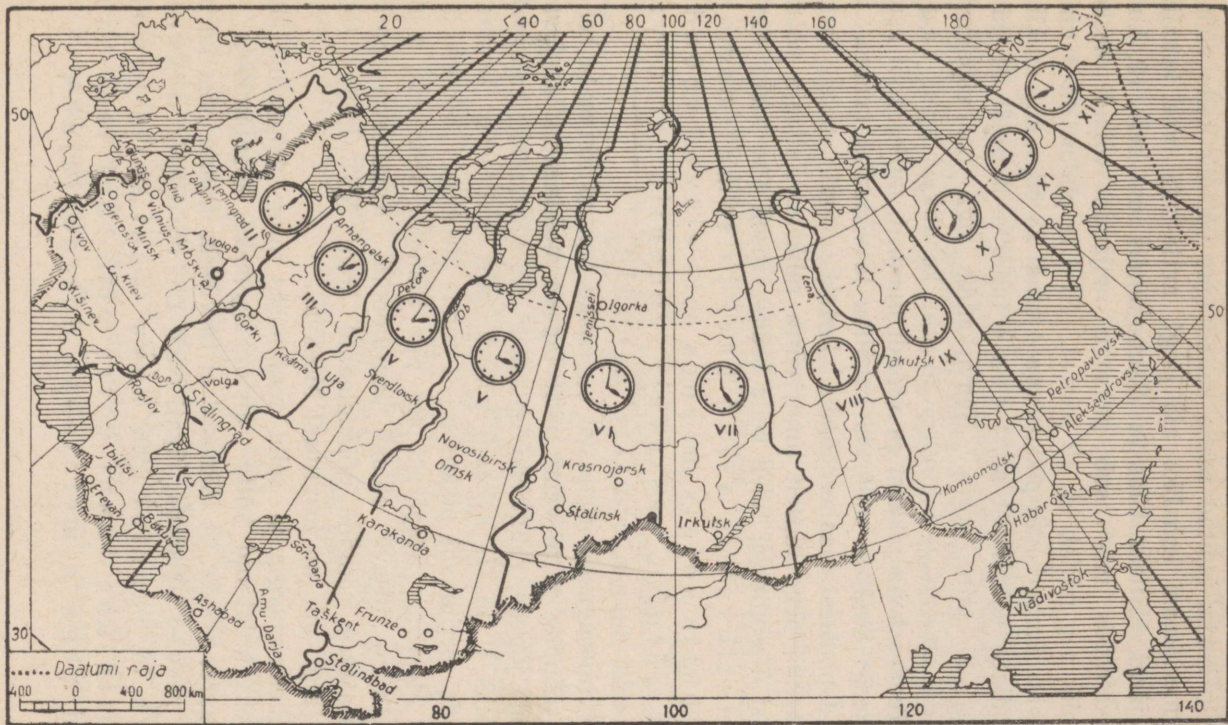
Sellelesamale järeldusele võib tulla eeldades, et Moskvas on keskpäev ( $t=0$ ), ja arutledes, kui palju aega pärast seda saabub keskpäev Greenwichis, kui Moskva  $\lambda=2$  tundi 30 min. Keskpäev Greenwichis saabub ilmselt siis, kui Maa pöörduv nurga  $\lambda$  võrra, mis toimub 2 tunni 30 min. pärast, s. o. Moskva aeg osutub Greenwichi ajast ees 2 tundi 30 min. võrra.

Täienduseks siin esitatule on kasulik meenutada seda, mis on öeldud paragrahvis 15 geograafilistest koordinaatidest.

**§ 139. Kohalik, vööndi- ja dekreediaeg.** Praegusel ajal toimub ööpäevade arvestus üldreeglina keskööst alates. Sellisel aja arvestusel (vahel nimetatud ka kodanlikuks) on kellaaeg 12 tunni võrra suurem, kui arvestades aega keskpäevast alates.

Kui kasutada eespool kirjeldatud kohalikku ajaarvestust, siis kohtades, mis pisutki erinevad pikkuselt, tuleb aega lugeda juba natuke erinevaks. See tekitab palju ebamugavusi.

NSV Liidus, samuti kui enamikus osas maadest, on võetud tarvitusele nn. vööndiaeg, mis seisab järgmises. Kogu maakera pind on meridiaanidega jaotatud 24-ks vööndiks (joon. 130), nii et meridiaanid — iga vööndi piirid — on üksteisest eemal  $15^{\circ}$ , s. o. 1 tunni võrra. Järelikult vööndi äärtes erineb kohalik aeg vööndi keskkoha kohalikust ajast poole tunni võrra. Algvööndi keskmeridiaaniks, mida nimetatakse nullmeridiaaniks, on Greenwichi meridiaan. Järgmist idapoolset vööndit nimetatakse esimeseks jne.



Joon. 130. Kellaegade vöõndid NSV Liidus.

On kokku lepitud seada kellad igas vööndis selle vööndi keskmeridiaani kohaliku aja järgi, mitte aga oma kohaliku aja järgi. Näiteks Ufas ja Samarkandis on kell 12, kuna Sverdlovskis, mis asub peaaegu neljanda vööndi keskel, kohalik aeg näitab kl. 12 päeval. Et Ufa pikkus on 3 tundi 44 min., Samarkandi pikkus aga 4 tundi 28 min., siis on Ufas vööndiaeg kohalikust ajast ees 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, milles koht asub, on kerge kindlaks määrata kohaliku ja vööndiaja vahet.

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

Mitmesugustel põhjustel on kokku lepitud tõmmata kellaaja vööndite piirid vahel mitte täpselt mööda meridiaani, vaid mööda jõgede, raudteede, oblastite jne. loomulikke rajajooni. Näiteks II ja III kellaaja vööndi piir, kui teda tõmmata mööda meridiaani pikkusega 2 tundi 30 min., lõikaks just läbi Moskva. Seepärast see piir taandub pisut ida poole, sisestades Moskva oblasti idarajoonid. Raudteetranspordis koostatakse rongide sõiduplaanid kogu NSV Liidus selle aja järgi, mis on tarvitusel Moskvast.

Elektrienergia ja selle tootmiseks ning valgustuse otsustavaks kulutatud kütte ratsionaalsemaks kasutamiseks, ja seejuures nõnda, et inimesed ei tarvitseks muuta oma harjunud päevast töökorda, lükati NSV Liidu RKN-i dekreediga 16. juunist 1930 kogu maal kella tunniosutid ühe tunni võrra ette. Sel teel saadud aega nimetatakse dekreediajaks.

Nii siis dekreediaeg võrdub vööndiajaga pluss üks tund.

Sageli on vaja (vt. näiteks § 10) arvutada, millal meie kella järgi, mis näitab dekreediaega, on tõeline keskpäev. Näitame, kuidas seda saab teha tegelikult.

Olgu vaja määrata tõelise keskpäeva moment 6. novembril kella järgi, mis näitab tavalist Saratovis tarvitusel olevat aega ja mille õien-  
dus sel ajal on  $-4$  min. Kaardi abil saame teada, et Saratov asetseb III kellaaja vööndis. Järelikult Saratovis tarvitusel olev dekreediaeg on 3 tundi  $+1$  tund, s. o. 4 tunni 0 min. võrra Greenwichi ajast ees. Saratovi pikkus aga on 3 tundi 4 min. ja seepärast keskmine kohalik Saratovi aeg peab olema Greenwichi ajast ees 3 tunni 4 min. võrra.

Keskmine kohalik aeg Saratovis on ilmselt 4 tundi 0 min.  $-3$  tundi 4 min., s. o. 56 min. võrra dekreediajast taga. Kalendrist või jooni-  
sest 128 saame teada, et ajavõrrand 6. novembril on 16 min., s. o. nii palju tuleb lisada (algebraliselt) tõelisele ajale, et saada keskmist aega.

Tõelisel keskpäeval tõelise päikeseaja järgi on 12 tundi 0 min., keskmise kohaliku aja järgi aga antud juhul 12 tundi 0 min.  $-16$  min. =  $=11$  tundi 44 min. Dekreediaeg on Saratovis keskmisest kohalikust ajast ees 56 min. võrra (vt. eespool) ja järelikult kell, mis käib dekreediaaja järgi, peab tõelise keskpäeva mõmendil näitama 11 tundi 44 min.  $+56$  min. = 12 tundi 40 min. Kuid meie kell Saratovis on tegelikult 4 minutit dekreediajast ees (vt. eespool). Tähendab, lõplikult peab see kell tõelisel keskpäeval näitama 12 tundi 44 min.

**§ 140. Daatumi muutmise raja.** On vaja kokku leppida, millisel Maa meridiaanidest algab uus daatum (kuupäev), kus näiteks esimesena algab Maal 1. jaanuar. Kui sellist joont mitte kindlaks määrata, siis tuleb mitmesuguseid arusaamatusi.

Olgu näiteks praegu Moskvast 1947. a. 1. jaanuari kesk-  
päev. Siis samal momendil Moskvast  $15^{\circ}$  võrra ida pool asetseval meridiaanil on juba kell 1 päeval. Meridiaanil, mis asetseb veel  $15^{\circ}$  ida pool, on kell 2 päeval 1. jaanuaril jne. Pikkusel  $180^{\circ}$  Moskvast ida poole on kell 12 öösel vastu 2. jaanuari, pikkusel  $195^{\circ}$  on kell 1 öösel 2. jaanuaril jne.

Jätkates mõttes liikumist ida poole, peaksime Moskva tagasi jõudes järel dama, et seal on keskpäev 2. jaanuaril, kuigi me algasime oma ülevaadet sellest, et praegu on seal keskpäev 1. jaanuaril. Kui me sooritaksime oma arutlused lähtudes Moskvast lääne poole, siis käies ümber Maa ja jõudes tagasi Moskvasse, järel daksime, et seal on 1946. a. 31. detsembri keskpäev.

Et ei esineks selliseid arusaamatusi, on kokku lepitud, et iga uus daatum, uus kuupäev algab joonel, mis kulgeb Greenwichist 180° eemal oleva meridiaani lähedal — Aasia ja Ameerika vahel. See joon ei lõika kuskil maismaad, vaid läbib Vaikse ookeani tühje kohti. Nii siis uus päev saabub kõige esiti Kamtšatkas, siis Siberis, seejärel Euroopas ja kõige hiljem Aljaskas.

Laeval, mis lõikab daatumi muutuse joone (raja) ida suunas, antakse üks ning sama kuupäev kahele teineteisele järgnevale päevale. Näiteks selle joone üleminekul reedel 13. aprillil on laeval järgmine päev jälle reede 13. aprill. Selle joone läbimisel lääne suunas jäetakse laeval päevade arvestusel üks päev vahele. Näiteks päeva, mis järgneb laupäevale 15. aprillil, nimetatakse esmaspäevaks 17. aprillil. Kui need laevad tulevad sadamasse, siis nende daatumite arvestus ühtib sadama elanike arvestusega.

**§ 141. Seos päikese- ja täheaja vahel. Taevakeha kulminatsiooni moment päikeseaja järgi.** Kevadpunkti ülemise kulminatsiooni momendil võrdub täheaeg 0 tundi 0 min. 0 sek. 21. märtsil on Päike selle punkti läheduses. Seetõttu sellel päeval päikeseaeg peaaegu võrdub täheajaga. Kuna ööpäevas täheaeg jõuab päikeseajast ette ligi 4 minutit (täpsemalt 3 min. 56 sek.), jõuab ta kuus (30 päevaga) päikeseajast ette ligi 2 tundi, aastas aga — täpselt ööpäeva.

Täheaega keskpäeval on hõlpus arvutada:

21. märtsil	0 t. 0 min.
22. märtsil	0 t. 4 min.
23. märtsil	0 t. 8 min. jne.

Selleks, et ligikaudu saada täheaega antud momendil pärast tõelist keskpäeva, tuleb arvutada täheaeg antud kuupäeva keskpäeval ja liita sellega ajavahemik, mis on möödunud keskpäevast kuni antud momendini.

Näitena arvutame täheaja 1. mail kl. 10 õhtul (tõelise päikeseaja järgi). Alates 21. märtsist on möödunud kuni esimese maini 41 ööpäeva, järelikult 1. mai keskpäeval on täheaeg  $41 \cdot 4 \text{ min.} = 164 \text{ min.} = 2 \text{ tundi } 44 \text{ min.}$  Keskpäevast kuni kl. 10-ni õhtul möödus veel 10 tundi, järelikult 1. mail kl. 10 õhtul võrdub täheaeg  $2 \text{ t. } 44 \text{ min.} + 10 \text{ t.} = 12 \text{ t. } 44 \text{ min.}$

Selleks, et saada antud kuupäeval tõelist päikeseaega, mis vastab antud täheajale, tuleb selle momendi täheajast lahutada täheaeg, mis vastab antud kuupäeva keskpäevale.

Näitena arvutame tõelise päikeseaja, mis vastab täheajale 3. juulil kl. 20. Alates 21. märtsist möödus 3. juulini 104 päeva; järelikult 3. juuli keskpäeval on täheaeg  $104 \cdot 4 \text{ min.} = 416 \text{ min.} = 6 \text{ t. } 56 \text{ min.}$ ; 3. juulil kl. 20 täheaja järgi võrdub päikeseaeg  $20 \text{ t.} - 6 \text{ t. } 56 \text{ min.} = 13 \text{ t. } 04 \text{ min.}$  pärast keskpäeva, s. o. kl. 1.04 öösel.

Täheaja ümberarvutamisel kohalikuks keskmiseks päikeseajaks või dekreediajaks, ja ümberpöörduvalt, tuleb arvestada nende erinevust tõelisest päikeseajast. Peale selle tuleb täpsema arvutuse puhul teada, millal just oli Päike antud aastal kevadpunktis (see antakse astronoomilistes kalendrites). Peale selle tuleb arvestada, et täheaeg jõuab päikeseajast ette. (Näiteks päikeseaja 6 tunni jooksul möödub 6 t. 1 min. täheaega.)

Kõigest sellest järgneb, et taevakeha kulminatsiooni momenti, kui on teada tema otsetõus, võib arvutada järgmiselt.

Taevakeha kulminatsiooni moment täheaja järgi

võrdub selle taevakeha otsetõusuga. Et saada antud päeval tema kulminatsiooni momenti päikeseaja järgi, tuleb see täheaja järgi antud moment eespoolkirjeldatud reegli alusel ümber arvutada päikeseaja momendiks.

Meid huvitava taevakeha otsetõusu võib teada saada mõnesuguse teatmiktoose järgi või määrata teda tähekaardi või täheglõobuse abil, kasutades neile joonestatud koordinaatide võrku.

Kasutades eelmise näite arvulisi andmeid, oleks näiteks võinud arvutada, et täht otsetõusuga  $\alpha = 20$  tundi kulmineerib 3. juulil kl. 1.06 öösel.

§ 142. **Õige aja teenistus.** Õiget aega on vaja teada kõigil asustistel, tehastel, telegraafil, transpordil ja üksikuil kodanikel. Kellade ebatäpsusest ja kooskõlastamatusest raudtee eri jaamades võivad tulla rongide kokkupõrked. Nimetatud „õige aja tarvitajad” peavad teadma aega täpsusega kuni 1 minutini ja selle täpsusega nad harilikult kontrollivad oma kellasid.

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 nõuavad kõige täpsemat kellade kontrollimist ja seejuures mitu korda ööpäevas, sest milline tahes 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, tähetornides tähtede vaatluste abil, täpsemalt öeldes, see seisab tähetorni kella õienduses. Ükski kell ei saa kunagi näidata aega täiesti täpselt. Seepärast astronoomid määravad oma kella õienduse, s. o. selle suuruse, mis tuleb algebraliselt liita nende kella näitamisega, et saada õiget aega.

Seda võib teha näiteks nõnda. Erilise liikumatu teleskoobiga, mille vaatevälja on tõmmatud ämblikuvõrguniit, mis on seatud täpselt meridiaani tasapinda, vaadeldakse tähe ülemist kulminatsiooni. Moment, millal täht oma ööpäevase liikumise tõttu läbib niidi teleskoobi vaateväljas, märgitakse täheajaga näitava kella (tähekella) järgi. Kulminatsi-

ooni moment täheaja järgi peab võrduma selle tähe otsetõusuga, mis juba varem oli teada. Selle ajamomendi ja kella tegeliku näitamise vahe ongi kella õienduseks.

Täheaga on kerge ümber arvutada päikeseajaks, mida tehaksegi astronoomide-mittespetsialistide vajadusteks. (Aja määramine Päikese enda vaatlustest on vähem täpne, päikesebella väikesest täpsusest ei maksa kõneldagi.)

Oige aja säilitamine seisab võimalikult sagedases tähetorni ühe ja sama (peamise) kella õienduse määramises ja kella käigu uurimises — kuivõrd see kell ööpäeva jooksul läheb ette või jääb taha. Kella õienduse (kella käigu) muutust püütakse teha võimalikult väikeseks, milleks kella pendel paigutatakse kinnisesse kuplisse, milles säilitatakse püsiv madaldatud rõhk. Kell paigutatakse sügavasse keldrisse, kus temperatuuri aastakõikumised on väikesed. Tänu viimasele asjaolule pendli pikkus (mis mõjutab kella käiku) peaaegu ei muutu.

Oiget aega antakse raadiojaamade kaudu edasi automaatselt sel teel, et tähetorni kella pendel lülitab elektrivoolu häälesignaali andvas riistas. Neid raadio ajasaateid toimetatakse NSV Liidu ja teiste maade mitme raadiojaama poolt kindlal kokkulepitud kellaajal. NSV Liidu suurte raadiojaamade poolt antakse edasi aega täpsusega umbes 0,1 sek. kahe pika eelsignaali ja ühe lühikese häälesignaali näol, mis märgib kindlat ajamomenti. Suurema täpsusega antakse ajasignaale edasi raadiotelegraafi jaamade poolt keerukamate reeglite alusel.

Tähetornid võrdlevad oma õige aja määramisi teiste tähetornide määramistega, mille kaudu vastastikku kontrollivad oma tööd.

**§ 143. Troopiline ja kalendriaasta.** Kalendriks nimetatakse suurte ajavahemikkude arvutamise süsteemi.

Praegusel ajal kasutavad peaaegu kõik maad päikesekalendrit, s. o. kalendrit, mis põhineb Päikese aastasel ringkäigul mööda ekliptikat ja mis seetõttu on seotud aastaegade perioodilise vaheldusega.

Igas päikesekalendris võetakse aluseks troopiline aasta. Troopiliseks aastaks nimetatakse ajavahemikku Päikese kahe teineteisele järgneva kevadpunkti läbimise vahel (vrd. § 51).

Troopiline aasta võrdub 365 p. 5 t. 48 min. 46,1 sek. Ööpäev ja troopiline aasta on ühismõõdutud suurused, s. o. ööpäev ei mahu troopilisse aastasse ei täis- ega murdarv kordi. See tekitabki raskusi kalendri koostamisel, sest praktilistel kaalutlustel peab iga kalendriaasta sisaldama täisarvu ööpäevi. Sõltuvalt sellest, kuidas kalender kooskõlastatakse troopilise aastaga ja kuidas ta seda kooskõla teostab, esineb mitmesuguseid kalendreid.

**§ 144. Vana ja uus ajaarvamine ehk kalender.** Kuni Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooni oli Venemaal tarvitusel juuliuse kalender, mida nimetatakse nõnda Julius Caesari nime järgi, kelle ajal ta oli võetud tarvitusele Roomas 46. a. enne meie ajaarvamist. Teda harilikult nimetatakse vanaks ajaarvamiseks (stiiliks) ehk kalendriks.

Juuliuse kalendris on arvutuste lihtsustamise otstarbel võetud troopilise aasta pikkuseks täpselt 365 päeva 6 tundi, s. o.  $365\frac{1}{4}$  ööpäeva. Et kalendriaasta sisaldaks alati täisarvu ööpäevi, otsustati: lugeda 3 aastat järjest igaühes 365 ööpäeva, järgmises (neljandas) aga 366 ööpäeva, pärast seda jällegi 3 aastat lugeda igaühes 365 ööpäeva jne. Siis aasta keskmine pikkus võrdub  $(365 + 365 + 365 + 366) : 4 = 365\frac{1}{4}$  ööpäeva, s. o. võrdub troopilise aasta kestuseks võetud pikkusega.

Liigne päev aastas lisandatakse veebruari lõppu (29. veebruar) ja niisugust aastat nimetatakse lisapäeva-aastaks. On kokku lepitud lugeda lisapäeva-aastateks (366 ööpäevaga) need aastad, millede arvud jaguvad 4-ga, näiteks aastad 1944, 1948, 1952.

Vana ajaarvamine jääb maha tegelikust ajast, sest ta

võtab aasta keskmiselt pikemaks, kui ta on tõeliselt (11 min. 14 sek. võrra). Iga 400 aastaga (täpsemalt 384 aastaga) jääb vana ajaarvamine loodusest maha 3 päeva võrra.

NSV Liidus ja enamikus teistes maades tarvitusele võetud gregooriuse kalender, mis Rooma paavsti Gregorius XIII dekreediga pandi kehtima mõnedes maades juba 1582. a., on peaaegu vaba eelmainitud puudusest; teda nimetatakse uueks ajaarvamiseks (stiiliks) ehk kalendriks.

XVI sajandil jäi juuliuse kalender loodusest maha juba 10 päeva võrra. See kalender võeti tarvitusele ristiusu maades aastal 325. Et annulleerida seda mahajäämist, loeti 1582. a. 5. oktoobri asemel otse 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 täissadadest koosnevad lisapäeva-aastad, millede sadade arv 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. on ta ikkagi veel 13 päeva.

Gregooriuse kalender pole ka päris täpne, kuid tema erinevus loodusest terve ööpäeva võrra koguneb alles 3000 aasta jooksul. Praktilist tähtsust niisugusel veal loomulikult ei ole.

**§ 145. Kuu ja nädala tekkimine.** Vanal ajal neis maades, mis olid enam seotud jahi ja karjapidamisega kui põllutöoga, oli tarvitusel kalender, mis oli koostatud kuufaaside vahelduse alusel, s. o. sünoodilisel kuul ( $29\frac{1}{2}$  ööpäeva). Kalendrikuud olid vaheldumisi 29- ja 30-päevased. Meie päikese-

kalendris säilitas aasta kaheteistkümnendik osa kuu nimetuse, kuid mingit sidet Kuuga ta enam ei oma: Kuu faaside vaheldusega pole kalendrikuud, mis omavad erinevat kestust 28-st kuni 31 päevani, kuidagi seotud.

Julius Caesari ajal algas aasta märtsiga ja kuud kandsid nende järjekorranumbri nimetust, näiteks detsember oli kümnendaks kuuks; seda nimetust kannab ta praegugi mitmesugustes maades, mis laenasid roomlastelt oma kalendri alused: prantsuse keeles décembre, saksa keeles Dezember ja inglise keeles December. Nüüd on ta muutunud järjekorras kahteistkümnendaks kuuks, sest aasta algus on üle viidud jaanuarile (Venemaal — Peeter I ajal). Mõnede kuude nimetused muudeti juba vanas Roomas. Endine viies kuu nimetati juuliks Julius Caesari auks, kuues — augustiks Rooma keisri Octavianus Augustuse auks.

Prantsusmaal 1789. a. revolutsiooniperioodil kehtinud kalendris olid kuudele antud nimed vastavalt loodusnähtustele, näiteks vihmade kuu, puuvilja (fruktide) kuu. Nendega on sarnased kuude nimetused ukraina keeles: žovtenj (september), listopad (oktoober).

Seitsmepäevane nädal tekkis tuhandeid aastaid tagasi seoses astroloogiliste uskumistega planeetide mõjusse. Igaühele tol ajal tuntud viiest planeedist, samuti Päikesele ja Kuule, pühendati üksikud päevad kindlas järjekorras: laupäev — Saturnile (Saturni päev), pühapäev — Päikesele, esmaspäev — Kuule jne. Saksa keeles näiteks nimetatakse kuni praeguse ajani: pühapäev — Sonntag (Sonnen Tag — Päikese päev), esmaspäev — Montag (Kuu päev); inglise keeles on laupäev — Saturday (Saturni päev), pühapäev — Sunday (Päikese päev); prantsuse keeles on teisipäev — mardi (Martis dies — Marsi päev), kesknädal — mercredi (Merkuuri päev) jne.

**§ 146. Ajaarvamise algused.** Ajaarvamise alguseks nimetatakse aastate loendamise algus-

ehk nullmomenti. Aastate loendamise alguseks võeti vanal ajal sageli iga uue keisri valitsema hakkamise aasta. Roomlased loendasid aastaid hulk aega oma pealinna — Rooma asutamisest. Kõigi niisuguste ajaarvamiste omavahel kõrvutamine ja ühest teise üleminek on ebamugav. On lihtsam, kui kõigil rahvastel on aastatuhandeteks tarvitusele võetud üks ja sama ajaarvamine.

Poolteist tuhat aastat tagasi tegi üks Rooma munk ettepaneku hakata loendama aastaid nn. „Kristuse sündimisest”. Selle müüdilise sündmuse daatumit ei saadud muidugi kindlaks teha ja eespoolmainitud munk arvutas ta meelevaldsete ning väänatud kaalutluste alusel. Kuid pikkamööda see „ajaarvamine Kristuse sündimisest alates” levis paljudes maades ning praegusel ajal osutub peaaegu üldiselt tarvitusel olevaks; meie nimetame teda „meie ajaarvamiseks” (m. a.).

## XVIII peatükk.

### Astronoomilise orienteerumise viise.

**§ 147. Lihtsaimad orienteerumise viisid.** Orienteerumiseks nimetatakse horisondi punktide asendi või geograafiliste koordinaatide määramist. Lihtsaimad orienteerumise viisid (ilma nurgamõõtmise riistade abita) võimaldavad määrata ainult nn. „ilmakaarte” asendit, s. o. horisondi põhilisi ehk lähtepunkte. Öösel on selleks kõige sobivam kasutada Põhjanaela. Me teame, et põhjapunkt asub horisondil Põhjanaela all.

Kui on vajalik suur täpsus, tehakse neid vaatlusi Põhjanaela ülemise või alumise kulminatsiooni momendil, sest Põhjanael on maailma poolusest pisut eemal ja seetõttu ainult kulminatsiooni puhul (olles sel ajal meridiaanil) asub täpselt põhjapunkti kohal.

Tundes hästi tähistaevast, tähtkujusid ja nende asen-

deid horisoni kohal eri kuupäevadel ning eri kellaaegadel, võib samuti, kuigi ligikaudselt, määrata põhilisi suundi. Näiteks Kotka tähtkuju on suveõhtu algul idas, Orioni tähtkuju südatalvel kesköö paiku — lõunas jne.

Teades Kuu faaside sõltuvust tema asendist Päikese suhtes, võib määrata põhilised suunad ka Kuu asendi järgi horisoni suhtes. Kevadel ja sügisel paistab „noore” kuu sirp õhtul horisoni lähedal lääne suunas, vastu hommikut aga kahaneva kuu sirp — idas. Täiskuu on ülemises kulminatsioonis kesköö paiku. Suvel tõuseb täiskuu kagus, talvel — kirdes jne.

Päeval võib horisoni punkte kindlasti leida, määrares keskpäevajoone asendi § 10 kirjeldatud meetodite abil. Kui seejuures tuleb kasutada kella, on tingimata vaja teada tema õiendust ja peale selle on tingimata vajalik arvutada, millal selle kella järgi saabub tõeline keskpäev.

Orienteerumisoskus on väga tähtis igale inimesele, eriti sõja-olukorras, stepis, tundmatus kohas. Sõjaväes, näiteks suurtükiväes, tuleb sageli kasutada täpset astronoomilist orienteerumist, näiteks „kaardi järgi tulistamise” juhul.

**§ 148. Geograafilise laiuse määramine.** Geograafilist laiust ja pikkust saab määrata ainult astronoomilistest vaatlustest. Kui antud punkti laius ja pikkus on astronoomiliselt määratud ja nende järgi see punkt on kantud geograafilisele kaardile, võib igaüks muidugi leida selle punkti koordinaate juba kaardilt, kuigi hoopis väiksema täpsusega.

Lihtsaim laiuse määramise viis seisab selles, et nurgamõõtmise riista abil mõõdetakse tähe seniitkaugus  $z$  (tuntud käändega  $\delta$ ) tema ülemise kulminatsiooni momendil ja rakendatakse valemit

$$z = \varphi - \delta.$$

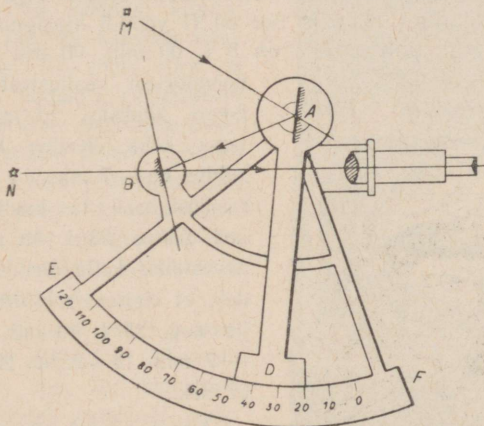
Selliseks täheks võib valida ka Põhjanaela. Seniitkauguse

mõõtmisel tuleb arvestada refraktsiooni (vt. § 135) ja kasutataval riistal alati esinevaid ebatäpsusi, mis on tingitud riista valmistusest (selleks uuritakse riista igakülgset).

Pärast õiendamist saadud seniitkaugus asetatakse valemisse  $z = \varphi - \delta$ , millest, kui on teada ka  $\delta$ , määratakse  $\varphi = z + \delta$ .

Selleks otstarbeks kasutatavaiks nurgamõõtmise riistadeks on: suurtes tähetornides — meridiaaniring, teistel juhtudel aga, eriti reisidel kuival maal, mandril — universaalriist ehk teodoliit (§ 134).

**§ 149. Geograafilise pikkuse määramine** põhineb antud momendil antud punkti kohaliku aja võrdlemisel algmeridiaani kohaliku



Joon. 131. Sekstant.

ajaga (või punktis, mille pikkus on juba teada). Tõepoolest, kahe punkti geograafiliste pikkuste vahe võrdub nende kohalike aegade vahega ühel ning samal momendil (vt. § 139).

Niiviisi geograafilise pikkuse määramise ülesanne jaguneb kaheks: kohaliku aja määramiseks antud punktis (vaatleja kella

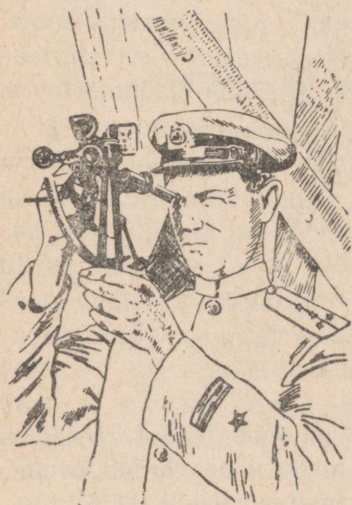
õienduse määramine) ja tuntud geograafilise pikkusega punkti kohaliku aja teada saamine. Esimene ülesanne lahendatakse § 142 kirjeldatud viisil. Reisidel kasutatakse selleks universaalriista. On olemas võtteid, mis võimaldavad määrata kella õiendust taevakehade seniitkauguse määramise abil, sest need samuti olevad vaatlusmomendist.

Tuntud geograafilise pikkusega punktis saab kohaliku aega teada raadio kaudu sellest punktist antavate õige aja signaalidega. Raadio ajasignaali vastuvõtu momendil tuleb ära märkida oma kella näitamine, arvestades tema õiendust antud kohaliku aja suhtes.

Näiteks on teada, et Moskva raadiojaam annab õige dekreediaja signaali täpselt kl. 19 t. 00 min. See on II vööndi ajasignaali + 1 tund, s. o. meridiaaniaeg, mille pikkus on 3 t. 00 min. 00 sek. Oma astro-

noomilistest vaatlustest tegi astronoom kindlaks, et antud päeval tema kella õiendus kohaliku aja suhtes on —7 min. 14 sek. Moskva raadiosignaali ta kuulis, kui tema kell näitas 23 t. 49 min. 51 sek. Arvestades kella õiendust ta järeltab, et signaali momendil oli kohalik aeg 23 t. 49 min. 51 sek. — 7 min. 14 sek. = 23 t. 42 min. 37 sek.

Antud punkti pikkus meridiaani suhtes, mille pikkus on 3 t. 00 min. 00 sek., võrdub 23 t. 42 min. 37 sek. — 19 t. 00 min. 00 sek. = 4 t. 42 min. 37 sek. ida poole, sest kohalik aeg osutus ees. Antud punkti pikkus Greenwichi suhtes võrdub: 4 t. 42 min. 37 sek. + 3 t. 00 min. 00 sek. = 7 t. 42 min. 37 sek.



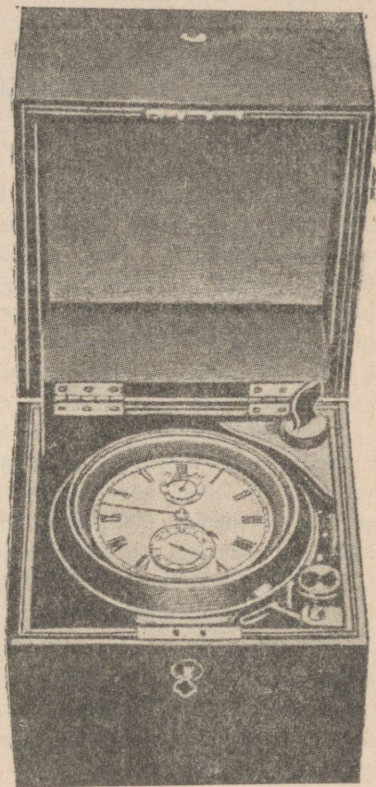
Joon. 132. Vaatlemine sekstandiga.

§ 150. Astronoomilised vaatlused mere- ja õhuväes. Merelaevadel ja lennukitel, mis on vahetpidamata liikumises, on geograafiliste koordinaatide määramine paratamatult tarvilik ja igapäevane ülesanne, mida lahendatakse sageli mitmeid kordi ööpäeva jooksul. Lennukite ja laevade kõikumine ei võimalda kasutada universaalriista, mida seatakse üles vesiloe abil. Taevakehade seniitkauguse mõõtmiseks, mis on vajalik laiuse ja pikkuse määramiseks, kasutatakse neis tingimustes sekstanti. On olemas mere- ja lennuasjanduse sekstante.

Sekstandiks nimetatakse vaatluse puhul käes hoitavat riista taevakehade nurkkauguse mõõtmiseks horisondist. Skemaatiliselt on sekstant kujutatud joonisel 131. Ta koosneb ringjoone sektorist *EF*, mille nurk on  $60^{\circ}$  ja mida hoitakse vertikaalselt vastava käepideme abil. Selle ringjoone keskpunkti ümber pöörleb joonlaud *AD*, mille pöörlemisteljele on kinnitatud peegel *A*, selle lõppu aga osuti *D*, mis märgitseb joonlaua asendit. Joonlaua pöörlemisel pöörleb ka peegel *A*.

Rõhthorus *C* näeb vaatleja horisonti suunas *CN* üle liikumatu peeglikese *B*, mis on kinnitatud sektorile. Pöörates joonlaua peegliga *A* on vaja asetada teda nõnda, et kiir taevakehast *M* pärast peegeldumist peeglit *A* langeks peeglile *B*, sellelt aga vaatleja silma. Siis vaatleja näeb taevakeha peegeldust horisondi joonel. Vastav

joonlaua osuti lugem sektori kaarel näitabki taevakeha kõrgust horisondi suhtes vaatluse momendil. Et peegeldunud kiir, nagu füüsikast teada, pöördub nurga võrra, mis on kaks korda suurem peegli pöördumisnurgast,



Joon. 133. Mere kronomeeter.

siis on kaarel *EF* kraadid märgitud kaks korda suuremate arvudega, näiteks kaare lõpul seisab  $60^0$  asemel  $120^0$ .

Peale sekstandi kasutatakse lennuvæes lennuki kursi määramiseks ka teisi astronoomilisi riistu.

Laevade ja lennukite juhtide (tüürimeeste, pilootide) vajadusteks NSV Liidus arvutatakse ja antakse välja eriline „Astronoomiline mereasjanduse aastaraamat” ja „Astronoomiline lennuasjanduse aastaraamat”, mis sisaldavad mitmesuguseid vajalikke teateid taevakehadest sel aastal ja erilisi tabeleid arvutusteks.

Astronoomilised orienteerumise viisid tegid võimalikuks meie lendurite ainulaadsed lennud põhjapoolusele, NSV Liidust üle Arktika Ameerikasse, meie pommilennukite kangelaslikud lennurünnakud vaenlase objektidele jne.

Varematel aegadel, kui polnud veel raadiotelegraafi, osutus geograafilise pikkuse määramine väga ebatäpseks, eriti merel, kus laeva kõikumise tõttu pendelkellad jäid seisma. Siis määrati pikkus kas Jupiteri kaaslaste varjutuste järgi, millede momendid arvutati ette Greenwichi aja järgi ja mis Maa igas kohas on nähtavad üheaegselt, või Kuu asendi määramise järgi taevas, mis samuti arvutati ette Greenwichi aja järgi. Mõlemad viisid olid ebatäpsed, viimane osalt seetõttu, et Kuu liikumine on väga keeruline ja ei olnud teoreetiliselt küllalt hästi uuritud tema täpse asendi ettemääramiseks taevas.

Väljudes tuntud geograafilise laiusega punktist, võtsid meremehed ja reisijad endaga kaasa kellad, mis käisid selle koha aja järgi. Oletades, et need kellad käivad õieti, hoiti neid seismajäämise eest, selles teadmises, et nad ka teel jätkavad lähtekoha õige aja näitamist. Kõik see muidugi raskendas meresõitu. Seepärast inglise parlament 1727. a. määras tolle aja kohta pööraselt suure summa — 20 000 naelsterlingit — preemiaks pikkuse määramise viisi tunduva täiustamise eest.

XVIII sajandi teisel poolel anti osa sellest preemiast välja kellas-sepp Harrisonile, kes leiutas kronomeetri, s. o. kella balanssiiriga (pendli asemel), mis peaaegu ei reageeri mere kõikumisele. (Tasku- ja käekell — see on lihtsustatud kronomeeter.) Teine osa preemiast makseti välja teadlastele: Eulerile — Kuu liikumise teooria matemaatilise läbitöötamise eest gravitatsiooniseaduse alusel ja Mayerile — Kuu liikumise tabelite koostamise eest, mis võimaldas täpsemalt ette arvutada tema asendit taevas.

Need näited tõendavad, millist tähtsust omab astronoomia inimese praktiliste vajaduste rahuldamises.

## Lisad.

### I. Astronoomias esinevate tähtsamate suuruste ligikaudsed arvulised väärtused.

Päikese ja Kuu nähtav nurkdiaameeter . . . . .	$1/2^{\circ}$
Ekliptika kalle ekvaatori suhtes . . . . .	$23\frac{1}{2}^{\circ}$
Maa keskmine raadius . . . . .	6371 km
Maa ekvaatori ja polaarraadiuse vahe . . . . .	20 km
Troopilise aasta kestus . . . . .	365 p. 5 t. 49 min.
Sünoodilise kuu kestus (ajavahemik Kuu kahe ühesuguse faasi vahel) . . . . .	$29\frac{1}{2}$ ööpäeva
Sideerilise kuu kestus (Kuu ümber Maa ringlemise periood) . . . . .	$27\frac{1}{3}$ ööpäeva
Maa mass . . . . .	$6 \cdot 10^{27}$ g
Päikese massi suhe Maa massisse . . . . .	330 000
Planeedi (Merkuuri) kõige lühem ringlemisperiood . . . . .	3 kuud (88 ööpäeva)
Planeedi (Pluuto) kõige pikem ringlemisperiood . . . . .	250 aastat
Kõige suurema planeedi (Jupiteri) diameeter . . . . .	11 Maa läbimõõtu
Kuu keskmine kaugus Maast . . . . .	380 000 km
Maa keskmine kaugus Päikesest ehk 1 astronoomiline ühik . . . . .	150 000 000 km
1 parsek . . . . .	206 000 astr. üh. ehk $3\frac{1}{4}$ valgusaastat
Lähima planeedi (Merkuuri) kaugus Päikesest võrreldes Maa kaugusega Päikesest . . . . .	0,4 astr. üh.
Kõige kaugema planeedi (Pluuto) keskmine kaugus Päikesest . . . . .	40 astr. üh.
Päikesesüsteemi kaugus lähimast tähest ( $\alpha$ Kentauris) . . . . .	4 valgusaastat ehk $1\frac{1}{3}$ parsekki ehk 270 000 astr. üh.

Meie tähesüsteemi — Galaktika — läbimõõt	100 000 valgusaastat
Kaugus lähima tähesüsteemini — galaktikani (Andromeda tähtkujus) . . . . .	1 000 000 valgusaastat
Palja silmaga nähtavate tähtede arv . . . . .	Umbes 6 000
Kuu läbimõõt võrreldes Maa läbimõõduga . . . . .	$\frac{1}{4}$
Päikese läbimõõt võrreldes Maa läbimõõduga . . . . .	109
Päikese pinna temperatuur . . . . .	6 000°
Päikese laikude arvu muutuse keskmine periood	11 aastat
Tähtede temperatuurid: alates 3 000° . . . . .	(Punased tähed)
kuni 30 000° . . . . .	(Valged tähed)
Maa koore vanus . . . . .	Umbes 2 miljardit aastat
Ajavõrrandi suurim väärtus . . . . .	$\frac{1}{4}$ tundi
Keskmine refraktsioon (horisondil) . . . . .	35'
Koperniku teose ilmumise aeg . . . . .	1543. a.
Esimesed astronoomilised vaatlused teleskoobiga	1610. a.
Kevadine võrdpäevsus . . . . .	Umbes 21. märtsil
Suvine pööripäev . . . . .	„ 22. juunil
Sügisene võrdpäevsus . . . . .	„ 23. sept.
Talvine pööripäev . . . . .	„ 22. dets.
Maa asub periheelis . . . . .	„ 1. jaan.
Maa asub afeelis . . . . .	„ 1. juulil

## II. Kreeka tähestik.

$A \alpha$ — alfa	$N \nu$ — nüü
$B \beta$ — beeta	$\Xi \xi$ — ksii
$\Gamma \gamma$ — gamma	$O o$ — omikron
$\Delta \delta$ — delta	$\Pi \pi$ — pii
$E \varepsilon$ — epsilon	$\rho \rho$ — rhoo (roo)
$Z \zeta$ — dseeta	$\Sigma \sigma \varsigma$ — sigma
$H \eta$ — eeta	$T \tau$ — tau
$\Theta \theta$ — teeta	$Y \upsilon$ — üpsilon
$I \iota$ — ioota	$\Phi \varphi$ — fii
$K \kappa$ — kapa	$X \chi$ — hii
$\Lambda \lambda$ — lambda	$\Psi \psi$ — psii
$M \mu$ — müü	$\Omega \omega$ — oomega

## III. Heledate tähtede kõige enam tarvitavad nimetused.

Algol — $\beta$ Perseuses	Mizar — $\zeta$ Vankris
Aldebaran — $\alpha$ Sõnnis	Pollux — $\beta$ Kaksikutes
Altaïr — $\alpha$ Kotkas	Põhjanael — $\alpha$ V. Vankris
Antares — $\alpha$ Skorpionis	Procyon — $\alpha$ V. Penis
Arktuurus — $\alpha$ Karjases	Regulus — $\alpha$ Lõvis
Betelgeuse — $\alpha$ Orionis	Rigel — $\beta$ Orionis
Veega — $\alpha$ Lüüras	Siirius — $\alpha$ S. Penis
Kapella — $\alpha$ Veomehes	Spica — $\alpha$ Neitsis
Kastor — $\alpha$ Kaksikutes	Fomalhaut — $\alpha$ Lõuna-Kalades

#### IV. Heledate tähtede kataloog (kuni 2,5 tähesuuruseni ja 30° lõunakäändeni).

Kataloogis on antud tähtede heledused, otsetõus, kääne, spektri tähistus, mis ühtlasi näitab värvust: valged tähed — *O, B, A*, kollased — *F, G, K*, punased — *M*.

Tähed	Tähesuurus	$\alpha$			$\delta$		Spektri klass
		t.	min.	sek.	0	'	
$\alpha$ Andromedas . . . . .	2,5	0	4	46	+28	42,2	A
$\beta$ Kassiopejas . . . . .	2,42	0	5	26	+58	45,8	F
$\alpha$ Kassiopejas . . . . .	2,1—2,6*)	0	36	31	+56	9,2	K
$\beta$ Vaalas . . . . .	2,24	0	40	5	—18	22,2	K
$\gamma$ Kassiopejas . . . . .	2,25	0	52	23	+60	20,3	B
$\beta$ Andromedas . . . . .	2,37	1	5	48	+35	15,0	M
$\alpha$ V. Vankris . . . . .	2,12	1	36	54	+88	55,7	F
$\gamma$ Andromedas . . . . .	2,28	1	59	36	+41	59,7	K
$\alpha$ Jääras . . . . .	2,23	2	3	13	+23	7,9	K
$\alpha$ Vaalas . . . . .	2,0—10,1*)	2	15	48	—3	17,7	M
$\beta$ Perseuses . . . . .	2,2—3,5*)	3	3	36	+40	41,2	B
$\alpha$ Perseuses . . . . .	1,90	3	19	19	+49	36,8	F
$\alpha$ Sõnnis . . . . .	1,06	4	31	54	+16	22,2	K
$\beta$ Orionis . . . . .	0,34	5	11	10	—8	16,9	B
$\alpha$ Veomehes . . . . .	0,21	5	11	31	+45	55,7	G
$\gamma$ Orionis . . . . .	1,70	5	21	22	+6	17,3	B
$\beta$ Sõnnis . . . . .	1,78	5	21	52	+23	33,0	B
$\delta$ Orionis . . . . .	2,48	5	28	26	—0	21,0	B
$\varepsilon$ Orionis . . . . .	1,75	5	32	40	—1	14,7	B
$\zeta$ Orionis . . . . .	2,05	5	37	14	—1	58,7	B
$\eta$ Orionis . . . . .	2,20	5	44	26	—9	41,6	B
$\alpha$ Orionis . . . . .	0,92	5	51	23	+7	23,7	M
$\beta$ Veomehes . . . . .	2,07	5	54	24	+44	56,5	A
$\beta$ S. Penis . . . . .	1,99	6	19	37	—17	55,2	B
$\gamma$ Kaksikutes . . . . .	1,93	6	33	40	+16	27,6	A
$\alpha$ S. Penis . . . . .	—1,58	6	42	4	—16	37,1	A
$\varepsilon$ S. Penis . . . . .	1,63	6	55	52	—28	52,5	B

\*) Muutlik täht.

Tähed	Tähesuurus	$\alpha$			$\delta$		Spektri- klass
		t. min.	sek.	0	'		
$\delta$ S. Penis . . . . .	1,98	7	5	33	-26	16,9	B
$\eta$ S. Penis . . . . .	2,43	7	21	19	-29	9,9	B
$\alpha$ Kaksikutes . . . . .	1,99	7	30	8	+32	2,6	A
$\alpha$ V. Penis . . . . .	0,48	7	35	38	+5	24,3	F
$\beta$ Kaksikutes . . . . .	1,21	7	41	2	+28	11,8	K
$\alpha$ Hüdras . . . . .	2,16	9	24	9	-8	21,3	K
$\alpha$ Lõvis . . . . .	1,34	10	4	39	+12	18,6	B
$\beta$ S. Vankris . . . . .	2,44	10	57	38	+56	45,5	A
$\alpha$ S. Vankris . . . . .	1,95	10	59	25	+62	7,8	K
$\beta$ Lõvis . . . . .	2,23	11	45	29	+14	57,8	A
$\gamma$ S. Vankris . . . . .	2,54	11	50	09	+54	5,0	A
$\epsilon$ S. Vankris . . . . .	1,68	12	50	57	+56	20,4	A
$\xi$ S. Vankris . . . . .	2,40	13	21	7	+55	17,4	A
$\alpha$ Neitsis . . . . .	1,21	13	21	30	-10	47,8	B
$\eta$ S. Vankris . . . . .	1,91	13	44	47	+49	39,7	B
$\alpha$ Karjases . . . . .	0,24	14	12	28	+19	32,8	K
$\beta$ V. Vankris . . . . .	2,24	14	50	53	+74	26,5	K
$\alpha$ Põhja-Kroonis . . . . .	2,31	15	31	43	+26	57,0	A
$\alpha$ Skorpionis . . . . .	1,22	16	25	7	-26	16,7	M
$\alpha$ Maokandjas . . . . .	2,14	17	31	41	+12	36,6	A
$\gamma$ Lohes . . . . .	2,42	17	54	59	+51	29,8	K
$\alpha$ Lüüras . . . . .	0,14	18	34	34	+38	43,1	A
$\gamma$ Amburis . . . . .	2,14	18	50	56	-26	23,1	B
$\alpha$ Kotkas . . . . .	0,89	19	47	22	+8	40,9	A
$\gamma$ Luiges . . . . .	2,32	20	19	43	+40	1,9	F
$\alpha$ Luiges . . . . .	1,33	20	39	3	+45	1,8	A
$\alpha$ Lõuna-Kalades . . . . .	1,29	22	53	47	-29	59,6	A

### V. NSV Liidu linnade laiusi ja pikkusi (Greenwichist).

	Laius		Pikkus	Võõnd
	0	'		
Alma-Ata . . . . .	43	16	5 7,8	5
Arhangelsk . . . . .	64	31	2 42,1	2
Astrahhan . . . . .	46	21	3 12,1	3
Ašhabad . . . . .	37	45	3 53,6	4

	Laius • /	Pikkus t. min.	Vöönd
Bakuu . . . . .	40 21	3 19,4	3
Blagoveštšensk . . . . .	50 15	8 30,1	9
Dnepropetrovsk . . . . .	48 28	2 20,3	2
Erevan . . . . .	40 14	2 58,0	3
Frunze . . . . .	42 53	4 58,5	5
Gorki . . . . .	56 20	2 56,0	3
Habarovsk . . . . .	48 28	9 0,2	9
Harkov . . . . .	50 00	2 24,9	2
Herson . . . . .	46 38	2 10,5	2
Ivanovo . . . . .	57 0	2 43,9	2
Irkutsk . . . . .	52 16	6 57,1	7
Jakutsk . . . . .	62 02	8 39,0	8
Jaroslavl . . . . .	57 38	2 39,5	2
Kaasan . . . . .	55 48	3 16,5	3
Kalinin . . . . .	56 52	2 23,6	2
Kaliningrad . . . . .	54 42	1 22,0	2
Kaluga . . . . .	54 31	2 25,0	2
Kamenets-Podolsk . . . . .	48 40	1 46,3	2
Kiiev . . . . .	50 27	2 2,0	2
Kirov . . . . .	58 36	3 18,7	3
Kišinjev . . . . .	47 02	1 55,3	2
Krosnodar . . . . .	45 03	2 35,9	3
Krasnojarsk . . . . .	56 01	6 11,4	6
Kuibõšev . . . . .	53 11	3 20,4	3
Kursk . . . . .	51 44	2 24,8	2
Kutaisi . . . . .	42 15	2 50,8	3
Leningrad . . . . .	59 57	2 1,0	2
Lvov . . . . .	49 49	1 36,1	2
Minsk . . . . .	53 51	1 50,3	2
Mogiljev . . . . .	53 54	2 1,3	2
Molotov . . . . .	58 00	3 45,1	4
Moskva . . . . .	55 45	2 30,3	2
Murmansk . . . . .	68 59	2 12,2	2
Nikolajevsk Amuuril . . . . .	53 08	9 22,9	9
Novgorod . . . . .	58 31	2 5,1	2
Novosibirsk . . . . .	55 1	5 31,6	6
Novotšerkassk . . . . .	47 25	2 40,4	2
Odessa . . . . .	46 29	2 3,0	2
Omsk . . . . .	54 59	4 53,5	5

	Laius 0 /	Pikkus t. min.	Vöönd
Orjol . . . . .	52 58	2 24,3	2
Ordžonikidze . . . . .	43 02	2 58,7	3
Penza . . . . .	53 11	3 0,1	3
Petrozavodsk . . . . .	61 47	2 17,6	2
Petropavlovsk Kamtšatka	53 0	10 34,9	11
Pihkva e. Pskov . . . . .	57 49	1 53,3	2
Poltaava . . . . .	49 35	2 18,3	2
Riia . . . . .	56 58	1 36,5	2
Rjazan . . . . .	54 38	2 32,0	2
Rostov Doni ääres . . . . .	47 13	2 38,9	2
Samarkand . . . . .	39 39	4 27,9	4
Saratov . . . . .	51 32	3 4,3	3
Sevastopol . . . . .	44 37	2 14,1	2
Semipalatinsk . . . . .	50 24	5 20,4	6
Simferopol . . . . .	44 57	2 16,4	2
Smolensk . . . . .	54 46	2 08,2	2
Stalinabad . . . . .	38 33	4 35,0	5
Stalingrad . . . . .	48 42	2 58,1	3
Sverdlovsk . . . . .	56 49	4 2,4	4
Žitomir . . . . .	50 15	1 54,7	2
Tallinn . . . . .	59 26	1 39,0	2
Tambov . . . . .	52 44	2 45,8	
Taškent . . . . .	41 20	4 37,2	5
Tbilisi . . . . .	41 42	2 59,3	3
Tobolsk . . . . .	58 12	4 33,1	5
Tomsk . . . . .	56 30	5 39,8	6
Tšernigov . . . . .	51 29	2 5,2	2
Tšita . . . . .	52 01	7 34,0	8
Tškalov . . . . .	51 47	3 40,4	4
Tuula . . . . .	54 12	2 30,5	2
Ufa . . . . .	54 43	3 43,8	4
Uljanovsk . . . . .	54 19	3 13,6	3
Uralsk . . . . .	51 12	3 25,4	3
Vilnius . . . . .	54 41	1 41,1	2
Vitebsk . . . . .	55 10	2 0,8	2
Vladimir . . . . .	56 08	2 41,6	2
Vladivostok . . . . .	43 07	8 47,5	9
Vologda . . . . .	58 13	2 39,5	2
Voronež . . . . .	51 39	2 36,8	2

## VI. Päikesesüsteemi tabel.

	Sideeriline ring- lemisperiood aastais	Sünoodiline ring- lemisperiood ööpäevades	Keskmine kaugus Päikesest		Orbiidi eks- tsentrilisus	Orbiidikalle ekliptika suhtes	Mass (Maa = 1)	Tihedus $\frac{g}{cm^3}$ -tes	Ekvaatoriline läbimõõt		Lapikus	Ümber telje pöörlemise periood	Ekvaatorikalle orbiidi tasapinna suhtes	Tuntud kaaslaste arv
			astron. üh.	milj. km					Maa 1	km				
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	
Merkuur . .	0,241	116	0,387	58	0,206	7 <sup>0</sup>	0,04	3,8	0,39	5 000	—	88 ööpäeva	0 <sup>0</sup>	—
Veenus . .	0,615	584	0,728	108	0,007	3 <sup>0</sup>	0,81	4,9	0,97	12 400	—	6 ööpäeva?	—	—
Maa . . . .	1,000	—	1,000	150	0,017	—	1,00	5,5	1,00	12 742	$\frac{1}{207}$	23 t. 56 min. 4 sek.	23 <sup>0</sup> 27'	1
Marss . . .	0,881	780	1,524	228	0,093	2 <sup>0</sup>	0,11	4,0	0,53	6 770	$\frac{1}{192}$	24 t. 37 min. 23 sek.	25 <sup>0</sup> 10'	2
Jupiter . . .	11,86	399	5,203	778	0,048	1 <sup>0</sup>	316,9	1,3	10,95	139 560	$\frac{1}{16}$	9 t. 50 min.	3 <sup>0</sup> 6'	11
Saturn . . .	29,46	378	9,539	1425	0,056	2 <sup>0</sup>	94,9	0,7	9,02	115 110	$\frac{1}{10}$	10 t. 14 min.	26 <sup>0</sup> 45'	9
Uuran . . .	84,01	370	19,19	2868	0,047	1 <sup>0</sup>	14,66	1,3	4,00	51 000	$\frac{1}{18}$	10,7 tundi	98 <sup>0</sup>	4
Neptuun . .	164,7	368	30,07	4494	0,099	2 <sup>0</sup>	17,16	1,6	3,92	50 000	$\frac{1}{50}$	15,8 tundi	29 <sup>0</sup>	1
Pluuto . . .	248,9	367	39,58	5915	0,247	17 <sup>0</sup>	1?	?	?	5 000	?	?	?	—
Päike . . .	—	—	—	—	—	—	331950	1,4	109,1	1 390 600	—	25 ööpäeva ekvaatoril	7 <sup>0</sup> 15' ekliptika suhtes	—

## VII. Astronoomia ajaloo lühike kronoloogiline tabel.

	Daatum
Esimesed astronoomiliste vaatluste üleskirjutused egiptlaste, babüloomlaste ja hiinlaste juures . . . . .	3 000 a. e. m. a.
Päikesevarjutuse esimene ennustamine (Kreekas)	585. a. „
Vaadete esitamine maailma kohta Aristotelese poolt raamatus „Taevast” . . . . .	IV saj. „
Maakera suuruse määramine mõõtmistest . . . . .	III saj. „
Esimesed ideed heliotsentrilisest süsteemist. Katsed Päikese kauguse määramiseks (Aristarchos) . . . . .	III saj. „
Päikese ja Kuu liikumise elementide ning Kuu orbiidi peamise ebavõrdsuse määramine. Eelmiste vaatluste läbitöötamine ja pretsessiooninähtuse avastamine. Esimene tähekataloog (Hipparchos — vanaaja suurim astronoom) . . . . .	II saj. „
„Almagest” — raamat geotsentrilise maailmasüsteemi käsitlesega. Esimene meie ajani jõudnud tähekataloog (Klaudjos Ptolemaios) . . . . .	II saj. m. a. j.
Heliotsentrilise maailmasüsteemi teaduslik põhjendamine (Nikolai Kopernik) . . . . .	1543. a.
Giordano Bruno ärapõletamine . . . . .	1600. a.
Esimene täheatlas, milles heledad tähed on tähistatud kreeka alfabeedi tähtedega . . . . .	1603. a.
Pikksilma rakendamine astronoomilisteks vaatlusteks, Päikese laikude, Kuu mägede, Veenuse faaside, Jupiteri kaaslaste avastamine jne. . . . .	1610. a. ja järgm.
Planeetide liikumisseaduste avastamine Kepleri poolt	umb. 1620. a.
Kohtumõistmine Galilei üle . . . . .	1633. a.
Pendelkella leiutamine . . . . .	1656. a.
Triangulatsioonimeetodi leiutamine ja pikksilmade rakendamine kraadimõõtmistes . . . . .	XVII saj.
Valguse levimiskiiruse määramine . . . . .	1675. a.
Gravitatsiooniseaduse kindlaksmääramine . . . . .	1682. a.
Päikeseaparallaksi esimene määramine . . . . .	1671. a.
Komeetide perioodsuse ja tähtede omaliikumise avastamine (Edmund Halley) . . . . .	1678., 1718. a.
Kanti kosmogooniline hüpotees . . . . .	1755. a.
Taevamehaanika tekkimine . . . . .	XVIII saj. lõpp
Hügelreflektorite ehitamine (W. Hershel) . . . . .	XVIII saj. lõpp

Uurani avastamine . . . . .	1781. a.
Esimese väikese planeedi — <u>Cerera</u> avastamine . . . . .	1801. a.
Täheparallakside esimesed mõõtmised . . . . .	1838. a.
Pulkovo tähetorni asutamine . . . . .	1839. a.
„Nähtamatuse astronoomia” — Siiriuse ja Procyoni kaaslaste olemasolu avastamine . . . . .	1844. a.
Neptuuni avastamine . . . . .	1846. a.
Spektraalanalüüsi rakendamise algus . . . . .	1859. a.
Tähtede spektroskoopia algus . . . . .	1860. a.
Meetodi väljatöötamine Päikese protuberantside vaatlemiseks väljaspool varjutuste aega . . . . .	1868. a.
Komeetide ehituse teooria väljatöötamine (Bredihhin) . . . . .	1877. a.
Sõltuvuse avastamine tsefeiidide perioodi ja nende absoluutse heleduse vahel . . . . .	1908. a.
Kääbustähtede ja hiiglaste olemasolu avastamine . . . . .	1913. a.
Galaktika pöörlemise avastamine . . . . .	1924. a.
Planeedi Pluuto avastamine . . . . .	1930. a.

### VIII. Eesti NSV linnade geograafilised koordinaadid <sup>1</sup>.

Linn	Põhjalaius	Idapikkus Greenwich'ist	Linn	Põhjalaius	Idapikkus Greenwich'ist
		t. m.			t. m.
Antsla . . .	57°05'	1 46,1	Otepää . . . . .	58° 3'	1 46,0
Elva . . . .	58 13	1 45,7	Paide . . . . .	58 54	1 42,2
Haapsalu . .	58 57	1 34,1	Paldiski . . . . .	59 21	1 36,2
Jõgeva . . .	58 45	1 45,6	Põltsamaa . . . .	58 39	1 43,9
Jõhvi . . . .	59 22	1 49,7	Pärnu . . . . .	58 23	1 38,0
Kallaste . . .	58 40	1 48,7	Rakvere . . . . .	59 21	1 45,4
Keila . . . .	59 18	1 37,7	Sindi . . . . .	58 24	1 38,6
Kil.-Nõmme .	58 9	1 39,9	Suure-Jaani . . . .	58 32	1 41,9
Kunda . . . .	59 31	1 46,2	Tallinn . . . . .	59 26	1 39,0
Kuressaare .	58 15	1 29,9	Tapa . . . . .	59 16	1 43,9
Kärdla . . . .	59 0	1 31,0	Tartu . . . . .	58 23	1 46,9
Mustla . . . .	58 14	1 43,5	Tõrva . . . . .	58 0	1 43,7
Mustvee . . .	58 51	1 47,8	Türi . . . . .	58 48	1 41,7
Mõisaküla . .	58 5	1 40,8	Valga . . . . .	57 47	1 44,1
Narva . . . .	59 23	1 52,8	Viljandi . . . . .	58 22	1 42,3
Nõmme . . . .	59 23	1 38,7	Võru . . . . .	57 50	1 48,0

<sup>1</sup> Need andmed on originaalile lisanud vastutav toimetaja, arvestades nende praktilist tähtsust astronoomia õpetamisel Eesti NSV koolides.

## Nimede ja mõistete juhataja.

- Aastaparallaks 96, 161  
Adonis 136  
Afeel 76  
Ajaarvamise algused 238  
Ajavõrrand 224  
Algoliidid 169  
Altair 11  
Amor 136  
Andromeda 9, 10  
Apogee 111  
Aristoteles 64  
Arktuurus 11  
Asimutaalne ülesseade 215  
Asteroidid 127, 135  
Astrograafid 101  
Astroloogia 61  
Astronoomia 3  
Astronoomia, vanaaja 62  
Astronoomiline ühik 77  
Astronoomilised observatooriumid 98  
Atmosfääriline refraktsioon 221  
Baas 55  
Biela komeet 143  
Boliidid 144  
Bredihhin, F. A. 140  
Bruno, Giordano 78  
Daatumi raja 231  
Deimos 132  
Dekreediaeg 228  
Difuussed udugud 184  
Doppler-Fizeau printsiip 107  
Ekliptika 46, 51  
Ekvaatoriline koordinaatide süsteem 209, 210  
Ekvaatoriline ülesseade 216  
Ellips 74  
Elongatsioon 71  
Elu tekkimine 204  
Encke komeet 139  
Eratosthenes 36  
Eros 136  
Fessenkov, V. G. 203  
Fobos 132  
Fotomeetrid 101  
Foucault' pendlikatse 41  
Fraunhofer 105  
Fraunhoferi jooned 106  
Füüsilised kaksiktähed 166  
Füüsilised muutlikud tähed 170  
Galaktika 178  
Galaktika keskpunkt 180  
Galilei 77  
Geogr. koordinaadid 30, 209  
Geogr. laius 30, 240  
Geogr. pikkus 30, 226, 241  
Geogr. poolus 40  
Geotsentriline süsteem 64  
Gravitatsioon 80, 84  
Gregooriuse kalender 237

- Hajunud täheparved 175  
 Halley komeet 137, 139  
 Heledad udukogud 184  
 Heledusjärk 12  
 Hermes 136  
 Herschel, W. 88  
 Hiidtähed 164  
 Horisondiline koordinaatide süs-  
 teem 209, 210  
 Horisondiline parallaks 96  
 Horisondi punktid 22  
 Häired planeetide liikumises 87  
 Hämarik 28  
  
 Jupiter 132  
 Juuliuuse kalender 236  
  
 Kaksiktähed 166  
 Kaksikud 10  
 Kalender 235, 236  
 Kaljukitse pööriloon 49  
 Kant-Laplace'i hüpotees 203  
 Karjane 11  
 Kassiopeja 9, 10  
 Katmismuutlikud tähed 169  
 Kepler, J. 74  
 Kepleri seadused 74  
 Kerasparved 175  
 Keskaegsed kujutlused maailmast 65  
 Keskmine päikeseaeg 224  
 Keskpäevajoon 22, 23  
 Kirchhoff 102  
 Kogumaailmne tõmbejõud 80  
 Kohalik aeg 226  
 Kollased tähed 163  
 Komeet 136  
 Komeetide lagunemine 143  
 Komeetide massid 141  
 Komeetide orbiidid 137  
 Komeedi pea ja saba 139  
 Komeedi tuum 137  
  
 Konfiguratsioon, planeedi 70  
 Koordinaatide määramisviis 217  
 Kopernik, Nikolai 66  
 Kosmogoonia alused 191  
 Kotkas 10  
 Kraadimõõtmine 37  
 Kromosfäär 154  
 Kulminatsioon 24  
 Kuu, ajavahemik 109  
 Kuu atmosfäär 125  
 Kuu elu 126  
 Kuu esimene veerand 112  
 Kuu faasid 111  
 Kuu füüsilised tingimused 125  
 Kuu ja nädala tekkimine 237  
 Kuu keskmine kaugus 110  
 Kuu kraatrid 123  
 Kuu kujunemine 201  
 Kuu liikumine 83, 109  
 Kuu loomine 111  
 Kuu mered 122  
 Kuu orbiit 110  
 Kuu pinnaehitus 122  
 Kuu pöörlemine 119  
 Kuu tee 84  
 Kuu tsirkid 123  
 Kuuvarjutused 113  
 Kuu viimane veerand 112  
 Kvadratuur 72  
 Kääbustähed 164  
  
 Lagipunkt 21  
 Lebedev, P. N. 140  
 Lendtähed 141  
 Leverrier 89  
 Linnutee 78, 177  
 Lohe 9  
 Luik 10  
 Lähim täht 162  
 Lüüra 10

- Maailma poolused 19  
 Maailma telg 19  
 Maailmasüsteem 64  
 Maa keraus 29  
 Maa lapikus 37  
 Maa massi määramine 87  
 Maa orbiit 51  
 Maa planeedina 128  
 Maa suurus 36  
 Maa telg 40  
 Marsi atmosfäär 131  
 Marsi kanalid 131  
 Marsi mered 130  
 Marss 129  
 Masside määramine 85  
 Matemaatiline horisont 21  
 Mere kronomeeter 243  
 Meridiaaniring 219  
 Merkuur 127  
 Meteoorid 141  
 Meteoori jälg 143  
 Meteoriidid 145  
 Mikromeetriline kruvi 216  
 Mitmekordsed tähed 168  
  
 Neptuun 88, 89, 135  
 Newton, J. 80  
 Noorkuu 111  
 Nurga mõõtmised 16  
  
 Optilised kaksiktähed 167  
 Orbiidi kuju 93  
 Orbiit 70  
 Orienteerumine, astronoomiline 209  
 Orion 10  
 Osaline varjutus 116  
 Otsija (teleskoop) 217  
  
 Parallaks 57  
 Parallaktiline nihkumine 55  
 Parsek 97  
  
 Pegasus 9, 10  
 Perigei 111  
 Periheel 76  
 Perseus 9  
 Pidev spekter 104  
 Planeet 25  
 Planetaarsed udukogud 184  
 Planeetide näivad liikumised 68  
 Planeetide tekkimine 202  
 Planeetidevahelised reisid 95  
 Pluuto 88, 89, 135  
 Polaartäht 10  
 Pooluse kõrgus 34  
 Pretsessioon 91  
 Protuberantsid 155  
 Ptolemáios, Claudios 64  
 Pulkovo observatoorium 99, 102  
 Punased tähed 163  
 Põhjanel 10  
 Päike 146  
 Päike ja elu Maal 147  
 Päikese atmosfäär 152  
 Päikese ehitus 156  
 Päikese energia-allikad 157  
 Päikese granulatsioon 148  
 Päikese faklid 148, 151  
 Päikese fotosfäär 148  
 Päikese keemiline koostis 152  
 Päikese kell 223, 224  
 Päikese konstant 153  
 Päikese kroon 155  
 Päikese laigud 78, 148, 150  
 Päikese liikumine 174  
 Päikese pöörlemine 148  
 Päikeseseis 43  
 Päikese soojus 152  
 Päikese spekter 152  
 Päikesesüsteem 126  
 Päikesesüsteemi püsivus 88  
 Päikese tegevuse tsükkel 158  
 Päikese temperatuur 149

- Päikese valgus 152  
 Päikesevarjutused 113  
 Päikese ööpäev 211  
 Pööripäev 43
- Radiant 142  
 Reflektorid 101  
 Refraktorid 101  
 Rõngakujuline varjutus 117  
 Rändtäht 25  
 Rööbikud 31
- Saturn 133  
 Saturni rõngas 134  
 Schmidt, O. J. 204  
 Sekstant 243  
 Seniit 21  
 Seniitkaugus, taevakehade 214  
 Sideeriline kuu 109  
 Sideeriline periood 73  
 Siirius 11  
 Silmused 27  
 Sinakad tähed 163  
 Siseplaneedid 70  
 Solaarkonstant 153  
 Spektraalanalüüs 102  
 Spektraalkaksikud tähed 168  
 Spektrograaf 101, 103  
 Spektrogramm 103  
 Spektroskoop 103  
 Suur Karu 9  
 Suur Peni 10  
 Suur Vanker 9  
 Sõnn 10  
 Sünoodiline kuu 112  
 Sünoodiline periood 73
- Taevaekvaator 19, 209  
 Taevakehade kultus 60  
 Taevakehade suurus 98  
 Taevakehade vanus 195
- Taevaskera 14  
 Taevameridiaan 21  
 Taevakuppel 7  
 Taevavõlv 7  
 Taeva värv 8  
 Teleskoop 77  
 Teleskoobi käsitlemine 216  
 Teodoliit 220  
 Terminaator 124  
 Termoelement 108  
 Triangulatsioon 38  
 Troopiline aasta 93, 235  
 Tsefeiidid 171  
 Tsefeus 9  
 Tserasski, V. K. 153  
 Tsiolkovski, K. E. 95  
 Tuhkvalgus 111  
 Tumedad udukogud 186  
 Tunninurk 211  
 Tõeline keskpäev 24, 222  
 Tõeline kesköö 24  
 Tõeline päikeseaeg 222  
 Tõeline päikese-ööpäev 222  
 Tõus ja mõõn 89  
 Tõusulaine evolutsioon 201  
 Täheaeg 211  
 Tähed 160  
 Tähe kogukiirgus 164  
 Täheline kuu 109  
 Täheparved 175  
 Tähesuurus 12  
 Tähesüsteemid-galaktikad 181  
 Tähesüsteemide tekkimine 197  
 Tähe-ööpäev 211  
 Tähtede aastaparallaks 57  
 Tähtede arenemine 200  
 Tähtede heledused 160  
 Tähtede kaugused 161  
 Tähtede liikumised 173  
 Tähtede massid 169  
 Tähtede mõõdete määramine 164

- Tähtede spektrid 162  
 Tähtede temperatuurid 162  
 Tähtedevaheline keskkond 188  
 Tähtede värvused 162  
 Tähtkujud 8, 9  
 Täielik päikesevarjutus 116  
 Täiskuu 112  
 Udukogu Andromeda tähtkujus 185  
 Udukogu Lüüra tähtkujus 185  
 Universaalriist 220  
 Universum 108, 188, 206  
 Uued tähed 172  
 Uran 88, 135  
 Valged kääbustähed 165  
 Valged tähed 163  
 Valged ööd 51  
 Valgusaasta 97  
 Varjutused 113  
 Varjutusfaas 117  
 Varjutuskaksikud tähed 169  
 Varjutusmuutlikud tähed 168  
 Vastasseis 72  
 Veega 11  
 Veenus 127  
 Veenuse faasid 77  
 Veomees 10  
 Vilkumine, tähtede 28  
 Võrdpäevsus 43  
 Võrdpäevsusepunktid 46  
 Vähi pööriljoon 49  
 Väike Karu 9  
 Väike Peni 10  
 Väike Vanker 9  
 Välisplaneedid 70  
 Võõndiaeg 228  
 Oige aja teenistus 234  
 Ühendus Päikesega 72  
 Ühendus, ülemine ja alumine 71  
 Ümberpöörav kiht 153  
 Zodiaagi tähtkujud 47  
 Zodiaagi valgus 156

## Sisukord.

	Lk.
Sissejuhatus . . . . .	3
§ 1. Astronoomia aine . . . . .	3

### I jagu.

#### LIHTSAMAD TAEVANÄHTUSED JA MAA.

##### I peatükk. Taevaskera.

§ 2. Taevavõlv ja tähtkujud . . . . .	7
§ 3. Tähtkujude ülesleidmine taevas . . . . .	9
§ 4. Tähesuurused . . . . .	11
§ 5. Tähtede nimed ja tähistused . . . . .	14
§ 6. Taevaskera ja selle ööpäevane pöörlemine . . . . .	14
§ 7. Nurga mõõtmised . . . . .	16
§ 8. Maailma poolused ja telg . . . . .	18
§ 9. Ekvaator, meridiaan ja keskpäevajoon . . . . .	19
§ 10. Keskpäevajoone praktiline määramine . . . . .	23
§ 11. Taevakehade kulminatsioon . . . . .	24
§ 12. Planeedid ja nende näivad liikumised . . . . .	25
§ 13. Hämarik ja tähtede vilkumine . . . . .	27

##### II peatükk. Maa ja taevas.

§ 14. Maa kergus . . . . .	29
§ 15. Geograafilised koordinaadid . . . . .	30
§ 16. Seos Maa ja taevaskera vahel . . . . .	32
§ 17. Pooluse kõrgus horisondi suhtes ja geograafiline laius . . . . .	34
§ 18. Tähistaeva välisilme sõltuvus vaatleja asendist Maa pinnal . . . . .	35
§ 19. Maa suuruse määramine . . . . .	36

	Lk.
§ 20. Maa lapikus . . . . .	37
§ 21. Triangulatsioon . . . . .	38
§ 22. Maa ööpäevase pöörlemise tõestusi . . . . .	40

### III peatükk. Päikese aastane ringkäik ja Maa liikumine.

§ 23. Päikese keskpäevase kõrguse ja tähistaeva välisilme aastased muutused . . . . .	43
§ 24. Päikese näiv liikumine mööda ekliptikat . . . . .	45
§ 25. Zodiaagi tähtkujud . . . . .	46
§ 26. Päikese ööpäevase tee muutused mitmesugustel laiustel . . . . .	48
§ 27. Maa ringlemine ümber Päikese . . . . .	51
§ 28. Päeva ja öö ning aastaegade vaheldus Maa liikumisel . . . . .	53
§ 29. Parallaktiline nihkumine . . . . .	55
§ 30. Aastaparallaks kui tõestus Maa ringlemisest ümber Päikese . . . . .	57

## II ja g u.

### TEADUSLIKU MAAILMAVAATE ARENEMINE.

#### IV peatükk. Astronoomia vanal ajal.

§ 31. Taevakehade kultus ja astroloogia . . . . .	60
§ 32. Astronoomia vanaaja rahvaste juures . . . . .	62
§ 33. Aristotelese ja Ptolemaiiose maailma-süsteem . . . . .	63
§ 34. Keskaegsed kujutlused maailmast . . . . .	65

#### V peatükk. Revolutsioon maailmavaates.

§ 35. Koperniku revolutsiooniline avastus . . . . .	66
§ 36. Planeetide näivate liikumiste seletamine Koperniku teooria järgi . . . . .	68
§ 37. Planeetide konfiguratsioonid . . . . .	70
§ 38. Planeetide ringlemise sideerilised ja sünoodilised perioodid . . . . .	73
§ 39. Kepleri seadused . . . . .	74
§ 40. Teleskoobi leiutamine ja Galilei avastused . . . . .	77
§ 41. Kiriku võitlus teadusega . . . . .	78

#### VI peatükk. Gravitatsioon ehk kogumaailmne tõmbejõud.

§ 42. Gravitatsiooniseadus . . . . .	79
§ 43. Kuu liikumine . . . . .	83
§ 44. Gravitatsioonijõu ja raskusjõu samasus . . . . .	84

	Lk.
§ 45. Taevakehade masside määramine . . . . .	85
§ 46. Maa massi määramine . . . . .	87
§ 47. Häired planeetide liikumises . . . . .	87
§ 48. Päikesesüsteemi püsivus . . . . .	88
§ 49. Planeetide Neptuuni ja Pluuto avastamine . . . . .	88
§ 50. Tõus ja mõõn . . . . .	89
§ 51. Pretsessioon ehk võrdpäevsuse ennetamine . . . . .	91
§ 52. Orbiidi kaju sõltuvus algkiirusest . . . . .	93
§ 53. Planeetidevahelised reisid . . . . .	95

#### VII peatükk. Universumi uurimise põhilised meetodid.

§ 54. Taevakehade kauguste määramine . . . . .	95
§ 55. Taevakehade suuruse määramine . . . . .	98
§ 56. Astronoomilised observatooriumid . . . . .	98
§ 57. Spektraalanalüüs . . . . .	102
§ 58. Taevakehade keemilise koostise, kiiruse ja temperatuuri määramine . . . . .	105

### III ja g u.

## PÄIKESESÜSTEEM.

#### VIII peatükk. Kuu ja varjutused.

§ 59. Kuu liikumine ja ajavahemik kuu . . . . .	109
§ 60. Kuu faasid ja tuhkvalgus . . . . .	111
§ 61. Varjutused . . . . .	113
§ 62. Kuuvarjutused . . . . .	114
§ 63. Päikesevarjutused . . . . .	116
§ 64. Kuu pöörlemine ümber telje . . . . .	119
§ 65. Kuu pinnaehitus . . . . .	122
§ 66. Kuu füüsilised tingimused . . . . .	125

#### IX peatükk. Planeedid.

§ 67. Päikesesüsteemi üldine ülevaade . . . . .	126
§ 68. Merkuur ja Veenus . . . . .	127
§ 69. Maa planeedina . . . . .	128
§ 70. Marss . . . . .	129

5

Vastutav toimetaja T. Rootsmäe.  
Keeleline toimetaja M. Arro.  
Tehniline toimetaja H. Seletus.

Ladumisele antud 6. IV 1950. Trükki-  
misele antud 26. V 1950. Trükiarv 2500.  
Paber  $56 \times 79, \frac{1}{16}$ . Trükipoognaid 16,75|+  
5 lisa. Formaadile  $60 \times 92$  kohalda-  
tud trükipoognaid 13,4. Arvutuspoog-  
naid 16,64. MB-04240.

Trükikoda „Hans Heidemann“,  
Tartu, Vallikraavi 4. Tellimise nr. 1108.

На эстонском языке.  
Б. А. Воронцов-Вельяминов. Астроно-  
мия. Учебник для XI класса средней  
школы.

Hind rbl. 5.20

Rbl. 5.20

~~A~~  
A-18500

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00454202 5