

J. Lang ja T. Rootsmäe

ASTRONOOMIA

XI KLASSILE



RK

PEDAGOOGILINE KIRJANDUS
TALLINN 1947

J. LANG JA T. ROOTSMÄE

ASTRONOOMIA

XI KLASSILE

3127

~~3127~~

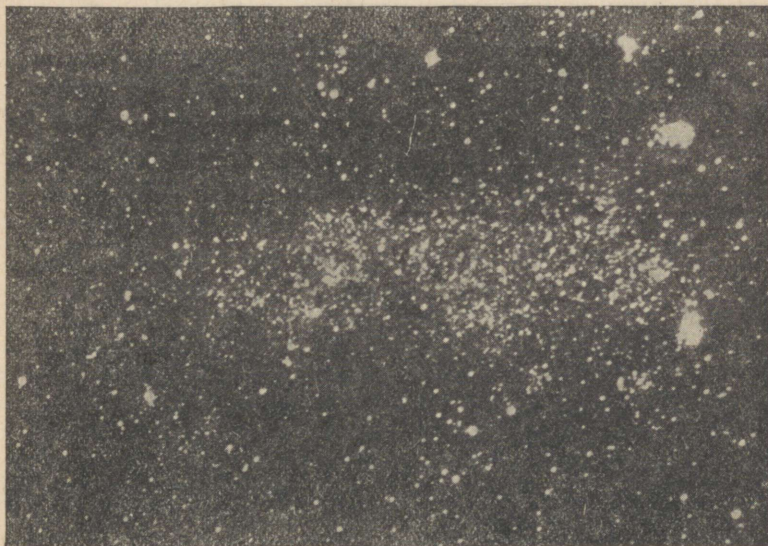
RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TALLINN 1947

I. Taevavõlv ja taevakehad.

1. **Astronoomia ülesanne.** Selgel ööl näeme taevas just nagu lugematut hulka tähti, sageli ka Kuud. Kõik need taevakehad ühes Päikese ja meie Maaga on korrapärane kogumik, mida kutsutakse **Maa ilmaks** ehk **Kosmoseks**.



Joon. 1. Tükk tähistaevast Linnutee piirkonnast.

Astronoomia (kreeka k. *astron* — täht, *nomos* — seadus) ehk **täheteaduse** ülesandeks on anda meile **Maailmast** (Kosmosest) ja ta ehitusest lühike ülevaatlik kirjeldus,

õpetades tundma taevakehade liikumisi, ehitust, arengut ja vastastikuseid mõjusid.

Muidugi me ei suuda tunda kogu Maailma, vaid ainult õige väikest osa sellest, ja nimelt seda osa, millest mõningad nähtused veel ulatuvad meie teadvusse. Inimeste teadmiste arenemisega laieneb ja muutub mitmekesisemaks ning sügavamaks ka meile tuntud Maailm.

2. Taevavõlv. Lagedal väljal enese ümber vaadates saame mulje, et Maa on tasane ketas, mille äärele toetub kumer **t a e v a v õ l v**. Ringjoont, mida mööda taevavõlv näivalt ühineb maaga, nimetatakse **nähtavaks vaatepiiriks** ehk **horisondiks**.

Taevavõlv paistab meile igal pool enam-vähem õõnsa poolkerana, mille keskpunktis on vaatleja silm. Niisugune taevavõlvi kuju on tingitud meie silma omadusest — näha kõiki üle teatud piiri eemal olevaid esemeid samas kauguses. Et nägemise tingimused on igas suunas enam-vähem ühesugused, siis seetõttu paistabki taevavõlv meile kerakujulisena. Taevavõlv on meile ühtlasi selleks pinnaks, millele projekttime kõik kauged asjad ja nähtused: Päikese, Kuu, tähed, meteorid, välgu jm.

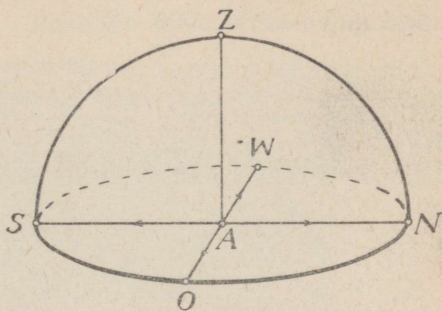
Taevavõlv paistab siiski püstsuunas meile lähemal kui rõhtsuunas, s. o. taevavõlv on l a m e. Taevavõlvi näiline lamedus tekib sellest, et rõhtsuunas näeme palju mitmesuguseid esemeid (puid, maju jm.), mille tõttu taevavõlv näib kaugemale nihkuvat, kuna püstsuunas on meil vaateväli lage.

Puhas selge taevas paistab meile h e l e s i n i n e. Seda põhjustavad õhuosakesed (-molekulid), mis nagu väikesed peeglid hajutavad päikesevalgusest eriti siniseid kiiri, kuna teised neist enam-vähem vabalt läbi pääsevad. On aga õhus palju tolmu ja veeauru, siis hajutavad need õhuosakesed suurel määral ka teisi kiiri ja taevas paistab meile mitte puhassinine, vaid mitmes teises värvuses — punane, roheline, kollane jne.

1. Mispärast ei näe me tähti päeval?
2. Mis värvi paistab meile taevas öösel?
3. Millest järeldame, et taeva värvus oleneb päikesevalgusest, et taeval ei ole nii-öelda oma värvust?

3. Matemaatiline horisont. Lähtekohaks ruumis orienteerumisel on v a a t l e j a s i l m, sest siin koonduvad valguskiired, mis toovad meile teateid kaugeist esemest. Tõmbame läbi vaat-

leja silma (A) püst- ehk vertikaalsihi (seda osutab niit, mille otsas ripub koormus). Pikendame vaatleja silmast läbi minevat püstsiti ülespoole lõikumiseni taevavõlviga punktis Z (joon. 2). Nimetame püstsiti ja taevavõlvi lõikepunkti **seniidiks** (muidugi punkti A suhtes). Kujutleme läbi vaatleja silma tasapinna ehk tasandi, mis on risti püstsihiga AZ; siis saame **rõhttasapinna** ehk **matemaatilise horisondi** (jällegi punkti A suhtes).



Joon. 2. Matemaatiline horisont.

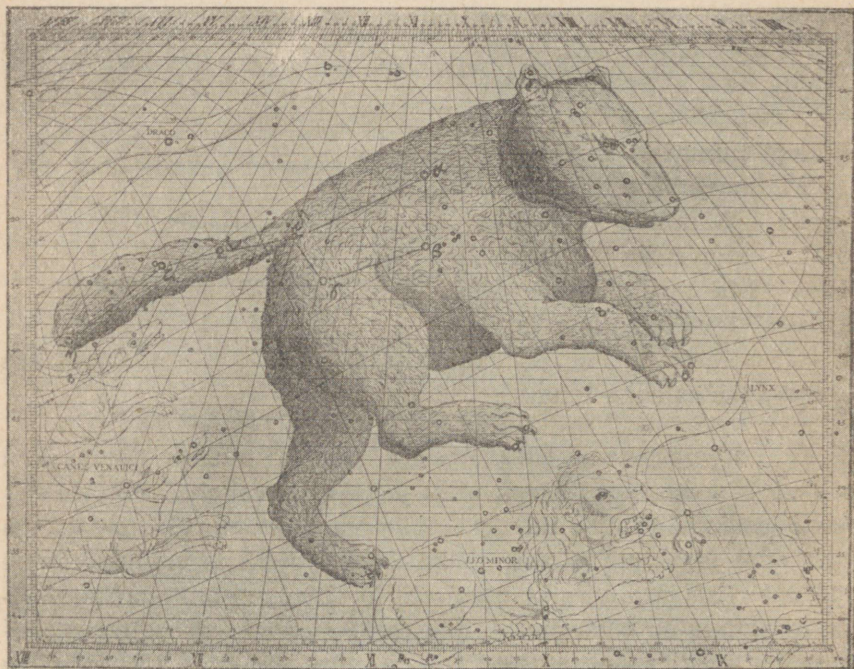
Matemaatiline horisont jagab Maailma kaheks osaks: ülemiseks ja alumiseks. Me tarvitame sageli ka veel teisi Maailma jagamisviise, näit. lääne- ja idapoolseks, põhja- ja lõunapoolseks osaks. Kuidas seda teha?

4. Taevakehade liigitus. Selge ilmaga näeme taevavõlvil päeval Päikest, öösel Kuud, tähti ja teisi taevakehi. Päike on meile eriliselt tähtis. Kuuma hõõguva kettana tõuseb ta iga päev idas ja loojub läänes. Kogu oma soojuse ja valguse saame Päikeselt; seega on Päike meie elu ja olemise põhiteguriks. Päikese raadius on Maa omast 109 korda suurem. Võrdlemisi väikese kettana paistab ta ainult oma väga suure kauguse tõttu (149 500 000 km).

Kuu on Maa kõige lähem naaber maailmaruumis. Ta on ruumalalt Maast 50 korda väiksem, kuid paistab meile oma läheduse tõttu (384 000 km) ligikaudu niisama suure kettana kui Päikegi. Kuu ei paista meile alati ühesugusena: vahel näeme täisketast, vahel kitsast sirpi; mõnikord on ta hoopis nähtamatu. Kuu ei ole oma valgust; ta on õieti **peegliks**, mis juhib meile öösiti vaatlepiiri all oleva Päikese valgust.

Selgel ööl näeme taevas säravat suure hulga tähti, mis paistavad meile taevavõlvi külge kinnitatud helendavate täpi-

kestena. Tähed erinevad üksteisest oma heleduse ja värvivarjundite (punakad, kollakad, sinakad jne.) poolest. Palja silmaga nähtavate tähtede arv pole nii suur, et me neid ei suudaks loendada: me näeme taevavõlvil korraga ainult ligi 3000 tähte, seega kogu taevaskeral 6000.



Joon. 3. Suur Karu.

Pikema-ajalise võrdleva vaatluse abil võime kindlaks teha, et tähed jagunevad kahte liiki: kinnis- ja rändtähed. Kinnistähed ei muuda oma asendit taevavõlvil teiste tähtede suhtes; nagu helendavad naelapead paistavad nad taevavõlvile kinnistatud olevat ning püsivad seal igaüks oma kohal. Peale selle tunneme kinnistähti nende vilkumisest; ka paistavad meile kinnistähed teleskoobis täpikestena samuti kui paljalegi silmale. Oma loomult on kinnistähed suu-

red tulised, hõõguvad kehad, mis maailmaruumis igale poole valgust ja soojust levitavad nagu meie Päikegi. Niisugused kinnistähtede tunnused on seletatavad suure kaugusega, mis meid kinnistähtedest lahutab. Kõige lähemalt kinnistähelt jõuab valgus 4,3 aastaga meie juurde. Peaaegu kõik tähed kuuluvad kinnistähtede liiki. Sageli tarvitame sõna „kinnistäht“ asemel lihtsalt „täht“.



Joon. 4. Sabatäht ehk komeet.

Rändtähtede tunnused on kinnistähtede omadele otse vastupidised, nimelt: rändtähed muudavad oma asendit taevavõlvil teiste tähtede suhtes, nad ei vilgu ja paistavad teleskoobis kettakestena. Loomult sarnanevad rändtähed suurel määral Maaga. Rändtähti võib korraga näha ainult mõned üksikud (Veenus, Marss, Jupiter, Saturn jt.). Kõik rändtähed ehk planeedid kuuluvad päikesesüsteemi, s. o. liiguvad ümber Päikese samuti kui Maa.

Vahel paistab, nagu vallanduks taevast mõni täht, mis siis suure kiirusega maa poole liigub, jättes järele heleda joa. Hari-likult kustub niisugune täht enne maapinna lähedale jõudmist. Need on l e n d t ä h e d — väikesed ainekillukesed, mis maailma-ruumist Maa õhkkonda sattudes hõõrdumise mõjul kuumenevad ja helendavad ning seetõttu enamasti ära põlevad.

Haruldaste külalistena palja silmaga vaatlejale esinevad s a b a t ä h e d ehk k o m e e d i d.

Pimedal selgel ööl näeme taevas heleda vööna L i n n u t e e d. See on määratu tähtede parv, millede hulka kuulub ka meie Päike.

1. Mitu korda on Päikese pindala ja ruumala Maa omast suurem?
2. Mispärast paistab Kuu peaaegu niisama suure kettana kui Päikegi?
3. Väljendada lähema kinnistähe kaugus km-tes!
4. Missugused rändtähed on praegu palja silmaga nähtavad?

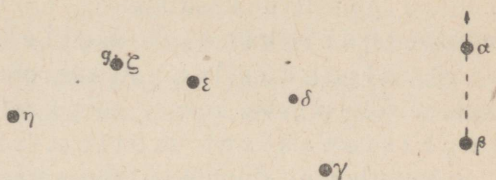
5. Tähtkujud. Taevaga tutvumiseks on kasulik ühendada üksikuid tähti kujudeks, mis meile hästi tuttavad, nagu kolm-nurk, ruut, ring jne. Niisuguseid tähtede rühmitisi nimetatakse t ä h t k u j u d e k s. Suurem osa tähtkujude nimetusi on väga vanad (mitu tuhat aastat), pärit Kreekast ja Kaldeast. Ka meie esivanemad on andnud paljudele tähtkujudele oma algupärased nimed, näit. Kuhjalava, Reha, Koot jt. — Tähtkuju üksikute tähtede nimedena tarvitatakse kreeka keele tähti α , β , γ jne.; kõige heledam täht märgitakse harilikult α -ga, teised heleduse järjekorras β , γ jne.

Kõige kergem on alustada tähtkujude tundmaõppimist S u u - r e s t V a n k r i s t ehk K a r u s t, mille põhjataevas kergesti ära tunneme (joon. 5). Rattad moodustavad nelinurga, kuna ais keskelt paremale poole kaarde on painutatud. (Tuletagem meelde eesti muinasjuttu hundist ja peremees Peedust!) Tagumistest ratastest (α ja β) võetud sihti noole suunas pikendades jõuame kaunis heleda täheni, mis kannab P õ h j a n a e l a nime. Põhjanael on Maailma pooluse lähedal, seepärast paistab ta alati

samas kohas; ta on kui helendav naelapea, mis löödud põhjataevasse. Põhjanael on Väikese Vankri aisa otsmiseks täheks.

Väike Vanker on oma kujult üldiselt sarnane Suure Vankriga, tema tähed aga on märksa vähem heledad ja nende asetus Suure Vankriga võrreldes vastupidine.

Suure Vankri esimestest ratastest alates üle Põhjanaela teisele poole vaadates jõuame Kassiopeiiani, mis kujult meenutab laialt kirjutatud M- või W-tähte.



Joon. 5. Suur Vanker.

Kassiopeiast pisut vasa-

kule vaadates näeme looklevat väiksemate tähtede rida, Perseust, mis lõpeb täheparve Plejaadide ehk Sõelaga. Perseusest veidi vasakule asetseb Veomes, viisnurk, milles kõige heledamaks täheks on Kapella.

Sedaviisi kaardi abil taevast jälgides pole raske tutvuda kõigi meil nähtavate tähtkujudega. Et edaspidisest hõlpsamini aru saada, tuleb igaühel otseste vaatluste abil taevaga lähemalt tutvuda, kasutades selleks võimalikult iga selget õhtut juba õppetöö alguses.

1. Raamatu lõpul leiduvate kaartide abil tutvugem meil praegu õhtuti näha olevate tähtkujudega!
2. Pangem tähele, kuidas tähed nagu Päike ja Kuugi idast tõusevad ning läänes alla vajuvad!

6. Astronoomia tundmise tähtsus. Astronoomia tundmisel on väga suur praktiline, kasvatuslik ja maailmavaadet arendav väärtus.

Astronoomiliste vaatluste abil määratakse kindlaks kohtade asendid Maakerapinnal (geograafiline laius ja pikkus), mis pole tähtis üksnes orienteerumisel kuival maal, vaid veel enam laevade juhtimisel merel. Samuti põhineb Maapinna kaardistamine laiemas ulatuses astronoomilistel vaatlustel.

Ka täpne ajamääramine ja üldse ajamõõtmise korraldamine oleneb astronoomilistest vaatlustest, sest täpset ajamõõtmist võimaldab meile ainult taevasköögipöörlemine.

Peale praktilise kasu saavutamise astronoomia uurimisega rohkem intellektuaalseid väärtusi. Arutlused, mis esinevad astronoomia ainetiku käsitlemisel, on matemaatilist iseloomu ja nõuavad järjekindlat mõtlemist ning mõtete täpset väljendamist. Astronoomilised nähtused esinevad kausaalselt pideva reana, seepärast edendab nende uurimine funktsionaalset mõtlemist. Astronoomiliste objektide kujutlemine ruumis ja taevasköögil arendab ruumikujutlemisvõimet. Lihtsatest korrapärasustest kõige kaugemale ulatuvate seaduste tuletamine mõjutab meie loovat fantaasiat, mis on tarvilik edukaks töötamiseks teaduslikul alal. Kõigi nende külgede arendamine on väga tähtis väärtusliku ühiskonnaliikme kasvatamisel.

Kõige suurem tähtsus on aga astronoomia tundmaõppimisel meie maailmavaate kujundamisel. Astronoomia näitab, et Maa on korrapärane ja ühtlane tervik, et samad seadused ning samad ained esinevad igal pool. Taevakehade liikumiste korrapärasus andis võimaluse juba varakult avastada nende liikumiste seadusi. Siit edasi tekkis loodusseaduse ja kausaalsuse mõiste, mis astronoomia alalt hiljem kandus üle ka teiste teaduste aladele ning on praegu üks teadusliku maailmakäsituse aluseid.

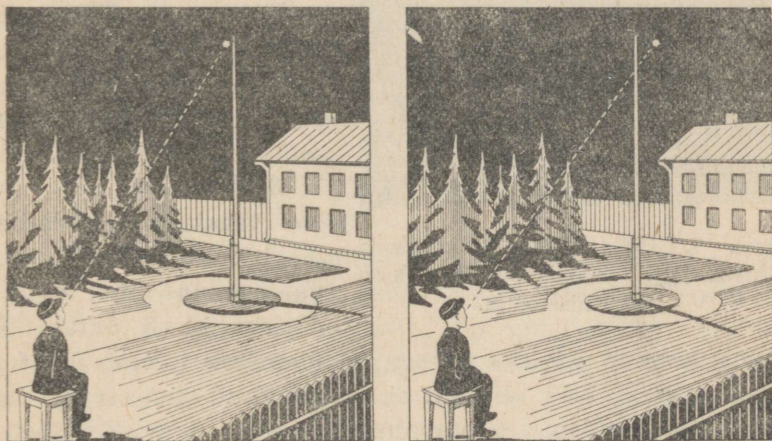
Astronoomia avab vaate Maailma lõpmatu ruumis ja ajas. Ta näitab, et Maa on kaduv-väike saareke piiramatuse ruumis ja et elu ajalugu Maa pinnal on ainult üks hetk üldises kosmilise arengu käigus. Ka evolutsioonidee, mis on nii tähtsal kohal moodsas loodusteaduses, on õieti pärit astronoomiast (Kant-Laplace'i hüpotees).

Nii selgub, et astronoomia kui õppeaine on oluliseks vahendiks teadusliku maailmavaate kujundamisel, ühtlasi aga ka mõjuvaks relvaks igasuguse ebateaduse (astroloogia) ja ebausust vastu võitlemisel, pärinegu see missugustest allikatest tahes.

II. Taevaskera pöörlemine ja taevakoordinaadid.

7. Taevaskera ööpäevane pöörlemine. Asetume selgel õhtul või ööl õue nõnda, et mõni lõunataeva hele täht paistaks just mingi lähedaloleva silmapaistva eseme (lipuvarda otsa, raadiomasti, korstna ääre) kohal. Sel viisil määrame kindlaks vaatesuuna, millel asetseb täht vaatluse alguses, sest kaks punkti (vaatleja silm ja antud ese) määravad ainult ühe sirge. Samast asendist natuke aega (15—20 min.) hiljem seda tähte vaadeldes näeme, et ta on nihkunud oma endisest vaatesuunast tublisti lääne poole.

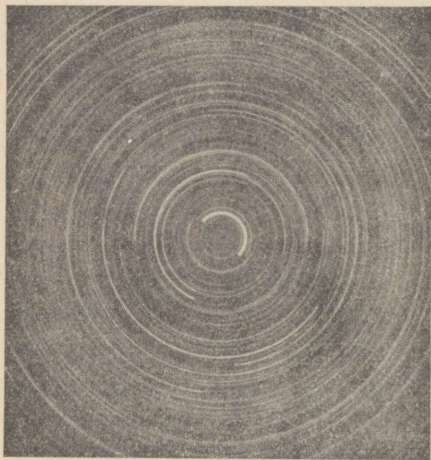
Vaadelda seda tingimata esimesel võimalusel!



Joon. 6. Tähed nihkuvad idast lääne poole.

Samalaadilisi vaatlusi ka teiste tähtedega korrates näeme, et taevavõlv ühes kõigi tema pinnal nähtavate taevakehadega ei püsi paigal, vaid pöörleb **idast läände**. Samuti nagu Päike ja Kuu, tõusevad ka tähed idast, saavutavad kõrgeima asendi lõunas ja vajuvad alla vaatepiirile läänes. Seejuures aga tähtede asendeid üksteise suhtes tähele pannes näeme, et need jäävad kogu aeg samadeks. Järelikult me võime kõnelda taevavõlvist kui tervikust, mis pöörleb idast läände.

Joonisel 7 näeme, kuidas liikumatu fotoaparaadi puhul pooluselähedased tähed jätavad pikaajalisel pildistamisel fotoplaadile kaarekujulised jäljed. Et kõigil neil kaartel on ühine keskpunkt, see tõendab taevavõlvi pöörlemist tervikuna ümber telje.



Joon. 7. Taevapoolusele lähedaste tähtede jäljed fotoplaadil taevaskera pöörlemise tõttu.

nähtust homme jälgides näeme, et üleminek toimub ligi 4 min. varem, s. o. kl. 7.56. Et täht ei ole muutnud oma asendit taevavõlvil, siis järeldame, et ajavahemik, mille jooksul täht teeb ühe täistiiru, s. o. $23^h 56^m$, võrdub ajavahemikuga, mille jooksul teeb täispöörde ka taevaskera. Ajavahemikku, mille jooksul taevaskera teeb ühe täispöörde, nimetatakse **tähe ööks-päevaks**.

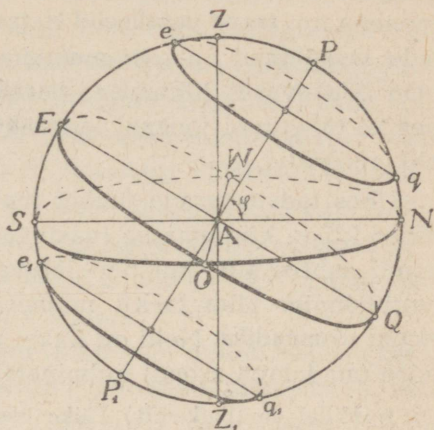
Taevaskera pöörlemine on täiesti ühtlane, järelikult on kõik taevaskera pöörlemisperioodid ehk tähe ööd-päevad ühepikkused. Seega on tähe öö-päev meile looduse poolt antud ajamõõtmise põhiühikuks. Samuti nagu harilik kodanlik ööpäev, jagatakse ka tähe öö-päev 24 tähetunniks, tähetund 60 täheminutiks, täheminut 60 tähesekundiks.

Taevavõlv näib meile õõnsa poolkerana. Läänes vajuvad taevavõlvi osad pöörlemisel vaatepiiri alla, idas tõusevad üles jälle uued osad. Nõnda peame arvama, et kogu taevavõlv kujutab kerapinna ehk **taevaskera**, millest alati ainult pool on ülalpool meie vaatepiiri ja nähtav, kuna teine pool on vaatepiiri all ning seetõttu meile mitte nähtav.

8. **Tähe öö-päev.** Pane me tähele, mis kellaajal läheb mõni täht üle kindla vaatesuuna täna; olgu see näiteks kl. 8 õhtul. Sama

9. **Asendi määramine taevaskeral.** Taevaskera keskpunktiks (A) on alati vaatleja silm. Sellest järeldame, et meil on siin tege- mist nähtusega, mis oleneb meie silma ehitusest. Taevaskeral asendi määramiseks anname erilised nimed mõnele joonele, punktile ja tasapinnale.

Sirget PP_1 (joon. 8), mille ümber pöörleb taevaskera, nimetatakse **maailma teljeks**. Maailma telg lõikub taevaskeraga kahes punktis (P ja P_1) — **taeva poolustes**. Meie horisondi kohal on **põhjapoolus** (P), temale otse vastas asetseb **lõunapoolus** (P_1). Nagu näha, on poolused geomeetriselt defineeritud punktid. Praegusajal asetseb põhjapooluse läheduses ($\sim 1\frac{1}{4}^\circ$ kaugusel) võrdlemisi hele täht — Põhjajanael, mille abil on kerge määrata põhjapooluse ligikaudset asendit. — Vaatleja silma (A) läbiv püst- ehk vertikaaljoon lõikub taevaskeraga seniidis (Z). Seniidi vastaspunkti (Z_1) nimetatakse **nadiiriks**. Kujutleme tasapinna läbi vaatleja silma, pooluse ja seniidi. See on **taeva meridiaani tasapind**, mis lõikudes taevaskeraga annab ringjoone (ZPP_1) — **meridiaani**. Meridiaani tasapind jagab taevaskera kaheks pooleks — ida- ja läänepool. Horisondi tasapinnaga ($NOSW$) lõikub meridiaani tasapind mööda sirget SN , mida nimet. **keskpäeva-jooneks**. Keskpäeva-joone üks ots (N) näitab põhja, teine (S) lõunasse.



Joon. 8. Taevaskera.

Kujutleme nüüd läbi vaatleja silma (A) tasapinna (EQ), mis on risti maailma teljega (PP_1), ja nimetame selle **taeva ekvaatori tasapinnaks**. Taeva ekvaatori tasapinna ja taevaskera lõikumisel saame ringjoone ($EWQO$) — **taeva ekvaatori**. Taeva ekvaator jagab taevaskera kaheks poolkeraks — põhja- ja lõuna-pool-

keraks. Horisondi tasapind ja taeva ekvaatori tasapind lõikuvad mööda sirget OW , mis on risti keskpäeva-joonega (tõestada seda geomeetriliselt!) ja mille üks ots (W) on suunatud läände, teine (O) itta.

Lõikame taevaskera tasapinnaga, mis on paralleelne ekvaatoriga, kuid ei lähe mitte läbi vaatlaja silma. Siis saame lõikejoonena nn. **taeva paralleelid** e. **taeva rööbikud** (eq, e_1q_1 jne.), millede tasapinnad on risti maailma teljega. Kõik tähed liiguvad oma ööpäevases liikumises paralleelselt ekvaatoriga, moodustades 24 tähetunni jooksul taevaskeral ringid — taeva paralleelid ehk rööbikud.

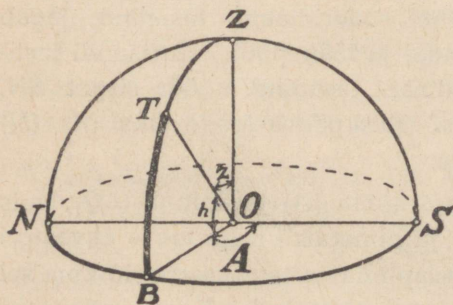
Ühes taevaskeraga ümber maailma telje ringi käies jõuavad tähed kõige kõrgemasse (vastavalt madalamasse) asendisse horisondi suhtes siis, kui nad läbivad meridiaani tasapinna. Tähe meridiaanist läbimineku momenti nimetatakse tema **kulminatsiooni momendiks**. Neid on kaks: ülemise (kõrgeim asend) ja alumise (madalaim asend) kulminatsiooni moment.

1. Millal on (ligikaudu) Päike ülemises ja millal alumises kulminatsioonis?

2. Tähe ülemise kulminatsiooni moment on kl. 9 õhtul. Millal on see täht alumises kulminatsioonis?

5. Ehitada aeda või õue sirgeist varbadest mudel, kus on ära märgitud maailma telje, ekvaatori, keskpäeva-joone jne. sihid.

4. Missuguses taevaskera kohas on tähtede ööpäevase liikumise joonkiirus kõige suurem?



Joon. 9. Horisondilised koordinaadid.

10. Horisondilised koordinaadid. Koordinaatide all üldse mõistetakse suurus, millede abil määratakse punkti asend mingil pinnal, joonel või ruumis. Taeva koordinaatide abil määrame taevakeha täpse asendi taevaskeral. Lihtsaks taeva koordinaatide süsteemiks on nn. **horison-**

dilised koordinaadid: asimuut ja kõrgus. Joonisel 9 on kujutatud taevavõlv. Vaatleja asetseb punktis O , SZN on meridiaani tasapind ja SBN matemaatilise horisondi tasapind, Z — seniit. Oletame, et vaatleja tahab määrata tähe T asendit horisondi suhtes. Selleks tõmbame tasapinna läbi antud tähe T ja vertikaaljoone OZ . See tasapind (TZO) lõikub horisondi tasapinnaga mööda sirget OB ja moodustab meridiaani tasapinnaga SZN nurga SOB , nn. asimuudi. Niisiis **asimuut** (A) on nurk meridiaani tasapinna ja antud punkti läbiva vertikaal-tasapinna vahel. Asimuudi suurust mõõdab joonnurk SOB ehk temale vastav kaar SB ; nullpunktiks on lõunapunkt S . Asimuuti mõõdetakse lõunapunktist (0°) alates **läänesuunas** üle põhjapunkti (180°) kuni lõunapunktini (360°). Niisiis on läänepunkti asimuut 90° , idapunkti asimuut 270° jne. Meresõidul mõõdetakse sageli asimuuti ka põhjapunktist alates ida suunas.

Asimuut määrab küll vertikaal-tasapinna, milles asetseb täht, kuid ei näita veel, **mis suunas** paistab täht selles tasapinnas. Selleks on tarvis mõõta nurk TOB , s. o. nurk vaatesuuna OT ja selle projektsiooni OB vahel. Nimetame nurga TOB , mis mõõdab tähe kaugust horisondilt, **kõrguseks** (h). Nurga TOB asemel võime muidugi mõõta ka temale vastava kaare suurust (BT). Kõrgust loetakse horisondi tasapinnalt alates kahele poole: üles (+) ja alla (—); järelikult on seniidi kõrgus 90° , nadiiri kõrgus -90° .

Sageli tarvitatakse kõrguse täiendust 90° -ni, s. o. tähe kaugust seniidist ehk nn. **seniidikaugust** (z). Seniidikaugus on alati positiivne. On selge, et

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

Peame meeles, et pooluse kõrgus (φ) Tartu horisondi suhtes on $58^\circ 23'$, Tallinnas aga $59^\circ 26'$.

Näidata ligikaudselt (käega) taevavõlvi kohad, millede asimuudi ja kõrguse suurused vastavalt on: $0^\circ, 0^\circ; 90^\circ, 45^\circ; 270^\circ, 60^\circ; 180^\circ, 60^\circ; 135^\circ, 45^\circ; 0^\circ, -50^\circ$ jne.

1. Kas püsivad taevakeha (tähe, Päikese) horisondilised koordinaadid kogu aja samadena või on nad muutlikud?

2. Jälgida Päikese asimuudi ja kõrguse ligikaudset muutumist ühe päeva jooksul. Kuidas nad muutuvad — ühtlaselt või ebaühtlaselt?

3. Millal (kuupäev) on meil Päikese tõusu (vast. loojangu) asimuut kõige suurem, millal kõige väiksem?

4. Missugusel päeval aastas saavutab Päike keskpäeva ajal meil suurima kõrguse?

5. Kas kinnistähtede tõusu asimuut ja kulminatsiooni kõrgus muutuvad päevast päeva?

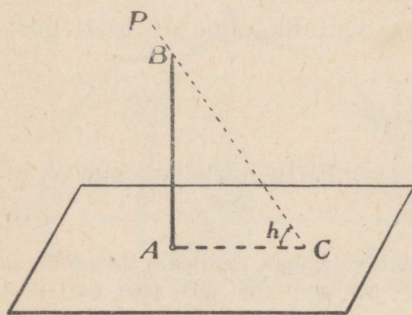
6. Teha papist või lauatickest joonisel 10 kujutatud riist kõrguse või seniidikauguse mõõtmiseks ning mõõta sellega Päikese kulminatsiooni kõrgus, pooluse kõrgus jne. Kuhu tuleb teha 0° -punkt, et skaala näitaks z (vast. h) suurust? Harjutuseks mõõta lähedal olevate esemete kõrgusi (vast. seniidikaugusi)!

7. Vanad kreeklased ja egiptlased tarvitasid Päikese kõrguse

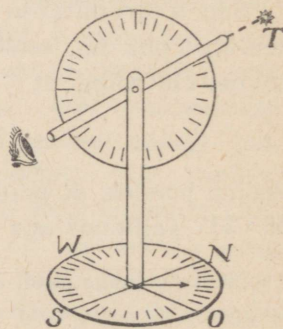
Joon. 10. Riist kõrguse mõõtmiseks.

mõõtmiseks **gnomonit** (joon. 11), mis pole muud midagi kui rõhtsale lauale püsti pandud varras (AB). Kuidas on võimalik niisuguse riistaga Päikese kõrgust määrata?

8. Kuidas otsustavad sagedasti Päikese kõrguse üle karjased?



Joon. 11. Gnomon.

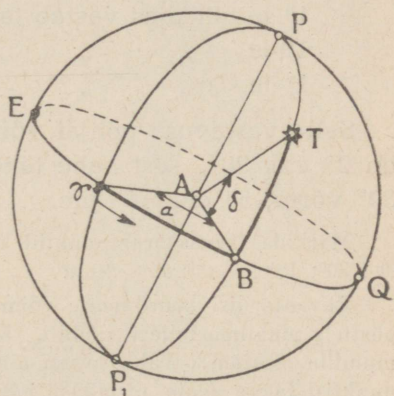


Joon. 12. Teodoliit.

9. Täpsemaks kõrguse ja asimuudi mõõtmiseks tarvitatakse nn. teodoliiti, mis on skemaatiliselt kujutatud joonisel 12.

Väike teleskoop (pikksilm) pöörduv vertikaal-tasapinnas üles ja alla — sel teel mõõdame kõrgust või seniidikaugust; teleskoopi ümber püsttelje pöörates mõõdame asimuuti. Hinnata silma abil, kui suur on joonisel 12 tähe T ligikaudne asimuut ja kõrgus.

11. Ekvaatorilised koordinaadid. Ekvaatorilised koordinaadid määravad taevakeha asendi taeva ekvaatori suhtes. Olgu joonisel 13 PP_1 maailma telg, EBQ ekvaatori tasapind ja T antud täht. Tõmbame läbi antud tähe ja maailma telje tasapinna, mis lõikub taevaskeraga mööda ringjoont $PTBP_1$. Nimetame tähe (T) kauguse ekvaatorist tähe käändeks ehk deklinatsiooniks (δ). Deklinatsiooni mõõdame ekvaatorilt alates nurga BAT ehk sellele vastava kaare BT abil 0° -st (ekvaator) 90° -ni (poolus). Ekvaatorist põhja poole loetakse deklinatsioon positiivseks (+), lõuna poole negatiivseks (—). Seega on siis põhjapooluse $\delta = +90^\circ$, lõunapooluse $\delta = -90^\circ$.



Joon. 13. Ekvaatorilised koordinaadid.

Deklinatsioon määrab küll kindlaks tähe kauguse ekvaatorist, kuid ei ütle, kus kohal ekvaatoril tuleb antud deklinatsiooni võrra põhja või lõuna poole minna. Selle määrab teine koordinaat — **otsetõus** (α), mida mõõdetakse nurgaga antud taevakeha läbiva deklinatsiooni-poolringi ja nn. **kevadpunkti** (ϖ) läbiva poolringi vahel. Seda nurka mõõdetakse harilikult vastava kaarega (ϖB) mööda ekvaatorit **vastupäeva** (lääne—ida) suunas 0° -st 360° -ni.

Kevadpunkti läbib Päike kevadisel pöörpäeval (21. märtsil). Tema märgiks on ϖ , mis tuletab meelde jäara sarvi, sest selle mõiste tarvituselevõtmise ajal, enam kui 2000 aastat tagasi, oli

Päike kevadisel pööripäeval Jäära tähtkujus. Nüüd asub kevadpunkt Kalade tähtkujus.

Otsetõusu võime mõõta kaare- või nurgakraadides, kuid sageli on kasulik mõõta otsetõusu ka ajas, s. o. ajaühikute abil. Taevaskera pöörduv ümber maailma telje 360° ehk täispöörde võrra ühe tähe ööpäeva jooksul. Järelikult

taevaskera pöördumisele 360° vastab täheajas 24^h				
"	"	1°	"	" 4^m
"	"	$1'$	"	" 4^s
"	"	$1''$	"	" $\frac{1}{15}^s$

Ümberpöörduvalt,

1^h -le täheajas vastab taevaskera pöördumine 15°	
1^m -le " " " " $15'$	
1^s -le " " " " $15''$	

Selle vastavuse põhjal võime näiteks öelda, et tähe otsetõus on 2^h ehk 30° , sest kahe tähetunni jooksul pöörduv taevaskera 30° võrra; 5^h ehk 75° jne.

Märkida taevaskeral punktid, millede koordinaadid on: $0^h, 0^0$; $6^h, 60^0$; $9^h, 30^0$; $18^h, -45^0$; $12^h, -30^0$.

Ekvaatorilisi koordinaate võime mõõta teodoliidi abil, kui seada selle püsttelg maailma teljega rööbiti. Kõrgusele vastab siis deklinatsioon ja asimuudile otsetõus. Vahe seisab ainult selles, et asimuuti loetakse lõunapunkti lääne poole, otsetõusu aga kevadpunkti (γ) ida poole (kui vaadata lõunasse). Niiviisi ehitatud eriline riist on kujutatud joonisel 14 ja seda nimetatakse ekvatoriaaliks.

1) Võrrelda horisondilisi koordinaate ekvaatorilistega! Nimetada mõlemate head ja halvad küljed!

2) Joonestada taevaskera ühes kohaliku horisondiga (pooluse kõrgus õigesti võtta!). Oletame, et kevadpunkt asetseb idapunkti. Märkida taevaskeral õigesti järgmiste tähtede asendid:

Kapella (Jõulutäht):

$$\alpha = 5^h 12^m ; \delta = + 45^\circ 56'$$

Siirius (Orjapäht):

$$\alpha = 6^h 43^m ; \delta = - 16^\circ 38'$$

Veega (α Lyrae):

$$\alpha = 18^h 35^m ; \delta = + 38^\circ 44'$$

Hinnata joonise põhjal ligikaudu nende horisondilised koordinaadid!

12. Side δ , z ja φ vahel kulminatsiooni momendil. Taevakeha (tähe) horisondilisi koordinaate võime teodoliidi abil otseselt määrata. Ekvaatorilised koordinaadid määratakse kaudselt: δ — seniidikauguse (z) ja pooluse kõrguse (φ) ning α — täheaja (t) kaudu. Vaatame lähemalt, kuidas määratakse δ . Joon. 15 kujutab skemaatiliselt tähe T asendit ülemise kulminatsiooni momendil.

T asetseb meridiaani tasapinnas, mida kujutab joonise pind; samuti on meridiaani tasapinnas ka kõik teised joonisel kujutatud jooned, nimelt: maailma telg PP_1 , keskpäevajoon SN , ekvaatori tasapinna ja meridiaani tasapinna lõikejoon EQ ja vertikaaljoon AZ .

Tähe T deklinatsiooni (δ) mõõdab nurk TAE , seniidikaugust (z) nurk TAZ ja pooluse kõrgust (φ) nurk PAN . Joonisest selgub, et

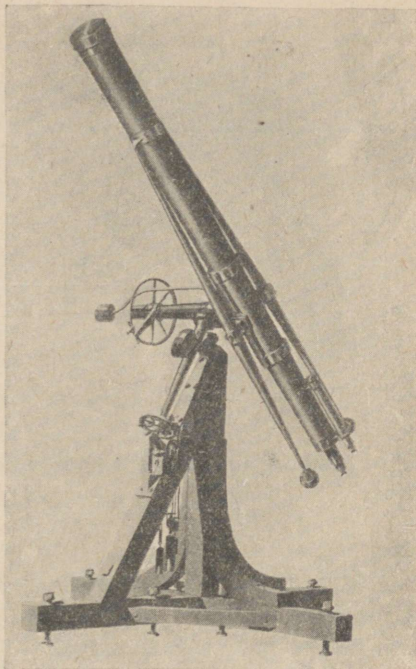
$\angle EAZ = \angle PAN \dots (1)$
 kui vastastikku risti olevate külgede nurgad; edasi $\angle EAZ = \angle EAT + \angle TAZ$;
 võttes siit $\angle EAZ$ väärtuse

ning asetades võrdusse (1), saame:

$$\angle EAT + \angle TAZ = \angle PAN \text{ ehk}$$

$$\underline{\delta + z = \varphi.}$$

See lihtne valem seob kolm suurust (δ , z ja φ) ning võimaldab leida igaühte neist, kui on teada ülejäänud kaks.



Joon. 14. Tartu Ülikooli tähetorni Fraunhoferi refraktor, üles seatud a. 1824. Objektiiv läbimõõt 24 sm, fookuse kaugus 450 sm. Omal ajal oli see suurim ja parim refraktor maailmas.

Valem $\delta + z = \varphi$ on tuletatud juhul, kui täht kulmineerib lõuna pool seniiti. Kui täht kulmineerib põhja pool seniiti, siis kehtib valem

$$\underline{\delta - z = \varphi.}$$

Alumise kulminatsiooni puhul aga

$$\underline{\delta + z + \varphi = 180^\circ.}$$

Tõestada seda!

Kõrguse (h) leidmiseks tuleb tarvitada seost $h + z = 90^\circ$.

Näiteid. a) Kui kõrgel kulmineerib Tartus ($\varphi = 58^\circ 23'$) Kapella ($\delta = +45^\circ 56'$)?

$$\delta + z = \varphi; z = \varphi - \delta = 58^\circ 23' - 45^\circ 56' = 12^\circ 27';$$

$$h = 90^\circ - z = 90^\circ - 12^\circ 27' = 77^\circ 33'.$$

b) Tallinnas ($\varphi = 59^\circ 26'$) kulmineerib Siirius $13^\circ 56'$ kõrgusel. Määrata Siiriusse δ .

$$z = 90^\circ - h = 90^\circ - 13^\circ 56' = 76^\circ 4'; \delta + z = \varphi;$$

$$\delta = \varphi - z = 59^\circ 26' - 76^\circ 4' = -16^\circ 38'.$$

c) Määrata pooluse kõrgus Võrus, kus 22. juunil on Päikese ($\delta = +23^\circ 27'$) ülemise kulminatsiooni kõrgus $h = 55^\circ 37'$.

$$z = 90^\circ - h = 34^\circ 23'; \varphi = \delta + z = 23^\circ 27' + 34^\circ 23' = 57^\circ 50'.$$

1. Kui kõrgel kulmineerib Päike Tallinnas (Moskvas, Leningradis, Riias, Londonis, Roomas) 22. juunil ($\delta = +23^\circ 27'$) ja 22. detsembril ($\delta = -23^\circ 27'$)?

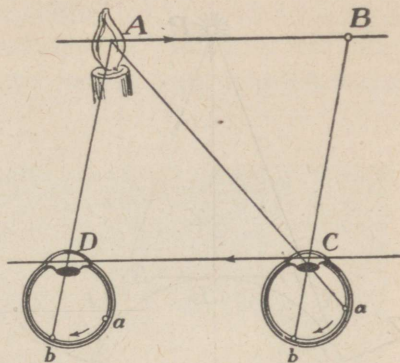
2. Missugused tähed kulmineerivad seniidis Tartus (Tallinnas, oma kodukohas)?

3. Missugused tähed puudutavad ülemises kulminatsioonis Tallinna (Võru) horisonti?

III. Maa pöörlemine ümber telje.

13. Taevaskera pöörlemise seletamine. Otseste vaatluste abil oleme loonud enestele kujutluse taevaskerast, millele on kinnistatud lõpmatu hulk tähti ja mida mööda liiguvad Päike, Kuu,

planeedid ning teised taevakehad. Taevaskera ühes kõigi temal näha olevate taevakehadega ei püsi paigal, vaid pöörleb maailma telje ümber idast läände. Kas tõepoolest taevaskera ühes kõigi taevakehadega pöörleb idast läände või toimub looduses tõeliselt midagi muud, mille tõttu meile ainult näib, nagu pöörleks taevaskera? Kas pole taevaskera pöörlemine ümber maailma telje suurepärane looduse illusioon, mis kõiki Maa elanikke ühte viisi valdab? Tuneme ju igapäevasest elust nii mõndki liikumisillusiooni ehk -meelepetet. Näiteks jaamas seisab kaks rongi. Naaberrong hakkab liikuma, meie jääme paigale. Meile aga tundub siis sageli, nagu liiguksime meie ning naaberrong seisaks paigal.



Ainult lähedal seisvate esemete (majad, telegraafitulbad jne.) jälgimine vabastab meid sellest illusioonist.

1. Missugune illusioon tekib sageli, kui rong, kus meie asume, tähelepanematult liikuma hakkab ja naaberrong paigale jääb?

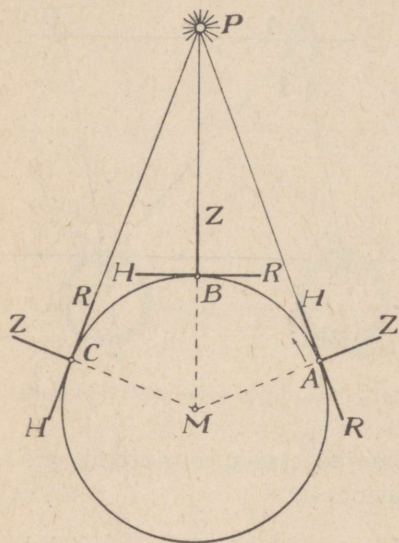
2. Liikumisillusiooni näitena tehkem järgmine katse. Laua ääres istudes toetada käsi küünarnukil lauale, pigistada silmad kinni, panna sõrmeots otsaesisele ja pöörata pead nõnda, et sõrmeots mööda otsaesist ühelt poolt teisele nihkuks. Kas on tunda vahet, võrreldes sellega, kui pea seisab paigal ja sõrmeots liigub?

Liikumisillusioonid on kergesti võimalikud meie silma ehituse tõttu. Nagu joonisel 16 näha, saab silm esemest (küünal) kahel isesugusel juhul täiesti samasuguse liikumise võrkkestal: kas ese nihkub A-st B-sse ja silm on paigal C-s või ese on paigal A-s ja silm nihkub paralleelselt AB-ga nii sama palju vastassuunas, s. o. C-st D-sse. On aga mõlemal juhul muutus silmas sama, siis ei ole meil ainult silma abil kuidagi võimalik otsustada, kumb liikumine on silmas tekkinud kujutise liikumise põhjuseks. Tahame selgusele jõuda, siis tuleb otsustamiseks appi võtta teisi nähtusi.

Taevaskera pöörlemise illusiooni on meil võimalik seletada Maa pöörlemisega oma telje ümber vastassuunas taevaskera

pöörlemisele, s. o. läänest itta. Silm saab mõlemal juhul täitsa sama pildi. Nagu joonisel 17 näha, saame Maa pöörlemise abil läänest itta kergesti seletada Päikese päevast teekonda taevavõlvil üle meie vaatepiiri. Nii näiteks kohas *A* Päike tõuseb,

kohas *B* — kulmineerib ja kohas *C* — loojub.



Joon. 17. Taevaskera pöörlemise seletamine.

14. Üldisi argumente Maa pöörlemise kasuks. Juba üksikud Vana-Kreeka astronoomid (*Aristarchos* Samoselt, III saj. e. m. a., *Seleukos*, II saj. e. m. a.) arvasid, et taevaskera pöörlemist ümber maailma telje võib seletada Maa pöörlemisega ümber oma telje. Kuid need mõtted ei suutnud pinda leida tolle aja teadusmeeste laiemais ringkonnis ja jäid seetõttu unustusse. Alles uusaja alguses esitas *Kopernikus* (1473—1543) uuesti Maa pöörlemise õpetuse, seda lähemalt põhjendades.

Nikolaus Kopernikus, moodsa astronoomia isa, sündis 19. veebr. 1473. a.

Thornis. Õppis esiti Krakovi ülikoolis, pärast Itaalias Bologna, Padova ja Ferrara ülikoolis õigus- ja arstiteadust, ühtlasi ka matemaatikat, astronoomiat ja kreeka keelt. Oli lühikest aega oma onu, piiskop *Watzelrode* ihuarstiks, hiljem oma surmani (24. veebr. 1543) *Frauenburgis* toomhärnaks (toomkiriku vaimulik). Pühendas kogu oma vaba aja täheteadusele. Tema elutöö „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ („Taevaskera pöörlemisest“) ilmus trükist pisut aega enne ta surma.

Kui meil on mitu võimalust taevaskera pöörlemise seletamiseks, siis tuleb valida neist muidugi see, mis on tõenäolisem. Oletus, et taevaskera ühes Päikese, Kuu ja tähtedega pöörleks ümber Maa, on vähe tõenäoline järgmistel üldistel põhjustel:

1. Taevakehi on väga palju, nad on suured ning asetsevad meist väga kaugel. Pole loomulik, et lõpmata hulk kaugeid ja suuri taevakehi pöörleks ümber võrdlemisi tillukese Maa.

2. Kõigi kinnistähete pöörlemisperiood on ühepikkune, hoolimata mitmesugusest kaugusest maailma teljest. See oleks liiga kunstlik korraldus kauguse ja aja suhtes.

Need taevaskera pöörlemise seletamisel tekkinud raskused kaovad, kui oletame, et Maa ei püsi paigal, vaid pöörleb vurrisarnaselt ümber oma telje.

15. Maa pöörlemise tõestusi. Kopernikusel ei olnud võimalik esitada ühtegi katselist tõestust Maa pöörlemise kasuks, sest need olid tol ajal veel tundmatud. Kopernikuse suuremaks argumendiks oli tema seletuse lihtsus ja loomulikkus. — Alles hulk aega hiljem avastati looduses, samuti ka katselisel teel rida nähtusi, mida ainult Maa pöörlemise abil lihtsalt seletada saab ja mis seetõttu on tõestuseks, et Maa pöörleb. Toome siin mõned neist nähtustest.



Joon. 18. Nikolaus Kopernikus.

a) Foucault' pendli-

katse. Katse näitab, et vabalt võnkuval tasapendilil on omadus säilitada oma võnkumistasapinda ka siis, kui pendli niidi kinnituspunkt ruumis edasi nihkub või niit ühes pendli massiga on pandud pöörlema.

Tuginedes sellele pendli omadusele tegi prantsuse füüsik Foucault (loe: fukoo) a. 1851 Pariisis oma kuulsa pendlikatse, mis tõestab Maa pöörlemist ümber telje. Katse oli järgmine. Panthéoni torni all pandi võnkuma keskpäeva-joone sihis hästi pikk (67 m) tasapendel üsna suure massiga (28 kg). Pendlikeha alumine terav ots puudutas võnkudes liivakorruga kaetud tasast



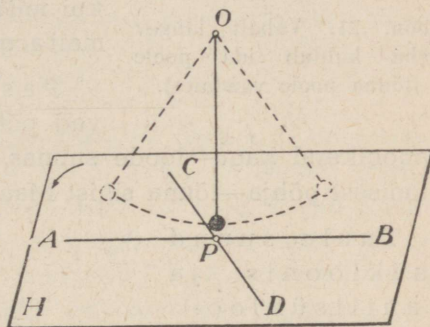
Joon. 19. Foucault' pendlikatse Pariisis Panthéonis a. 1851.

põrandat, jättes järele jäljed, mis näitasid võnkumise sihti. Juba varsti pärast võnkumise algust võis tähele panna, et pendli võnkumistasapind ei püsi paigal, vaid pöördub päripäeva (lõunaots idast läände). Seda nähtust võime hõlpsasti seletada Maa pöörlemisega läänest itta.

Oletame, et vaatleja asetseb põhjapoolusel ja pendel OP on pandud võnkuma tasapinnas OAB (joon. 20). Kui Maa pöörleb läänest itta, siis peab pendel tükk aega hiljem võnkuma juba näiteks tasapinnas OCD , sest horisondi tasapind H ühes Maaga ei püsi paigal, vaid pöörduv vastupäeva, kuna pendli võnkumise tasapind ruumis jääb endiseks.

Et Maa teeb ümber telje liikumisel ühe täispöörde ühe tähe öö-päeva (24^h) jooksul, siis pöörduv poolusel horisont igas tunnis $360^\circ : 24$, s. o. 15° võrra.

Poolusele vastandina ei pöördu horisondi tasapind ekvaatoril pendlitasapinna suhtes mitte, seepärast ei ole ka ekvaatoril märgata pendli võnkumistasapinna kõrvalekaldumist horisondi suhtes. Üldjuhul laiusel φ° pöörduv pendli tasapind 1 tunni jooksul 15° sin φ .

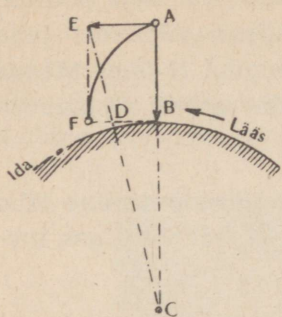


1. Eritella valemit $\alpha = 15^\circ \sin \varphi$ Joon. 20. Pendli võnkumine poolusel. laiusel φ muutudes 0° -st 90° -ni!
2. Leida α Tallinna ja Tartu jaoks!

Märkus. Foucault' katsed võib teha ka päris lühikese (~ 2 m) pendliga klassiruumis.

b) Vabalt langevate kehade vertikaalsihist kõrvalekaldumine ida poole. Kui Maa seisaks paigal, siis liiguks iga vabalt langev keha raskustungi (vertikaaljoone) suunas. Oletame, et selle aja jooksul, mil keha langeks vertikaalsihis (joon. 21) A -st B -sse, AB (torn) nihkub Maa pöörlemise tõttu ida poole asendisse ED . Liites liikumised AE ja AB rööpküliliku reegli põhjal saame langeva keha lõppasendi punktis F , mis asetseb vertikaalsihis ED ida pool, sest punkti A kiirus on suurem kui punktil B .

c) Mitmesugused nähtused, mis tõestavad Maa pöörlemist.



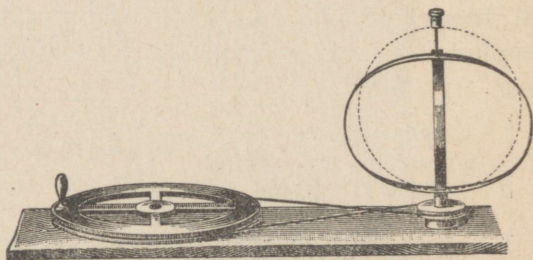
Joon. 21. Vabalt langev keha kaldub ida poole (lõuna poole vaadates).

Tuule suund tsükloonis ja antitsükloonis, mis Maa põhjapoolkeral alati paremale poole pöörduvad, lõunapoolkeral aga ümberpöörduvad; parempoolse jõekalda uhtumine põhjapoolkeral jne.

Looduses leiame palju nähtusi, mille rahuldav seletamine eeldab Maa pöörlemist ümber telje ja mis seetõttu on Maa pöörlemise kaudseks tõestuseks. Loetleme siin mõned tuntumad neist.

Maa kuju — lapik pooluste suunas — on sarnane pöörlevate kehade tasakaalu kujuga, järelkult peab Maa kui mitte praegu, siis vähemalt varem aegadel olema pöörelnud (joon. 22).

Passaattuuled, mis puhuvad põhjapoolkeral kirde—edela, lõunapoolkeral kagu—loode suunas, tekivad õhuvoolu kõrvalekalldumisest põhja—lõuna sihist Maa pöörlemise mõjul.



Joon. 22. Vetruv rõngas muutub pöörlemise mõjul lapikuks.

IV. Maa kuju ja suurus.

16. Maa on tasane ketas. Lagedal väljal enese ümber vaadates saame mulje, et Maa on tasane ketas, mille äärele toetub kumer taevavõlv. Niisuguse mulje Maast saame igal pool lage-

dal kohal ja alati; eriti tuletab meelde tasast ketast peegelsile merepind. Need üksikud kohalikud tähelepanekud olid aluseks esimese kujutelma loomisel **M a a s t k u i t e r v i k u s t**. Seepärast on loomulik, et inimese esimeseks kujutelmaks Maast on tasane ketas.

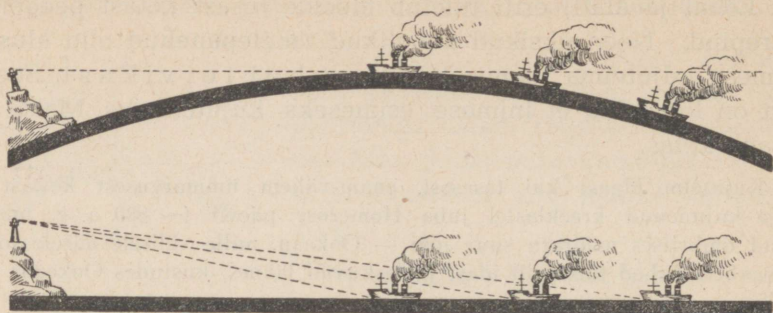
Kujutelm Maast kui tasasest, enam-vähem ümmargusest kettast oli välja kujunenud kreeklastel juba Homerose päevil (~ 800 a. e. m. a.). Maad ümbritses määratu suur jõgi — Ookean, mille välisele äärele toetus taevavõlv. Tähed tõusevad idast ja laskuvad läänes, kustudes Ookeani voo-gudes.

Vanade eestlaste arusaamise järgi koosnes Maailm kolmest osast: ketta-taoline **M a a**, mille ärtele toetus **T a e v a s**, ja **M a a** all olev **M a n a l a** ehk **T o o n e l a**. Kalevipoeg tahtis sõita maailma otsa, kus Taevas ühtib Maaga. et „Taeva tagant-seina käsil minna katsumaie, ilma otsa otsidelles sõrme-della sorkimaie“, kuid see tal ei õnnestunud.

17. Maa on kerakujuline. Maa kerasüst õpetasid esimestena **p ü t a a g o r l a s e d** juba umbes 500 a. e. m. a. Nende arvates pidi Maa olema kerakujuline, sest kera on oma kujult kõigist kehadest kõige täiuslikum. Nii ei olnud Maa kerasuse õpetuse aluseks esialgu tähelepanekud loodusest, vaid puhtspekulatiiv-sed (teoreetilised) mõttekujutused. Pütaagorlaste algatatud õpe-tuse Maa kerasusest võtsid omaks pärastised suured kreeka mõttetargad **P l a t o n** ja **A r i s t o t e l e s**. Viimane toob oma töös „Taevast“ rea nähtusi, mis räägivad Maa kerasuse kasuks. Sel-lega oli küsimuse spekulatiivsest käsitlusest üle mindud loodus-teaduslikule käsitlusele — vaatluste abil.

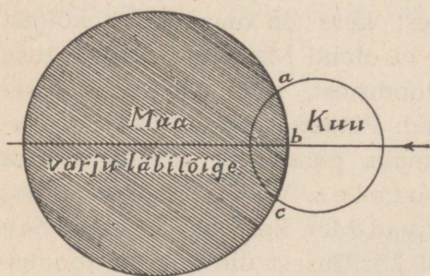
Meile üldiselt tuttavad Maa kerasuse tõestused olid peaaegu kõik tuntud juba Vana-Kreeka teadusmeestele, seega on nad siis üle 2000 a. vanad. Toome tähtsamad neist.

1. **L a e v a l ä h e n e d e s** meie näeme kõige esiti suitsu, siis mastiotsi, korstnaid, laeva lage ja viimaks keret; **l a e v a k a u - g e n e d e s** kaovad laevaosad silmist vastupidises järjekorras. See nähtus kordub Maa pinnal **i g a l p o o l j a i g a s s u u n a s**, järelikult peab Maa pind olema **i g a s s u u n a s e n a m - v ä - h e m ü h t e v i i s i k u m e r**. — Kuidas paistaks sama nähtus tasapinnalise Maa puhul (vt. joon. 23!)?



Joon. 23. Laeva lähenedes näeme kõige esiti suitsu.

2. Kuuvarjutuse ajal läheb Kuu ümber Maa liikudes Maa varju. Seejuures on Kuu varjutatud ja varjutamata osa piirjoon (abc) alati ringjooneline (joon. 24). Sellest järeldame, et Maa vari on koonu-
setaoline, ükskõik kuspool Maad asetseb Päike. Koonu-
setaolise varju annab alati ainult kera, järelikult peab Maa olema kerakujuline.



Joon. 24. Varju piirjoon on ringjooneline.

Teha papist (paberist) ketas (Kuu) ja asetada teda mitmesuguste äärjoontega kehade taha! Millest oleneb ketta nähtava osa piirjoon?

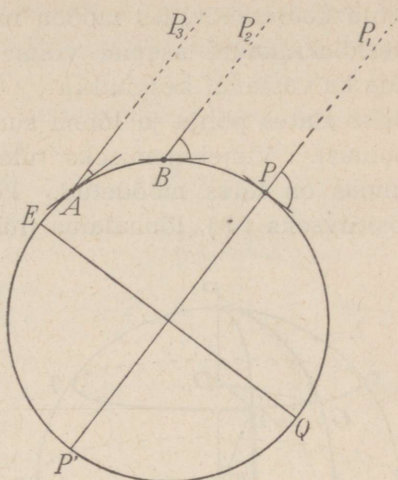
3. Kui reisida lõuna (ekvaatori) poolt põhja poole, siis võime tähele panna, et Põhjanaan (põhjapoolus) tõuseb järjest kõrgemale. Niisugune nähtus on hõlpsasti seletatav, kui Maa on kerakujuline. Tõepoolest, tähed on meist, võrreldes Maa raadiusega, väga kaugel. Seetõttu võib tähtedelt meile tulevad valguskiired lugeda tegelikult paralleelseteks. Nagu joonisest 25 nähtub, tõuseb Maa kerakujulise

järjest kõrgemale, kui liikuda lõuna poolt põhja poole. Tasapinnalise Maa puhul paistaks Põhjanaanel meile alati samas kõrguses.

4. Kõige veenvamaks Maa kerasuse tõestuseks on muidugi igasuunalised ümber maailma reised, sest tasapinnal poleks säärased nähtused üldse võimalikud.

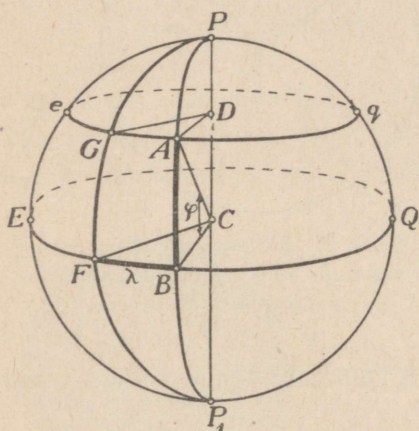
18. Geograafilised koordinaadid. Nagu nägime, võime lugeda Maad esimeses lähenduses kerakujuliseks. Seejärel saab antud koha asendi kindlaksmääramisel Maa pinnal tarvitada samasugust joonte ja pindade süsteemi, nagu seda tegime varemini asendi määramisel taevaskeral (§ 11). Kordame siin lühidalt juba geograafiast tuntud mõisteid (joon. 26).

Maa teljeks (PP_1) nimetame sirget, mille ümber Maa pöörleb. Maa telje lõikepunkte maapinnaga nimetatakse poolusteks ehk nabadeks. Neid on kaks: põhja- (P) ja lõunapoolus (P_1). Maa tsentrist (C) teljega (PP_1) risti tõmmatud tasapinda nimetatakse ekvaatori ehk poolitaja tasapinnaks (EBQ). Lõikudes Maa kui kerapinnaga annab ekvaatori tasapind ekvaatorijoone. Ekvaatoriga paralleelsed tasapinnad annavad Maaga lõikudes paralleeljooned ehk rööbikud (eAq). On selge, et ekvaator kui ka kõik rööbikud on ringjooned. Antud koha (punkti) meridiaani tasapinnaks nimetame sellest kohast (punktist) ja Maa teljest läbi minevat tasapinda. Lõikudes Maa pinnaga annab meridiaani tasapind meridiaanijoone.



Joon. 25. Ekvaatorilt põhja poole minekul tõuseb põhjapoolus järjest kõrgemale.

Antud kohta (A) geograafiliseks laiuuseks (φ) nimetatakse selle kohta kaugust ekvaatorist (\widehat{AB}), mõõdetud kaaremõõtetudes mööda meridiaani, mis läbib antud kohta. Meridiaanikaare asemel võime geogr. laiuse mõõtmisel tarvitada ka vastavat kesknurka ($\angle ACB$). Laiust mõõdetakse ekvaatorist alates põhja ja lõuna suunas 0° -st (ekvaator) kuni 90° -ni (poolus). Vahetegemiseks tuleb iga kord ära tähendada, mis suunas on laius mõõdetud. Põhjalaius (lühend. p.-l.) loetakse positiivseks (+), lõunalaius (lühend. l.-l.) negatiivseks (—).



Joon. 26. Geogr. koordinaadid.

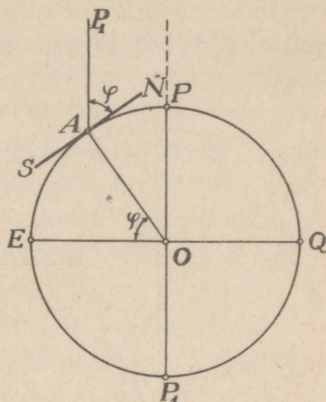
Geogr. pikkuseks (λ) nimet. antud kohta (A) meridiaani kaugust nn. nullmeridiaanist, mõõdetud ekvaatori (\widehat{BF}) või mõne rööbiku (\widehat{AG}) kaare abil. Muidugi võime kaare asemel tarvitada ka vastavat kesknurka ($\angle BCF$). Nullmeridiaaniks (PGP_1) võime võtta iga meridiaani. Otstarbekus nõuab, et kõik tarvitaksid ühte ning sama nullmeridiaani. Harilikult on nullmeridiaaniks Greenwichi meridiaan. Geograafilist pikkust mõõdetakse nullmeridiaanist ida ja lääne poole 0° -st 180° -ni.

Sageli on kasulik väljendada kahe kohta geograafiliste pikkuste vahet ajas (λ^h), mis näitab, palju aega kulub Maa pöörlemiseks pikkuste vahele vastava nurga võrra. Nagu varemini (§ 11) nägime, vastab 1^h 15° -le, 2^h 30° -le jne.

Võrrelda geograafilisi koordinaate ekvaatoriliste koordinaatidega!

19. Geograafilise laiuse määramine. Maa pöörlemine oma telje ümber tekitab meis illusiooni, nagu pöörleks taevaskera

ümbەر maailma telje. Tähendab, maailma telje siht ongi õieti maatelje siht. Asendi vahetamine maapinnal ei muuda meil maailma telje sihti, sest maapinna punktide kaugus maateljest on niivõrd väike, võrreldes taevakehade kaugusega, et meile igal pool maapinnal maailma telje siht jääb paralleelseks maateljega. — Selle maailma-telje sihi oma-duse põhjal on kerge määrata astronoomilisel teel antud koha geograafilist laiust. Olgu (joon. 27) antud koha A geogr. laius $\varphi = \angle AOE$; maailma telje siht AP_1 samas kohas moodustab horison-diga SN nurga P_1AN , mille nimetasime selle koha pooluse kõrguseks. Et $AP_1 \parallel OP$, siis $\angle AOE = \angle P_1AN$, kui nurgad vastastikku risti olevate külgedega ($AO \perp AN$ ja $EO \perp AP_1$; mispärast?). Järelikult antud koha geograafiline laius võrdub pooluse kõrgusega selles kohas.

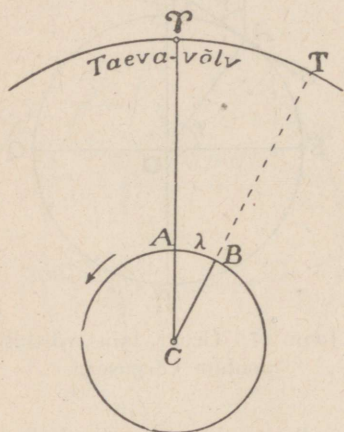


Joon. 27. Geogr. laius võrdub pooluse kõrgusega.

Poolus on geom. punkt, seepärast ei saa ta olla vaatluse esemeks. Valem $\delta + z = \varphi$ seob pooluse kõrguse käände ja seniidikaugusega. Siit järgnebki harilik geogr. laiuse määramise viis: mõõdetakse mõne tuntud tähe z kulminatsioonimomendil ja sellest ning δ -st arvutatakse φ .

1. Kui kõrgel kulmineerib Kapella Tallinnas ja Tartus? Missugusel laiusel kulmineerib ta seniidis?
2. Kui kõrgel kulmineerib Arktuurus Moskvast?
3. Leida Päikese kõige suurem ja kõige väiksem kulminatsioonikõrgus Eestis!
4. Missugusel geogr. laiusel Päike täna ei tõuse, vaid puudutab vaatepiiri ülemises kulminatsioonis?
5. Kas on Tallinnas näha täht, mille $\delta = -33^{\circ} 15'$?
6. Mitu korda aasta jooksul on Päike seniidis ekvaatoril?
7. Kuidas on võimalik kaardi abil koha geograafilist laiust määrata?

20. Geograafilise pikkuse määramine. Olgu joonisel 28 kujutatud Maa ja taevaskera läbilõige ekvaatori tasapinnal. Määrame näiteks ekvaatoril asetsevate punktide A ja B geogr. pikkuste vahe. Oletame, et antud momendil kulmineerib kevadpunkt (ϖ) kohas A . Siis on selles kohas täheaeg 0^h , sest tähe öö-päeva algust antud kohas loetakse kevadpunkti ülemise kulminatsiooni momendist selles kohas. Olgu punkt B lääne pool punktist A 15° võrra. Siis kulmineerib kevadpunkt B -s 1^h hiljem, s. o. tähekell näitab sel momendil A -s 1^h , B -s 0^h ja nende kohtade täheaegade vahe on 1^h , mis vastab Maa pöördumisele 15° võrra. Sama arvuga võrdub ka antud kohtade geograafiliste pikkuste vahe.



Joon. 28. Geograafiliste pikkuste vahe määramine.

Sedaviisi edasi arvutades leiame üldse: kahe antud koha geograafiliste pikkuste vahe ajas võrdub nende kohtade täheaegade vahega samal füüsilisel momendil.

Sama füüsilise momendi kindlaksmääramiseks on meil kasutada mitmesuguseid võimalusi: telegraafi-, raadio-, telefonisignaali, kuuvarjutuste algus- ning lõpp-momendid jne. Ka on võimalik kronomeetri (täpse kella) abil mõne koha, näiteks nullmeridiaani aega, õigemini selle aja järgi käivat kella kaasas kanda, kuna kohalik aeg tuleb määrata otseste vaatluste abil.

Moskva idapikkus Greenwichi suhtes on $37^\circ 54'$, Tartu oma aga vastavalt $26^\circ 43'$. Määrata Tartu ja Moskva kohalikkude aegade vahe.

21. Maa suurus. Eratosthenese meetod Maa suuruse määramiseks. Vana-ajal oli esimeseks Maa kujutluseks tasane ketas. Toetudes sellele kujutlusele ei ole võimalik otsustada kogu Maa

suuruse üle tema ühe võrdlemisi väikese osa põhjal. Ketta suuruse saamiseks tuleb mõõta raadius, s. o. ääre kaugus keskkohast. Kuigi vana-ajal tuntud Maa ulatus esialgu ainult Gibraltarist Kaspia mereni, s. o. umbes 4000 km, ei olnud tol ajal nii suurte kauguste mõõtmine võimalik.

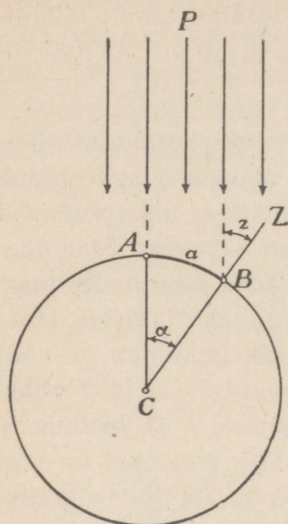
Hõlpsamaks muutus Maa suuruse mõõtmine kerakujust lähtudes, sest kera suuruse üle on võimalik otsustada selle pinna võrdlemisi väikese osa põhjal. Kera on täielikult määratud, kui teame tema raadiuse. Vaatame, kuidas on võimalik Maa raadiust mõõta. Kujutame läbi antud koha ja Maa keskpunkti tasapinna põhja—lõuna sihis. See tasapind annab lõikudes maapinnaga ringjoone, sest iga kera ja tasapinna lõikejoon on alati ringjoon. Olgu sellel ringjoonel võetud punktide A ja B vahel oleva kaare pikkus a , temale vastav kesknurk α ja raadius R . Geomeetriast teame, et sama ringjoone kaarte pikkused on võrdelised neile vastavate kesknurkadega. Kogu ringjoone pikkusele ($2\pi R$) vastab kesknurk 360° , kaarele a aga α° . Sellest saame:

$$\frac{2\pi R}{a} = \frac{360}{\alpha}, \text{ millest } R = \frac{360 a}{2\pi\alpha} = \frac{180 a}{\pi\alpha}. \quad (1)$$

Nii on ringi raadiuse mõõtmiseks küllalt, kui mõõta kaare pikkus a ja sellele kaarele vastav kesknurk α . Olgu näiteks $a = 1 \text{ sm}$ ja $\alpha = 30^\circ$, siis saame $R = \frac{180.1}{\pi \cdot 30} = \sim 2 \text{ (sm)}$.

Seda viisi Maa suuruse määramiseks tarvitasid kreeka õpetlased juba enam kui 2000 aastat tagasi. Üks esimestest, kes määras Maa raadiuse, oli Aleksandria õpetlane Eratosthenes (278—196 e. m. a.). Eratosthenese meetod on järgmine. Oletades, et Aleksandria ja Süene (nüüdne Assuan Ulem-Egiptuses) asetsevad ühel ning samal meridiaanil, määras Eratosthenes nende kohtade kauguse (suure ringi kaare a) ja sellele vastava kesknurga (α). Kauguse määramiseks tarvitas Eratosthenes karavanide liikumise põhjal saadud andmeid, millede järgi

Süene kaugus Aleksandriast oli 5000 staadiumi. Kesknurga α määras Eratosthenes astronoomiliselt. Ta teadis, et Süenes



Joon. 29. Eratosthenese meetod.

egiptuse küünart ehk 157,5 m, siis saame Maa meridiaani pikkuseks Eratosthenese järgi $\sim 39\,700$ km, mis ainult 300 km võrra erineb selle tõelisest pikkusest (40 000 km).

Kuigi Eratosthenes nii täpselt Maa meridiaani pikkuse oleks määranud, siis tuleks seda ikkagi juhuseks lugeda, sest mõõtmisel saadud andmed nii suurt täpsust ei kindlusta. Meie teame nüüd, et Aleksandria ja Süene ei asetse samal meridiaanil, vaid viimane esimesest $\sim 3^\circ$ ida pool, ei ole ka nende geogr. laiuste vahe $7^\circ 12'$, vaid $7^\circ 7'$. Muidugi kõige vähem täpselt oli mõõdetud Aleksandria ja Süene vaheline kaugus.

Olgugi Eratosthenese arvud Maa suuruse kohta ekslikud, õige on siiski meetod, mida ta selleks kasutas. Eratosthenese meetodit on rakendanud kõik pärasised Maa suuruse määrajad meie päevini. Ka ei ole Eratosthenese järeltulijad umbes 1800 aasta jooksul suutnud leida uusi teid tema poolt avastatud meetodi rakendamisel. Kuigi geogr. laiuste vahesid mõõdeti enam-vähem täpselt, valmistas ületamatuid raskusi otsene meridiaani kaarepikkuse mõõtmine mööda maad suuremas ulatuses. Täpsemad resultaadid Maa suuruse kohta saadi alles siis, kui võeti tarvitusele nn. triangulatsiooni- ehk kolmnurkade meetod Maa meridiaanikaare mõõtmiseks.

suvisel pööripäeval (22. juunil) paistab Päike keskpäeval seniidis, kuna samal ajal Aleksandrias on Päike seniidist $7^\circ 12'$ eemal. Nagu joonisel 29 näha, võrdub niisugusel juhul Päikese seniidi kaugus (z) kesknurgaga (α), sest suure kauguse tõttu võime lugeda Päikese kiiri rööpseiks. Asetades need andmed valemisse (1), saame:

$$R = \frac{180 \cdot 5000}{\pi \cdot 7\frac{1}{5}} = 40\,000 \text{ (staadiumi).}$$

Maa meridiaani pikkus ($2\pi R$) on siis ümmarguselt 250 000 staadiumi.

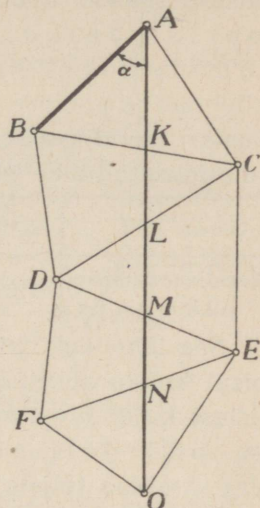
Kahjuks ei ole seni suudetud päriselt kindlaks teha staadiumi pikkust, mida Eratosthenes oma Maa suuruse mõõtmisel tarvitas. Seetõttu pole ka võimalik hinnata Eratosthenese mõõtmise täpsust. Kui staadiumi pikkuseks on, nagu arvatakse, 300

22. Triangulatsioonimeetod kaarepikkuse mõõtmisel maapinnal. Et maad mööda samas suunas pikema kauguse mõõtmist takistavad väga mitmesugused asjad (metsad, veekogud, mäed jne.), võttis hollandi õpetlane Willebrord Snellius (1591—1626) XVII sajandi alguses selleks tarvitusele kolmnurkade omadusel põhineva kaudse mõõtmisviisi. See nn. triangulatsioonimeetod (*triangulus* — kolmnurk) on järgmine.

Olgu meil näiteks tarvis mõõta mööda maad kaare pikkus AO (joon. 30). Selleks valime mõlemal pool sihti AO punktid ($B, C, D \dots$) nõnda, et igauhest neist oleksid näha kõik teised, niiöelda naaberpunktid, näiteks punktist D on näha punktid B, C, E ning F , jne. Siis on võimalik igas punktis mõõta kõik nurgad vaatesuundade vahel sellest punktist teistesse naaberpunktidesse. Ühendades joonisel 30 tähendatud viisil punktid sirgetega, saame kolmnurkade võrgu ($\triangle\triangle ABC, BCD, CDE$ jne.), kus on teada igas kolmnurgas kõik nurgad. Peale selle tuleb veel mõõta nurk BAK . Kuid ainult nurkadest on vähe. Tuleb teada veel vähemalt kolmnurga ühe külje pikkus. Mõõdame näiteks külje AB . Nüüd on meil küllalt andmeid selleks, et leida kauguse AO pikkus ainult arvutamise teel. Tõepoolest: $\triangle ABC$ -st arvutame pikkuse AK ja veel BC, KC ning $\angle AKB = \angle CKL$; edasi $\triangle KCL$ (on teada $KC, \angle KCL, \angle CKL$) võimaldab määrata pikkuse KL , jne. $AK + KL + \dots + NO$ ongi otsitav pikkus AO .

Nagu näha, on pikkuse AO leidmiseks tarvis täpselt mõõta ainult üks kolmnurga külge, mida sel puhul nimetatakse aluseks ehk baasiks. Baasi võime aga alati nõnda valida (näiteks tasasel kättesaadaval kohal), et selle mõõtmine oleks võimalik suure täpsusega. Nii näiteks on praegusaial võimalik mõõta 10 km pikkust baasi veega alla mõne millimeetri. Selles õieti ongi triangulatsiooni suurim väärtus. Ka on täpne nurkade mõõtmine palju kergem kui joonte mõõtmine.

Suuremate triangulatsioonimõõtmiste hulka kuuluvad XVIII sajandi lõpul Prantsusmaal toimetatud meridiaanikaare mõõtmised meetermõõdustiku rajamise otstarbel ja XIX sajandi esimesel poolel (1816—1855) Venemaal toimetatud meridiaanikaare mõõtmine $25^\circ 20'$ ulatusel — Doonau jõest Põhja-Jäämereni. Viimane mõõtmine on meile selle poolest huvitav, et siin Tartust läbi minevat meridiaanikaart mõõdeti ja et selle tõttu vastav osa kolmnurkade võrgust asetseb Eesti pinnal, nagu joon. 31 näha. Ka oli selle



Joon. 30. Triangulatsioonivõrk.

suurema kraadimõõlmise algatajaks ja juhatajaks tollaegne Tartu ülikooli täheteaduse-professor Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793—1864).

23. Maa kui pöördellipsoid. Lapikus. Meridiaanikaare mõõtmisest saadud andmete läbitöötamisel selgus huvitav tõsiasi: meridiaanikaare raadius suureneb poolusele lähenedes, järelikult meridiaan on ekvaatori läheduses kõveram ja pooluse läheduses lamedam. Seetõttu suureneb 1°-le vastav meridiaanikaare pikkus geogr. laiuse suurenedes, nagu juurdelisatud tabelist näha (Clarke'i järgi).

Geogr. laius	0°	20°	40°	60°	80°	90°
Meridiaanikaare 1° pikkus km-tes	110,57	110,70	111,03	111,41	111,66	111,70

See tähendab, et Maa pole mitte päris kerakujuline, vaid pisut kokku surutud ehk lapik pöörlemistelje sihis. Geomeetristest kujunditest sarnaneb sellele Maa kujule kõige rohkem nn. pöördellipsoid, mille lühem ja ühtlasi pöörlemistelg vastaks Maa teljele. Joonis 32 kujutab tublisti liialdatud Maad pöördellipsoidina. Niisiis oleksid kõik meridiaanid ellipsid, ekvaator ja rööbikud ringjooned. Praegusajal loetakse kõige täpsemaiks Maa ellipsoidi suuruse andmeiks Hayfordi omi, mis rahvusvahelise kokkuleppe kohaselt (1924) on aluseks võetud Maa kuju ja suuruse määramisel. Selle järgi

Maa ellipsoidi ekvaatori pooltelg $a = 6378,4$ km

„ „ pooluse pooltelg $b = 6356,9$ „

Nagu neist andmeist näha, on Maa kui pöördellipsoidi üks telg teisest pikem $a - b = 6378,4 - 6356,9$, s. o. 21,5 km võrra.

Kera, mis oma pind- ja ruumala suuruselt Maa ellipsoidile kõige rohkem vastab, — niisuguse kera raadius on 6371,2 km.

Sageli tarvitatakse Maa, samuti ka teiste taevakehade kuju iseloomustamiseks lapikuse (α) mõistet, mille all mõeldakse pooltelgede pikkuste vahe ($a - b$) suhet suurema poolteljega (a). Lapikus näitab, kuivõrd ellipsoid erineb kerakujust. Hayfordi andmete järgi on Maa lapikus

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{21,5}{6378,4} = \frac{1}{297} \approx \frac{1}{300}$$

Nagu näha, on Maa lapikus võrdlemisi väike. Planeetidest on eriti suure lapikusega Saturn ($\frac{1}{10}$) ja Jupiter ($\frac{1}{15}$).

1. Joonestada papitükile niidi abil ellips, välja lõigata, pista telje sihis suka-
varras läbi ja panna papitükk kiiresti
pöörlema! Pöörlemisel tekib pöördellip-
soid. Tekitada sedaviisi pöördellipsoid
pikema ja lühema pöörlemisteljega!

2. Võrrelda pöördellipsoidi (Maad)
apelsini (või õuna) ja sidruniga!

5. Kui suur on kera lapikus?

4. Maa gloobuse läbimõõt on 30 sm.
Kui tahaksime sellel Maa lapikust õigesti
kujutada, kui palju tuleks siis polaarne
pooltelg ekvaatorilisest lühem teha?

Kas oleks võimalik palja silmaga seda
vahet märgata?

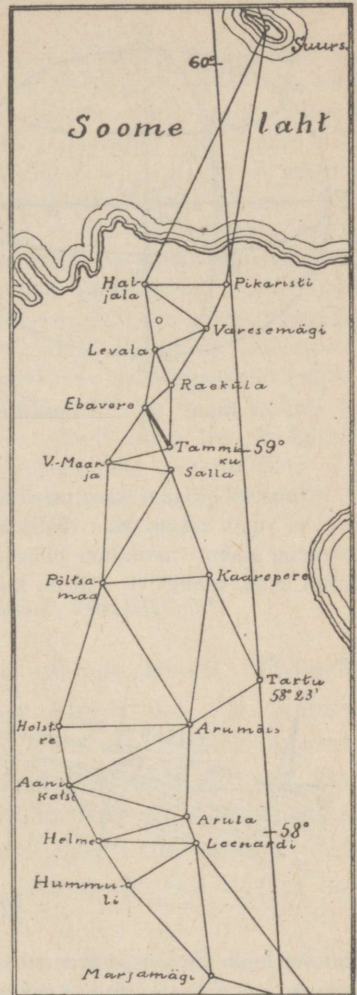
5. Millise kõrgusega tuleks kujutada
gloobusel raadiusega 15 sm Maa kõrgeim
mägi (8,8 km)?

24. Maa tõeline kuju. Geoid. Kraadi-
mõõtmised on seotud suurte ainete
kulude ja teiste raskustega. Ka ei ole
võimalik igal pool maapinnal, näiteks
merel, kraadimõõtmist ette võtta. See-
pärast tuleb ainult kraadimõõtmist arves-
tades otsustada Maa kui terviku kuju üle
võrdlemisi väheste andmete põhjal.

Viimasel ajal on hakatud kasutama
Maa kuju uurimisel väga lihtsat riista,
nimelt pendlit, mida kergesti igal pool
saab rakendada. Pendli võnkeperiood
sõltub pendli pikkusest ja Maa raskuse

kiirendusest ($T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$). Pendli pik-

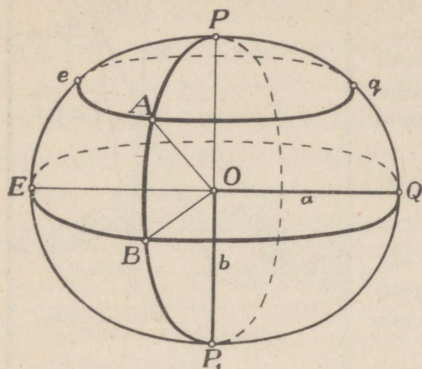
kust (l) ja võnkeperioodi (T) on võimalik
väga täpselt mõõta ning neid teades
võime pendli valemi abil kergesti arvu-
tada Maa raskuse kiirenduse (g). Gravi-
tatsiooniseadusest teame, et raskuskiirendus
sõltub kaugusest Maa keskpunkti-
st (õigemini raskuspunkti). Tähe-
ndab, antud koha raskuskiire-



Joon. 31. Triangulatsioonivõrk
Eestis.

sõltub kaugusest Maa keskpunkti-
st (õigemini raskuspunkti). Tähe-
ndab, antud koha raskuskiire-

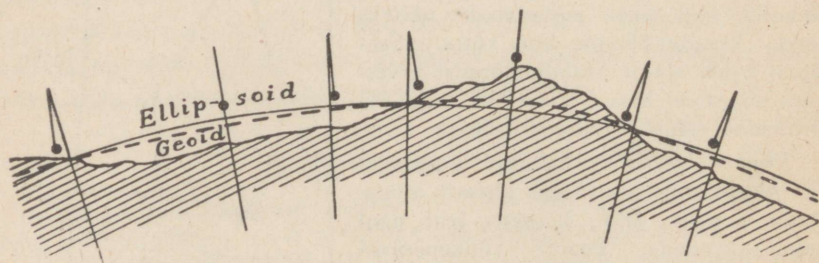
duse (g) suuruse põhjal võime otsustada selle koha kauguse üle Maa keskpunkti. Mis pendli tarvitamise eriti väärtuslikuks teeb, on tema suur tundlikkus.



Joon. 32. Ellipsoid.

Pendliga mitmel pool maapinnal katseid tehes avastati huvitav tõsiasi: sama pendel võngub ookeani keskel merepinnal kiiremini kui mandri läheduses. Järelikult peab merepind ookeani keskel suhteliselt madalamal olema kui mandri läheduses. Muidugi tuleb nende katsete puhul arvestada ka Maa sisemuse ebaühtlast tihedust, kuid silmas pidades, et vee tihedus on enam kui 2 korda väiksem maismaa pinnakihtide tihedusest, oleks võinud oodata pendlikatsetest hoopis vastupidiseid tulemusi.

Suurest hulgast vaatlusist pendli abil on jõutud otsusele, et pöördellipsoid ei vasta täiesti Maa tõelisele kujule, vaid et Maa tõeline pind on kohati kõrgem, kohati madalam pöördellipsoidi pinnast. Tõsi küll, erinevus ei ole kuigi suur, umbes ± 100 m, kuid ta on olemas. Seega tuleb üldse loobuda



Joon. 33. Geoid.

katses leida lihtsat geometrilist kujundit, mis vastaks Maa tõelisele kujule, samuti ka võttes ainult kraadimõõtmiste abil määrata Maa tõelist kuju. Iga geometriline kujund (kera, ellipsoid jne.) on ideaalne, Maa aga on reaalne (individuaalne) looduskeha ja seepärast on arusaadav, et meil pole võimalik leida kujundit, mis Maa kujule täiesti vastaks. Sellest aga ei järgne sugugi, nagu oleksid kõik senised Maa kuju (kera, pöördellipsoid) ja suuruse määramised olnud asjatud. Just ümberpöörduvalt, nad on meile

paratamatult tarvilikeks võrdluskujundeiks Maa tšelise kuju määramisel, sest nüüd ei jää muud üle, kui peame iga punkti kohta määrama, palju ta asetseb kõrgemal või madalamal pöördellipsoidi pinnast. Aluseks jääb ikkagi varemini määratud pöördellipsoid.

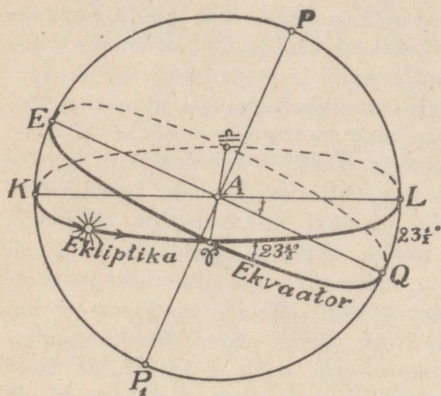
Füüsikast teame, et vedeliku vaba pind on tasakaalu korral alati risti raskustungi suunaga. Suurem osa maapinnast on kaetud veega. Tähendab, ka merepind on igal pool risti raskustungi suunaga, sest muidu puuduks tasakaal. Kujutleme nüüd, et mandril oleksid kaevatud igas suunas sügavad, meretasemest sügavamale ulatuvad kanalid ja et nad kõik on ühenduses ookeaniga. Veepind kanalis asetseb loomulikult mandri pinnast madalamal, ta on samuti risti raskustungiga ning merepinna otseseks jätkuks. Merepind ühes sel viisil saadud laiendusega mandrile annab pideva kinnise pinna, mis Maad igalt poolt ümbritseb ja **geoidi** nime kannab. Geoidi põhiomaduseks on see, et ta igas punktis on risti raskustungiga, tähendab, geoid on õieti nivoo-pind. Joon. 33 püüab selgitada geoidi ja ellipsoidi käiku. Nagu näha, asetseb geoidi mere kohal olev osa ellipsoidist madalamal, kuna mandri kohal on lugu ümberpöördult. Geoidi pind samuti kui ellipsoidil on igal pool ainult ühtepidi kõver, nimelt nõgus Maa keskpunkti poole, sest vastasel korral võiks põhjapoolsema koha geograafiline laius olla väiksem lõunapoolsema koha geograafilisest laiuusest. Seda aga ei ole kuskil leitud.

V. Päikese näiv aastane liikumine.

25. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel. Ekliptika. Paneme tähele, missuguse heledama kinnistähe või planeedi läheduses paistab Kuu täna. Sama vaatlust homme korrates näeme, et Kuu on nihkunud öö-päeva jooksul oma endisest asendist tublisti ($\sim 13^\circ$) ida poole. Tähendab, Kuu ei seisa kinnistähete suhtes paigal, vaid liigub kaunis kiiresti ida suunas. Terasemalt tähele pannes võime Kuu liikumist tähtede keskel märgata ka juba ühe tunni jooksul ($\sim \frac{1}{2}^\circ$).

Hele täht Arktuurus paistab õhtul septembris ja oktoobri alguses madalas läänetaevas. Oktoobri lõpul kaob ta ehavalgusse. Novembris aga võime Arktuurust juba näha hommikuti koidu ajal. Seega on Päike tema suhtes nihkunud vasakule. — Samuti on huvitav jälgida Päikese lähenemist Orionile kevadel märtsis ja aprillis.

Sellised vaatlused näitavad, et Päike nagu Kuugi ei püsi paigal taevaskeral, vaid nihkub järjest paremalt vasakule (ida) poole, tehes aasta jooksul täie ringi. Täpsemalt võime kindlaks teha Päikese liikumise taevaskeral koordinaatide määramise abil päevast päeva.



Joon. 54. Ekliptika.

Märgime Päikese igapäevased asendid kogu aasta jooksul taevagloobusel või -kaardil ning ühendame nad pideva joonega, siis saame Päikese liikumise tee tähtede keskel. Vaatluste tulemused näitavad, et Päikese liikumise tee taevaskeral ehk nn. ekliptika on suur ringjoon $K \curvearrowright L$ (joon. 34), mis lõikub ekvaatoriga (EQ) $23\frac{1}{2}^\circ$ nurga all. Päike liigub ekliptikal

vastupidises suunas taevaskera pöörlemise suunale (vastupäeva, läänest itta). Kevadisel pöörpäeval (21. märtsil) läbib Päike ekliptika ja ekvaatori lõikepunkti, nn. kevadpunkti (\curvearrowright), jätkates sealt liikumist ida suunas. Tagasi kevadpunkti jõuab Päike järgmise aasta kevadiseks pöörpäevaks (21. III).

26. Päikese koordinaatide muutumine. Joonise 34 põhjal on kerge jälgida Päikese koordinaatide muutumist aasta jooksul. 21. märtsil on Päike kevadpunktis (\curvearrowright); tema $\alpha = 0^h$ ja $\delta = 0^\circ$. Tee $\curvearrowright L$ käib Päike ära 3 kuu jooksul; kogu aja mõlemad koordinaadid (α ja δ) suurenevad järjest. 22. juunil jõuab Päike punkti L ; siis on $\alpha = 6^h$ ja $\delta = +23\frac{1}{2}^\circ$. Samuti edasi arutades näeme, et punktis \curvearrowleft (sügispunkt, 23. sept.) on Päikese $\alpha = 12^h$, $\delta = 0^\circ$ ja punktis K (22. det.): $\alpha = 18^h$, $\delta = -23\frac{1}{2}^\circ$.

1. Joonise 34 põhjal katsuda selgusele jõuda, kas on Päikese koordinaatide suuruse muutumine ühtlane, s. o. võrdeline ajaga.

2. Millal muutub Päikese otsetõus kõige kiiremini ja mispäras? Millal kõige aeglasemalt? Vastata samale küsimusele käände kohta!

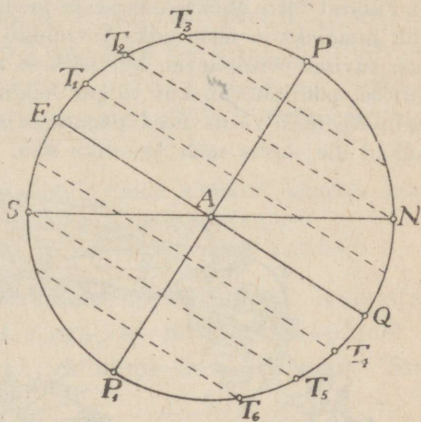
3. Joonestada ekliptika ja ekvaator ning tähistada, kus kohal (ligikaudu) seisab Päike täna (vst. 21. apr., 6. mail, 20. juunil, 10. okt., 25. jaan.). Leida joonise abil nendele päevadele vastavad Päikese koordinaatide ligikaudsed suurused!

4. Millal loojub Päike otse läänes ja tõuseb idas?

5. Millal tõuseb Päike lõunast kõige kaugemal (lähemal) ja loojub põhjale kõige lähemal (kaugemal)?

6. Missuguse joone moodustab Päikese aastane tee ümber maailma telje?

27. Päeva pikkuse sõltuvus Päikese deklinatsioonist. Suure ringina lõikab horisont taeva ekvaatori pooleks (joon. 35). Järelikult on kõik taevakehad, mis asetsevad ekvaatoril ($\delta = 0^\circ$), ööpäeval ümber maailma telje pöörlemisel pool aega (12^h) horisondi kohal ja niisama kaua (12^h) horisondi all. Siit järgneb Päikese kohta, et 21. märtsil ja 23. sept. on päev ja öö ühepikkused, sest siis on Päikese $\delta = 0^\circ$.



Joon. 35. Päeva pikkuse sõltuvus käändest.

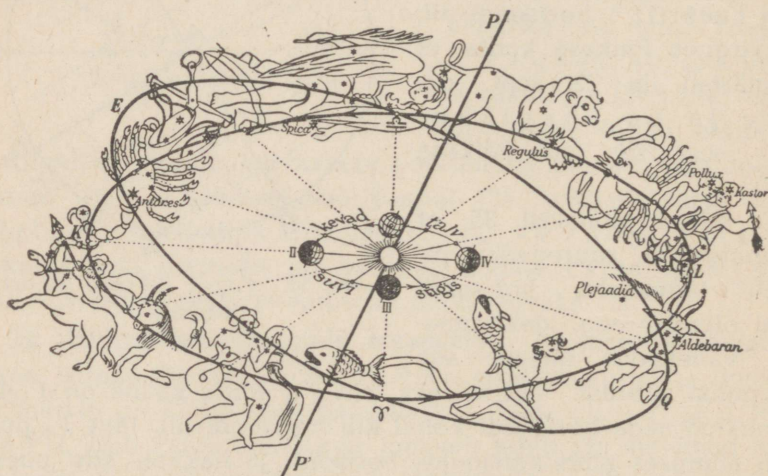
Ka selgub joonisest 35, et deklinatsiooni suurenedes pikeneb taevakeha horisondi kohal olemise aeg, deklinatsiooni vähenedes näeme aga vastupidist nähtust. Nii näiteks täht T_1 , mille kääne on T_1AE , on rohkem aega horisondi kohal kui horisondi all, täht T_2 puudutab alumises kulminatsioonis horisonti ja hakkab siis uuesti tõusma, täht T_3 ei lähegi looja, vaid on kogu aja horisondi kohal, jne.

Päikese ööpäeval liikumisel on päev seda pikem, mida suurem on Päikese deklinatsioon, ja ümberpöörduvalt. Järelikult päev on kõige pikem 22. juunil, sest siis on δ maksimum, ja kõige lühem 22. dets., sest siis on δ miinimum.

Päikese δ ei muutu päevast päeva samal määral. 22. juuni ja 22. dets. paiku on Päikese tee (ekliptika) enam-vähem paral-leelne ekvaatoriga. Seetõttu muutub Päikese δ (kaugus ekvaato-rist) siis väga aeglaselt ja aeglaselt muutub sel ajal ka päeva pikkus.

Kõige järsem on Päikese tee (ekliptika) ekvaatori suhtes kevadise ja sügise pööripäeva aegu. Järelikult on ka päeva pikkuse muutumine sel ajal kõige kiirem.

Kogu elu Maakeral on otseselt seotud Päikeselt saadava energiaga. Seda tundsid inimesed juba ammu, õige varasel arenemisastmel. Sellest tulebki, et Päikest loeti üheks inimese ja looduse saatust juhtivaks peamiseks jõuks ehk jumalaks ja tema auks korraldati pidustusi. Seda tehti kaks korda aas-tas: suvisel pööripäeval, kui päikese mõju oli kõige suurem (jaanipäev) ja talvisel pööripäeval, kus valgus hakkas pimeduse üle võimust võtma (jõu-lud). Ristiusk võttis need paganus-aja loodusjõudude austamisest tekkinud pühad üle, andes neile kristliku sisu.



Joon. 36. Zodiaagi tähtkujud.

1. Missugusel määral on nähtavad taevaskera lõunapoolel asetsevad tähed T_4 , T_5 ja T_6 (joon. 35) horisondi SN suhtes?

2. Jälgida kalendris päeva pikkuse muutumist suvise ja talvise, keva-dise ja sügise pööripäeva aegu! Arvutada muutuse suurus päevas minu-tites! Millal muutub päeva pikkus kõige kiiremini, millal kõige aeglase-malt?

3. Rahvakalendri järgi „seisab“ Päike suvise ja talvise pööripäeva paiku 2 nädalat. Millega on see arvamus põhjendatud?

28. Zodiaagi tähtkujud. Pöörijooned. Liikudes taevaskeral mööda ekliptikat, läheb Päike aasta jooksul läbi järgmiste tähtkujude, olles igaühes neist umbes kuu aega: Jäär, Sõnn, Kaksikud, Vähk, Lõvi, Neitsi, Kaalud, Skorpion, Ambur, Kaljukits, Veevalaja, Kalad.

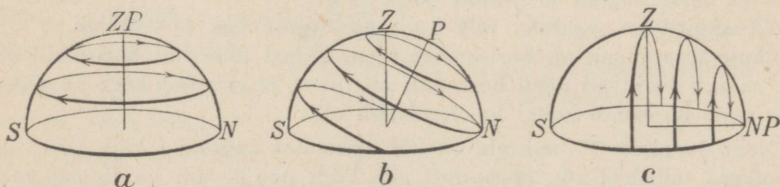
Et ekliptika läheduses olevad tähtkujud kannavad suuremalt jaolt loomade nimesid, siis nimetatakse neid tähtkujusid taevaskeral looma- ehk zodiaagivööks.

Taevaparalleeli, millel asetseb Päike 22. juunil (δ on siis maks.), nimetatakse Vähi pöörijooneks; 22. det. on Päike (δ on siis miin.) Kaljukitse pöörijoonel. Need on äärmised ehk ekvaatorist kõige kaugemad ($23\frac{1}{2}^\circ$) rööbikud, millel liigub Päike.

1. Nimetada tähtkujud, milledes liigub Päike üksikul kuuldel, märtsist alates, teades, et sel kuul Päike asetseb Kalade tähtkujus!

2. Missugused Zodiaagi tähtkujud kulmineerivad täna keskööl?

29. Tähistaeva välisilme muutumine aasta jooksul. Kinnistähete vastastikune asend taevaskeral ei muutu. Seepärast ei muutu taevaskeral ka tähtkujude välisilme aasta jooksul. Suur



Joon. 37. Taevakehade ööpäevased teed horisondi suhtes: *a* — põhjapoolusel, *b* — keskmistes laiustes, *c* — ekvaatoril.

Vanker või Orion paistab meile alati ühesugusena, nii sügisel kui kevadel, nii õhtul kui südaööl. Ja et kõigi kinnistähete kääne (δ) on praktiliselt muutumatu, siis kõik antud kohas näha olevad kinnistähed tõusevad iga päev samast horisondipunktist ning saavutavad iga päev horisondi suhtes sama maksimaalse kõrguse.

Et aga Päike ei seisa tähtede keskel paigal, vaid liigub mööda ekliptikat, siis ei näe me iga päev samal kellaajal horisondi kohal taevaskerast sama osa. Kui näiteks 21. märtsil kesköö paiku kulmineerivad tähed, millede otsetõus on 12^h , siis kuu aega hiljem (21. aprillil) kulmineerivad keskööl tähed, millede otsetõus on 2 tunni võrra suurem, s. o. 14^h , jne. Nõnda on meil põhjust kõnelda tähistaeva välisilme muutumisest aasta jooksul, kuid ikkagi teatud kindla kellaaja suhtes. Tahame aga taevast näha samasugusena, siis peame muutma vaatluse kellaega. Näiteks samasugusena, kui meile paistab taevast septembris kella 10 paiku õhtul, paistab ta meile oktoobris samal kuupäeval juba kl. 8 õhtul, novembris kl. 6 jne.

50. Taevaskera pöörlemine erisugustel geograafilistel laiustel. Mittevõlvitud ja mittelojuvad tähed. Põhjapoolusel on horisondi tasapind risti maailma teljega ja seetõttu ta ühtib taeva ekvaatoriga. Kõik taeva rööbikud on asetatud seal rööbiti horisondiga ning tähed oma ööpäeval liikumisel ei muuda oma kõrgust horisondi suhtes (joon. 37-a). Päike on põhjapoolusel näha ainult positiivse δ puhul, s. o. 21. märtsist kuni 23. septembrini (Päikese ketta suuruse ja refraktsiooni tõttu veidi kauem), negatiivse δ puhul aga mitte. Seega kestab Maa põhjapoolusel päev kogu poolaasta ja teisel poolaastal on pidev öö.

Keskmiestes laiustes toimub taevakehade ööpäevane pöörlemine nõnda, nagu see meile kõigile on tuntud (joon. 37-b).

Ekvaatoril on maailma telg horisondi tasapinnas ($\varphi=0$), nii et taeva rööbikute tasapinnad on horisondiga risti. Tähed tõusevad horisondil püsti üles, samuti lojuvad püsti horisondi all (joon. 37-c). Nad kõik on niisama palju aega horisondi kohal kui horisondi all.

Nagu joonisest 37 nähtub, on põhjapoolusel nähtavad kõik taeva põhjapoolkera tähed ($\delta > 0$), ekvaatoril aga kõik põhja- kui ka lõunapoolkera tähed. Põhjapooluse ja ekvaatori vahel on nähtavad kõik põhjapoolkera tähed ja osa lõunapoolkera tähti, olenedes koha geograafilisest laiuusest. Mida enam lõuna poole me läheme, seda enam lõunapoolkera tähti hakkab meile paistma.

Tähe ülemise kulminatsiooni kõrguse saame valemist: $\delta + z = \varphi$, siit $\delta = \varphi - z$. Kui täht on meie horisondi kohal näha, siis ta z võib omada väärtusi 0-st kuni 90° -ni. Asetades z -i asemele ta maksimaalse väärtuse 90° (sel juhul täht ei tõuse üldse, vaid puudutab horisonti), saame $\delta = \varphi - 90^\circ$. Siit näeme, et kõik tähed, millede $\delta > \varphi - 90^\circ$, on nähtavad antud koha horisondi kohal.

Näiteks Tallinna $\varphi = 59^{\circ} 26'$, ja $\varphi - 90^{\circ} = 59^{\circ} 26' - 90^{\circ} = -30^{\circ} 34'$. Seega kõik tähed, millede $\delta > -30^{\circ} 34'$, on Tallinnas nähtavad.

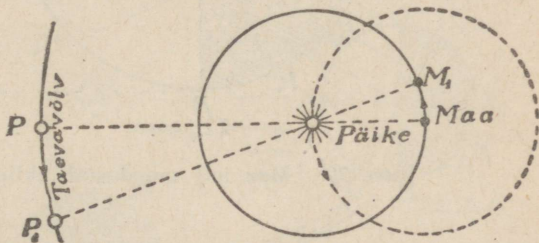
Et täht üldse ei loojuks, selleks on vaja, et $\delta > 90^{\circ} - \varphi$. Nii ei looju Tartus tähed, millede $\delta > 90^{\circ} - 58^{\circ} 23'$, s. o. tähed, millede $\delta \geq 31^{\circ} 57'$.

1. Missugused tähed Eestis üldse ei looju (ei tõuse)?

2. Kui kõrgel kulmineerib täna Kuu Tallinnas (Tartus, sinu kodukohas)?

VI. Maa tiirlemine ümber Päikese.

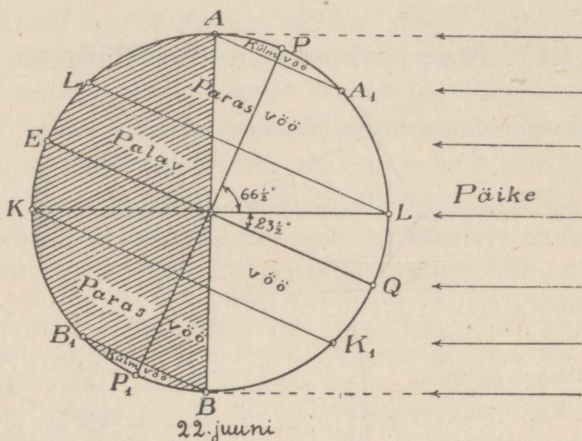
31. Päikese näiva aastase liikumise seletus. Päike liigub taevaskeral tähtede keskel mööda ekliptikat, tehes täisringi ühe aasta jooksul (§ 25). Seda Päikese liikumist mööda ekliptikat võime seletada oletades, et Maa seisab paigal, kuna Päike tiirleb ümber Maa (punktiirring) ning seetõttu näib meile, et Päike liigub taevaskeral tähtede keskel. Kuid sama nähtust võime seletada ka otse vastupidise oletuse abil, nimelt: Päike seisab paigal ja Maa tiirleb ümber Päikese ning meie, muutes Maa liikumisel enese asendit,



Joon. 38. Päikese näiv liikumine seletub Maa tiirlemisega.

näeme Päikest taevaskeral järjest uutes asendites. Mõlemal juhul on Päikese liikumissuund taevavõlvil ühesugune (joon. 38). Esimest oletust tarvitasid vana-aja astronoomid (Ptolemaios), teise seletusviisi põhjendajaks oli Kopernikus. Silmas pidades Päikese suurust (ainult suur keha võib anda sel määral soojust ja valgust kui Päike), on küll loomulikum oletada, et väike Maa tiirleb ümber suure Päikese, mitte aga ümberpöörduvalt. Kopernikusel ei olnud võimalik esitada Maa ümber Päikese tiirlemise tõenduseks ühtegi vaatlustel põhinevat tõestust, sest tolle

aja mõõtmisriistad ei võimaldanud seda oma vähese täpsuse tõttu. Kõige suuremaks argumendiks Kopernikusel oma õpetuse kasuks oli selle lihtsus ja loomulikkus. Kopernikuse õpetuse vastased aga seletasid: kui Maa liiguks ümber Päikese suures kauguses, siis peaksid tähtkujud poole aasta pärast (näiteks sügisel) paistma hoopis teistsugustena kui praegu (näiteks kevadel),



Joon. 39. Maa telg moodustab ekliptikaga nurga $66\frac{1}{2}^{\circ}$.

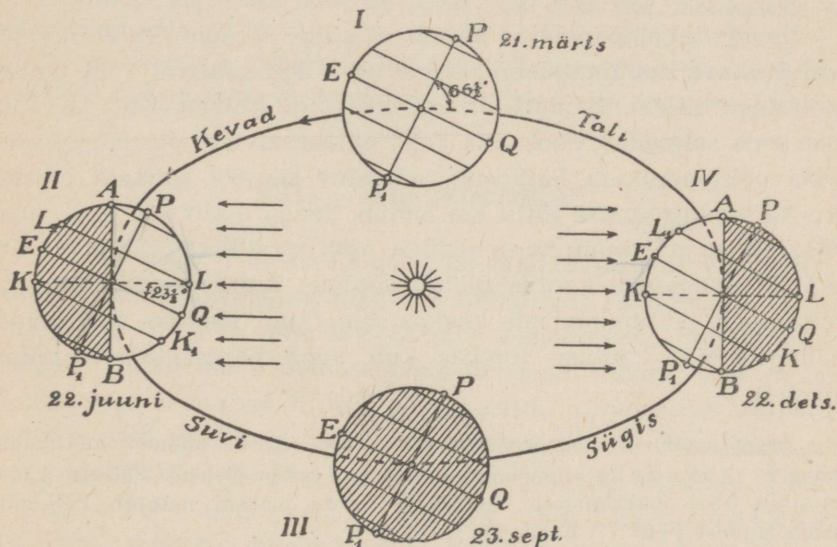
sest poole aasta pärast asetseb Maa endisest asendist umbes 300 000 000 km (Maa tee läbimõõt) võrra eemal. Kopernikus ja tema õpetuse pooldajad seletasid tähtkujude välisilme muutumast nende suure kaugusega Maast, nii et isegi 300 miljoni km suurune edasinihkumine ruumis osutub muutuste märkamiseks liiga väikeseks.

Mõõtmisriistade ja vaatlusmeetodite täienemisega läks tähe-teadlastel alles XIX sajandi esimesel poolel korda kindlaks teha tähtede nn. parallaktilist nihkumist ruumis Maa ümber Päikese tiirlemise mõjul.

32. Aastaajad. Maailma telje siht pole õieti muud midagi kui Maa pöörlemistelje siht (§ 7). Et aga maailma telg oma sihti

ruumis ei muuda (millest seda järeldame?), siis peab ka Maa telje siht Maa tiirlemisel ümber Päikese püsima kogu aja muutumatu. Nurk ekliptika ehk Maa tee tasapinna (KL) ja ekvaatori (EQ) vahel on $23\frac{1}{2}^\circ$ (joon. 39). Maa telje PP_1 ja ekliptika vaheline nurk on siis $66\frac{1}{2}^\circ$. Vaatame nüüd, kuidas on võimalik Maa ümber Päikese tiirlemise abil seletada aastaegade tekkimist (joon. 40).

Asendis I (21. III) ja III (23. IX) on Päikese kääne 0° , s. o. Päike asetseb taeva ekvaatori tasapinnas ja seetõttu ta valgus-



Joon. 40. Aastaegade tekkimine.

tab ning soojendab täiesti ühte viisi Maa põhja- kui ka lõunapoolkera. Siis on kogu Maal päev ja öö ühepikkused, kumbki 12^h .

Asendis II (22. VI) on Päikese kääne kõige suurem ($23\frac{1}{2}^\circ$). Siis on Maa põhjapoolkera kõige rohkem valgustatud ning põhja-polaarvöös kestab päev üle 24^h , lõuna-polaarvöös aga on öö. Päike seisab keskpäeval seniidis $23\frac{1}{2}^\circ$ p.-l., s. o. Vähi pöörijoonel. See on suve algus põhja- ja talve algus lõunapoolkeral.

Samuti võime näidata, et asendis IV (22. XII) saab Maa põhjapoolkera Päikeselt kõige vähem valgust, siis algab meil talv.

Talv on meie kõige külmem, suvi kõige soojem aastaaeg. Talvise külma põhjuseks pole niivõrd päeva lühidus, kui eeskätt asjaolu, et talvel käib Päike palju madalamalt kui suvel. Seetõttu saab meil talvel maapind päikesekiiri vähe (niisama suur kiirtekimp langeb palju suuremale pinnaosale) ja needki enne maapinnale jõudmist peavad läbima tunduvalt paksema atmosfäärikihi kui suvel, kaotades seega suure osa oma intensiivsusest.

Ilmade tähelepanemine näitab, et kõige soojem ilm ei ole siis, kui Päikese kulminatsioonikõrgus on kõige suurem, vaid umbes kuu aega hiljem. Samuti on lugu ka kõige külmema ajaga. Kuidas seda seletada? Veel tükk aega pärast suvist pööripäeva saab Maa põhjapoolkera Päikeselt iga päev soojust rohkem juurde, kui ta ise kiirgamise tõttu ära annab. Seega tekib ikkagi soojuse ülejääk ja maapinna soojenemine põhjapoolkeral jätkub. Kui aga Maa soojuse kaotus ületab soojuse juurdevoolu Päikeselt, siis algab jahtumine, mis kestab seni, kuni soojuse juurdevool jällegi ületab kaotuse (umbes kuu aega pärast talvist pööripäeva).

Aasta jagamisel aastaegadeks on võetud aluseks käände muutumine, nimelt: kevadeks nimetame aastaega, mille jooksul Päikese kääne muutub 0° -st maksimumini ($+23\frac{1}{2}^{\circ}$), suve jooksul muutub Päikese maksimumist ($+23\frac{1}{2}^{\circ}$) 0° -ni, jne.

Et Maa ümber Päikese tiirlemise tee ei ole ringjoon, vaid ellips, mille ühes fookuses asetseb Päike (vt. Kepleri seadusi), ning et Maa ei ole Päikesele kõige lähemal talvisel pööripäeval, vaid hiljem (3. jaan.), seepärast pole aastaajad oma vältuse poolest võrdsed. Põhjapoolkeral on kõige pikem aastaaeg suvi — 95 p. 14 t., siis kevad — 92 p. 21 t., sügis — 89 p. 18 t. ja talv — 89 p. 1 t.

Et meil (põhjapoolkeral) on Päike talvel Maale lähemal kui suvel (vahe umbes 5%), lõunapoolkeral aga ümberpöörduvalt, siis on talve ja suve temperatuuride vahe meil väiksem kui lõunapoolkeral, kus talv on pikem ja külmem kui meil.



Joon. 41. Päikesekiirte langemine maapinnale suvisel ja talvisel pööripäeval Tartus.

1. Kuidas kujuneksid meil aastaajad, kui Maa telg moodustaks tee tasapinnaga nurga 90° ?
2. Nimetada Maa vööde erinevusi Päikese kulminatsioonikõrguse suhtes! Arvutada Päikese kulminatsioonikõrgus pöörijoontel iga aastaaja alguses!

VII. Aja mõõtmine.

33. Täheaeg. Tähe ööks-päevaks nimetatakse ajavahemikku, mille jooksul taevaskera teeb ühe täistiiru (§ 8). Oma konstantsuse tõttu on tähe öö-päev sünnis ajamõõtmise põhiühikuks. Tahame nüüd tähe ööde-päevadega aega mõõta, siis peame valima teatud momendi, millest me antud kohas tähe öid-päevi lugema hakkame, s. o. null- ehk algusmomendi. Harilikke ehk nn. kodanlikke öid-päevi loeme keskööst, s. o. kl. 12 öösel. Tähe öö-päeva alguseks antud kohas võetakse kevadpunkti ülemise kulminatsiooni moment selles kohas. Siit järgneb, et täheaeg on ühesugune ainult kõigil neil kohtadel, mis asetsevad sama keskpäeva-joone (meridiaani) sihis, sest kõigis neis kohtades on kevadpunkt samal momendil ülemises kulminatsioonis. Antud kohast ida pool algab tähe öö-päev varem, lääne pool hiljem, sest taevaskera pöörleb idast läände ja seetõttu kulmineerib kevadpunkt idapoolsetes kohtades varem kui läänepoolsetes.

Olgu näiteks praegusel momendil meil kevadpunkt ülemises kulminatsioonis, siis algab tähe öö-päev ja tähekell näitab 0^h .

Üks tähetund hiljem näitab tähekell muidugi 1^h ja kevadpunkt on pöördunud ühes taevaskeraga lääne suunas 15° võrra; 2 tähetunni pärast näitab tähekell 2^h ning taevaskera on pöördunud 30° võrra, jne. Tähetunde loetakse tähe öö-päeva algusest (0^h) järjest 24 tunnini (samuti kui raudteel), mitte nagu kodanlikus elus harilikult 0^h -st kuni 12^h .

Kella, mis näitab täheaega, nimet. tähekellaks. Selleks võib kasutada iga kella, mis harilikult kellast iga päev 4 min. (täpsemini $3^m 56^s$) võrra ette käib. Muidugi on soovitav, et tunniosuti 24 tähetunni jooksul ühe täistiiru teeks ja numbrilaud oleks jaotatud 24 võrdseks osaks.

Taevaskera võime vaadelda kui suurt tähekella numbrilauda, mis 24 tähetunni jooksul korra maailma telje ümber pöörduv. Selle numbrilaua raoks (osutiks) võime lugeda sirget, mis läheb läbi Põhjjanaela, Kassiopeia β , Andromeda α ja Pegasuse γ , sest see suund läheb läbi kevadpunkti. Kui nimetatud sirgel asetsevad tähed (ühes nendega ka γ) on ülemises kulminatsioonis, algab selles kohas tähe öö-päev. On nimetatud tähtedest läbiminev käändering pöördunud 15° võrra lääne poole, näitab tähekell 1^h , jne.

34. Ligikaudne täheaaja määramine antud momendil. Ligikaudselt võime määrata täheaega antud momendil järgmiselt. Päike asetseb kevadisel pööripäeval (21. märtsil) kevadpunktis. Järelikult kulmineerivad 21. märtsil kevadpunkt ja Päike samal ajal, s. o. umbes kl. 12 l.; 21. märtsil, kl. 12 lõunal on seega täheaeg 0^h . Et tähe öö-päev on kodanlikust ööst-päevast lühem 4^m võrra, siis kulmineerib järgmisel päeval, s. o. 22. märtsil, kevadpunkt 4 min. enne kl. 12 l. ja kl. 12 l. tähekell näitab juba 4 min. järgmisest tähe ööst-päevast. Et tähekell iga kodanliku öö-päeva kohta ette läheb 4 min. võrra, siis võime iga kodanliku aja keskpäeva kohta kergesti kindlaks määrata vastava täheaaja järgmiselt:

21. märtsil kl. 12 l.	on täheaeg	0^h
22. " " 12 " "	"	$0^h 4^m$
23. " " 12 " "	"	$0^h 8^m$

21. aprillil kl. 12 l.	on täheaeg	2^h
21. mail " 12 " "	"	4^h

Tahame nüüd näiteks teada, missugune on täheaeg 15. dets. kl. 8 õhtul, siis arutame järgmiselt:

- 21. märtsil kl. 12 l. on täheaeg 0^h
- 21. dets. " 12 " " " 18^h
- 15. " " 12 " " " 17^h 36^m
- 15. " " 8 õhtul on täheaeg (17 + 8)^h 36^m ehk 1^h 36^m

Täpseks täheaja leidmiseks tuleb kasutada sellekohaseid tabeleid.

1. Määrata täheaeg 21. juunil kl. 11 õhtul!
2. Mis näitab kodanlik aeg 5. dets. kl. 10^h 20^m täheaja järgi?
3. Määrata täheaeg 2. veebr. kl. 1/26 homm.!

35. Seos täheaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsiooni momendil. Aegnurk. Olgu meil taevakeha T joonisel 15 näidatud asendis. Tema otsetõusu mõõdab \widehat{rB} , deklinatsiooni \widehat{BT} . Kaar $rBQE$ mõõdab täheaega, mis on möödunud kevadpunkti eelmisest ülemisest kulminatsioonist, s. o. täheaega (t) praegusel momendil. \widehat{BQE} mõõdab aega, mis on möödunud antud taevakeha (T) eelmisest ülemisest kulminatsioonist. Nimetame selle ajavahemiku taevakeha T aegnurgaks (H) antud momendil. Joonisest saame:

$$r \widehat{BQE} = \widehat{rB} + \widehat{BQE}. \quad (1)$$

Asetades saadud võrrandisse kaarte asemele neile vastavad suurused (võrdelised) täheajas, saame:

$$\underline{t = \alpha + H}, \quad (2)$$

s. o. täheaeg antud momendil võrdub mistahes tähe otsetõusu ja aegnurga summaga.

Teeme valemist (2) järelduse kulminatsiooni momendi kohta. Aegnurga definitsioonist järgneb, et tähe kulminatsiooni momendil on tema aegnurk $H = 0^h$. Asendame valemis (2) H nulliga, saame

$$\underline{t = \alpha}, \quad (3)$$

s.o. tähe (üldse taevakeha) kulminatsiooni momendil antud kohas võrdub täheaeg selles kohas kulmineeriva tähe otsetõusuga.

Saadud seose põhjal täheaja ja otsetõusu vahel on kerge lahendada kaks tähtsat ülesannet.

a) Missugused tähed kulmineerivad antud kohas antud momendil?

Et kulminatsiooni momendil, nagu valemist (3) järgneb, tähe otsetõus (ajas) peab võrduma täheajaga, siis saame küsimuse lahendamiseks järgmise lihtsa reegli:

Antud kohas kulmineerivad teatud momendil kõik need tähed, millede otsetõus (ajas) võrdub selle koha täheajaga samal momendil.

Näide. Missugused tähed kulmineerivad 25. sept. kl. 6 p.l.?

Leiame sellele momendile vastava täheaja. 21. sept. kl. 12 l. on täheaeg 12^h ; 25. sept. kl. 12 l. on täheaeg $12^h 16^m$; samal päeval kl. 6 õhtul aga $(12 + 6)^h 16^m$ ehk $18^h 16^m$. Järelikult kulmineerivad kõik need tähed, millede otsetõus on $18^h 16^m$ (vt. järele kaardilt või tabelist).

b) Millal kulmineerib antud kohas üks või teine täht?

Valemist (5) sarnaselt eelmise reeglga järgneb:

Täht (taevakeha) kulmineerib antud kohas siis, kui täheaeg selles kohas võrdub tähe otsetõusuga.

Näide. Millal kulmineerib Algol ($\alpha = 3^h 4^m$) 30. augustil?

Leiame täheaja 30. aug. kl. 12 l. 21. aug. kl. 12 l. on täheaeg 10^h ; 30. aug. kl. 12 l. on täheaeg $10^h 56^m$. Võrreldes täheajaga lõunal ($10^h 56^m$) Algoli otsetõusuga ($3^h 4^m$) näeme, et esimene on suurem viimasest $10^h 56^m - 3^h 4^m$, s.o. $7^h 52^m$ võrra. Tähendab, $7^h 52^m$ enne kl. 12 l., s.o. kl. 4.28 min. homm. võrdub täheaeg Algoli otsetõusuga, järelikult Algol kulmineerib kl. 4.28 min. hommikul.

1. Missugused tähed kulmineerivad, kui täheaeg on: $4^h 50^m$; $10^h 45^m$; $17^h 20^m$; $22^h 0^m$?

2. Missugused tähtkujud asetsevad praegu meridiaanil?

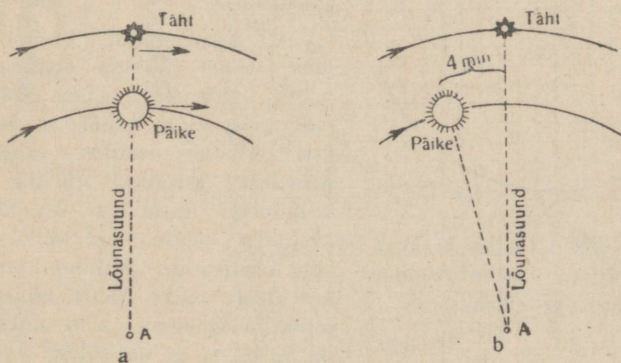
3. Millal täheaja järgi kulmineerivad tähed Veega, Siirius, α Andromedae?

4. Mis kellaajal kulmineerivad täna Siirius, Algol, Betelgeuse, Kuu, Jupiter, Veenus, Marss ja Saturn?

5. Millal kulmineerib täna kevadpunkt?

36. Tõeline ja keskmine päikeseaeg. Hoolimata sellest, et tähe öö-päev konstantse ajavahemikuna on meile kergesti kättesaadav, ei tarvitata täheaega siiski igapäevases (kodanlikus) elus. Selle põhjuseks on asjaolu, et meie töö- ja puhkusaeg on lähedalt seotud päeva ning ööga, mis oleneb Päikese ööpäevast liikumisest. Seetõttu on igapäevases elus tarvitamiseks otstarbekas päikeseaeg.

Nimetame **tõeliseks päikese ööks-päevaks** ajavahemikku Päikese kahe teineteisele järgneva samanimelise kulminatsiooni vahel, s. o. näiteks ajavahemikku Päikese ülemisest kulminatsioonist järgmise ülemise kulminatsioonini. Kahjuks ei ole kõik tõelised päikese ööd-päevad võrdsed. Selle põhjuseks on asjaolu, et Päike ei liigu mööda ekliptikat ühtlaselt ja et ekliptika ei ole ekvaatoriga paralleelne. Seepärast ei kõlba tõeline päikese ööpäev ajamõõtmise ühikuks. Küll aga sobib selleks nn. **keskmine päikese öö-päev**, s. o. aritmeetiline keskmine kõigist tõelistest päikese öödest-päevadest ühe aasta jooksul. Keskmine päikeseaeg ongi võetud tarvitusele igapäevases elus. Keskmine päikese öö-päev jagatakse 24 tunniks, tund 60 minutiks, minut 60 sekundiks.

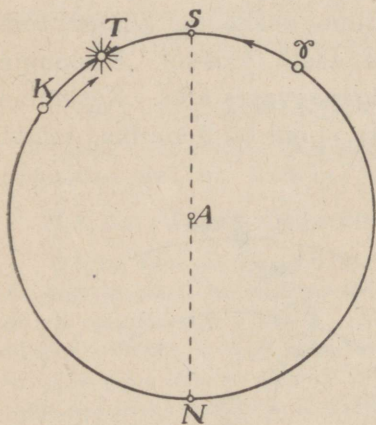


Joon. 41-a. Päikese ja kinnistähe vastastikune asend täna (a) ja päev hiljem (b).

Keskmine päikese öö-päev on 4 min. (täpsemalt 3 min. 56,56 sek.) võrra pikem tähe ööst-päevast. Kui näiteks täna kulmineerivad Päike ja mõni täht ühel ning samal momendil (joon. 41-a, a), siis homme toimub Päikese kulminatsioon sama tähega võrreldes juba 4 min. võrra hiljem. Selle põhjuseks on Päikese ida poole nihkumine taevaskeral $\sim 1^\circ$ võrra päevas.

Päikese kulminatsioonist kõneldes mõeldakse alati Päikese ketta tsentri kulminatsiooni momenti.

Keskmise päikeseaja sidumiseks tõelise päikeseajaga võetakse tarvitusele 2 nn. fiktiivset päikest, esimene ja teine, mis liiguvad ühtlaselt. Esimene keskmine päike liigub ühtlaselt mööda ekliptikat ja lähtub ühel ajal tõelise päikesega Maale kõige lähemast punktist ehk nn. perigeest. Teine keskmine päike liigub ühtlaselt mööda ekvaatorit ja läheb samal momendil ühes esimese keskmise päikesega läbi kevadpunkti. Nii tõeline kui ka esimene ja teine keskmine päike tarvitavad niisama palju aega taevaskeral ühe täistiiru tegemiseks.



Joon. 42. Skeem tõelise ja keskmise päikese kulminatsiooni vahe selgitamiseks.

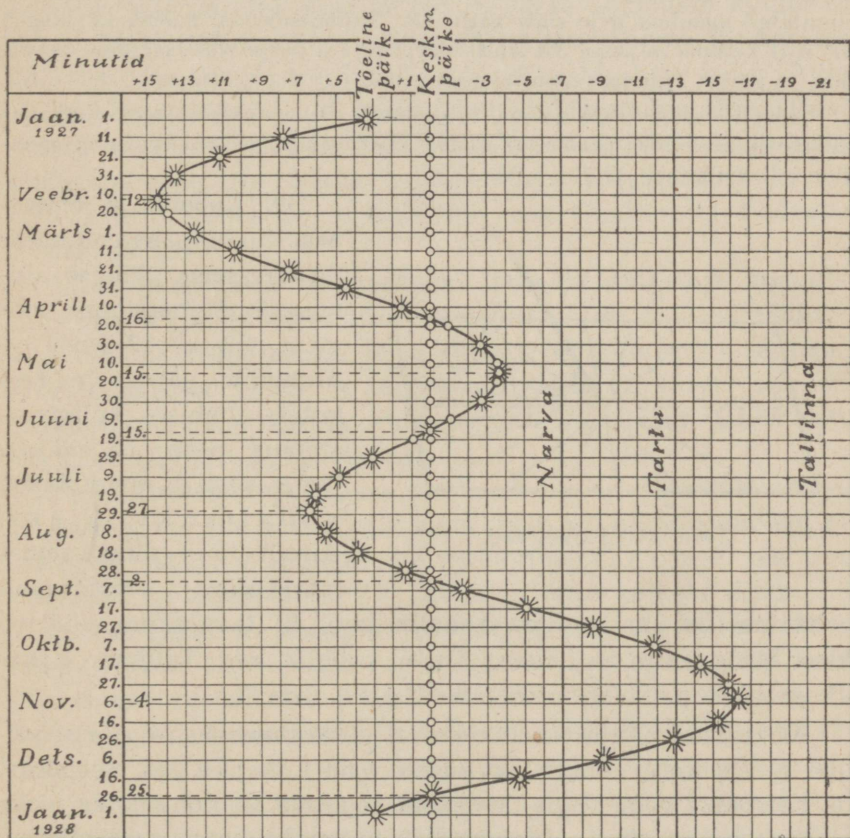
Saadud kujutluste põhjal võime keskmiseks päikese ööks-päevaks nimetada ajavahemikku teise keskmise päikese kahe teineteisele järgneva samanimelise (näiteks ülemise) kulminatsiooni vahel. Keskmise öö-päeva alguseks on võetud teise keskmise päikese alumise kulminatsiooni moment, s. o. kl. 12 öösel.

37. Ajavõrrand. Tõelise ja keskmise (teise) päikese otsetõususid iga päeva kohta kogu aasta jooksul arvutades näeme, et vahel on suurem tõelise päikese otsetõus, vahel ümberpöörduvalt. Järelikult tõeline päike ei kulmineeri mitte alati kl. 12 l., nagu keskmine päike, vaid vahel varemini, vahel hiljemini. Muidugi enne kulmineerib see päike (täht), mis on kevadpunktile lähemal, s. o. mille otsetõus on väiksem, ja nimelt nii palju varem,

kui suur on otsetõusude vahe ajas (joon. 42). Antud juhul kulmineerib vaotleja A suhtes enne täht T, siis hiljem K. Ajavahemikku keskmise ja tõelise päikese kulminatsiooni momentide vahel nimet. **ajavõrrandiks.**

Ajavõrrand näitab, kui palju tuleb lisada tõelisele ajale (kas + või -ga), et saada keskmist aega.

Ülaltoodud graafik (joon. 45) näitab ajavõrrandi muutumist kogu aasta jooksul. Siit võime iga päeva kohta määrata ajavõrrandi ligikaudse suuruse. Ühtlasi selgub siit, millal kulmineerib tõeline päike ühes keskmisega (leida lõikepunktid!) ja millal ta asetseb kõige kaugemal sellest. Kui aga tarvitusel pole mitte kohalik keskmine aeg (kell näitab 12, kui keskmine päike kulmineerib), vaid mõne teise koha aeg, siis sellele vastavalt erineb ka tõelise päikese kulminatsiooni moment keskpäevast. Näiteks: graafikul tõmmatud jämedad püstjooned näitavadki tõelise päikese kulminatsiooni momendi ja Ida-Euroopa aja keskpäeva vahet Narvas, Tartus ja



Joon. 45. Ajavõrrandi muutumise graafik.

Fallinnas. Siit selgub, et Ida-Euroopa aja järgi näiteks Tallinnas tõeline päike ei kulmineeri kunagi kl. 12 lõunal, vaid hiljem, 12. veebruaril koguni 35 min. hiljem. Meil kehtiva Moskva aja järgi on need vahed ühe tunni võrra veelgi suuremad.

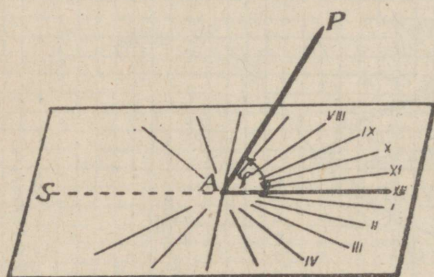
1. Kui suur on täna keskpäeval keskmise ja tõelise päikeseaja vahe (ajavõrrand)?

2. Kui palju on täna Tallinnas (Tartus, Narvas) hommikupoolik (Päikese tõusust kl. 12-ni) õhtupoolikust pikem?

3. Mis kellaajal täna langeks püstipandud varva vari päikesepaistel otse põhja poole?

38. Päikese kell kuulub vanemate ajamõõtmisriistade hulka. Joon. 44 kujutab üht lihtsamat neist oma ehituse poolest. Rõhtsale tasapinnale on kinnitatud maailma telje sihis varb AP . Kulminatsiooni momendil langeb AP vari keskpäeva-joone SA sihis. Märgime ära varju sihi iga tunni tagant enne ja pärast kulminatsiooni momenti.

Sedaviisi saame numbrilaua, mis näitab tõelist päikeseaega. Keskmise päikeseaja saamiseks peame arvestama ajavõrrandit ja kohaliku ning ametliku kellaaja vahet (§§ 37 ja 39).



Joon. 44. Päikese kell.

39. Kohalik ja ühtlusaeg. Kui öö-päeva alguseks on keskmise päikese alumise kulminatsiooni moment, siis kl. 12 öösel on keskmine päike selles kohas alumises kulminatsioonis. Sedaviisi mõõdetud aega nimetatakse kohalikuks ajaks. Ainult ühel ning samal meridiaanil asetsevail

punktidel on üks ja sama kohalik aeg. Et taevaskera pöörleb idast läände, siis on näiteks Tartu kohalik aeg Tallinna kohaliku ajast ees, Narva kohaliku ajast taga jne.

Praktilistel põhjustel, liiklemise hõlbustamiseks, ei ole soovitatav, et iga koht võtaks tarvitusele oma kohaliku aja. Seepärast on harilikult kogu riigis tarvitusel aeg, mis on kohalikuks ajaks ainult teatud kohal. Praegusajal on veelgi kaugemale mindud riikidevahelise liiklemise hõlbustamiseks aja suhtes ja võetud

tarvitusele nn. **ühtlusaeg**. Selle järgi on aja tarvitamine korraldatud järgmiselt. Üksteisest 15° eemal seisvate meridiaanidega on Maa pind jagatud ribadeks, millede laius on 15 geogr. pikkuskraadi. Igal ribal on tarvitusel selle riba keskmeridiaani kohalik aeg. Nii näiteks on Greenwichi meridiaani kohalik aeg tarvitusel ribas, mis ulatub Gr-st $7\frac{1}{2}^\circ$ ida ja niisama palju lääne poole. See on nn. **L ä ä n e - E u r o o p a** ehk 0-riba kella aeg.

Järgmises ribas ida poole on kehtiv nn. **K e s k - E u r o o p a** (I riba) kella aeg, mis on Greenwichi ajast 1^h võrra ees. Veel järgmises ribas on tarvitusel nn. **I d a - E u r o o p a** (II riba) kella aeg, mis on Gr-i ajast 2^h ees. Sellesse vööndisse kuulub ka Nõuk. Eesti, Nõuk. Läti, Leningradi oblast, Soome jt. Samasse vööndisse on administratiivselt arvatud ka Moskva, kuigi ühtlusaja ribade seisukohalt ta peaks kuuluma järgmisse idapoolsesse vööndisse. Kuna valitsuse dekreediga (16. 6. 1930) on kogu Nõuk. Liidus kella aeg ette lükatud 1 tunni võrra, siis ka Moskvast ning meil kehtiv kella aeg on tegelikult ees Greenwichi kellaajast 3 tunni võrra.

Nõukogude Liidu territooriumi läbib 12 ühtlusaja riba. Sellises suures riigis oleks ühtlusaja ribade kasutamine puhtal kujul õige tülikas. Seepärast on sama kellaaja piirkondade määramisel arvestatud looduslikke ja administratiivseid piire (vt. joon. 45). Raudtee sõiduplaanides ja telegraafis on kogu Nõuk. Liidu ulatuses kasutusel Moskva kella aeg.

39-a. Daatumi raja. Lääne poole startiv maailmarändur tagasi jõudes kaotab ühe päeva, sest tema „päevad“ on pikemad kui 24^h , ida poole startiv maailmarändur aga võidab ühe päeva, sest tema „päevad“ on lühemad kui 24^h , kuna ta liigub päikese liikumisele vastu. Sel alusel tekkivate kella aegade erinevuste vältimiseks on kokku lepitud Greenwichi vastasmeridiaanist läänest ida poole (Jaapanist Ameerikasse) üle sõites nädala- ja kuupäevade arvu 1 päeva võrra vähendada, idast lääne suunas üle sõites aga vastavalt 1 päeva võrra suurendada. Sel teel säilitatakse kooskõla reisijate ja kohalikkude elanikkude nädala- ning kuupäevade vahel. Greenwichi vastasmeridiaani aga nimetatakse seetõttu **d a a t u m i r a j a k s**.

Huvitav äpardus kuupäevade arvestusega juhtus esimestel timber maailma reisijatel — Magalhães'i meeskonnal (1519—1522). Nad lähtusid Hispaaniast lääne poole ja tulid ida poolt sinnasamasse tagasi. Järelikult nende päevad olid pikemad kui 24 tundi, mistõttu nad kaotasid ühe päeva. Sellest tuligi, et kodumaale tagasi jõudnud maailmareisijate kalendri kuu- ja nädalapäevad ei ühtinud kohapealsetega — neil oli üks päev vähem. See „viga“ kanti meeskonna lohaka kalendripidamise arvele. Tehtud „vea“ tõttu olid kõik kiriklikud toimetused (pühad ja paastumised) sooritatud valel ajal, mida peeti rängaks usuliseks kuriteoks. Oma „süü“ lunastamiseks pidi meeskond tegema peakirikus avaliku patukahetsuse.

1. Missuguseid maakohti läbib Greenwichi vastas- ehk antimeridiaan?
2. Nimetada hõlbustused ühtlusaja tarvitamisel!
3. Kui palju erineb meie kodumaa linnades kohalik aeg seaduslikust (ametlikust) ajast?

40. Troopiline ja kodanlik aasta. Kalender. Ööst-päevast suurem loomulik ajavahemik, mille järgi loodus ja inimene oma elu korraldavad, on nn. **troopiline aasta**, s. o. ajavahemik Päikese kahe teineteisele järgneva kevadpunktist läbimineku vahel. Just see periood on tähtis, sest siin hakkavad korduma Päikese käände (δ) väärtused, päeva pikkus ning Päikese kulminatsiooni kõrgus (soojuse ja valguse hulk). Troopiline aasta = 365,2422 keskmist ööd-päeva ehk 365 p. 5 tundi 48 min. ja 46 sek.

Aastast väiksema loomuliku ajamõõdu ühiku moodustab kuu, s. o. ajavahemik kahe samanimelise kuufaasi vahel, näiteks noorkuust noorkuuni või täiskuust täiskuuni ($\sim 29\frac{1}{2}$ ööd-päeva). Sellest ajavahemikust on aja jooksul kujunenud meie kalendri ajajaotused kuude järgi, kuigi praeguse kalendri kuupikkuse lähem side esialgse kuupikkusega on kaduma läinud.

Igapäevases elus tarvitusel olev aasta, nn. **kodanlik aasta**, peab olema võimalikult kooskõlas troopilise aastaga, kui looduse ja elu loomuliku perioodiga. Ka on praktilisil põhjusil tarvilik, et kodanliku aasta algus langeks ühte kodanliku öö-päeva algusega (kl. 12 öösel). Mispärast? Need praktilised nõuded teevad kodanliku aasta korraldamise kaunis raskeks. Kodanliku ajaarvamise ehk kalendri korraldamiseks on tehtud väga palju ettepanekuid, millest tuntumad on kaks: juuliuuse ja gregooriuuse kalender.

41. Juuliuse ja gregooriuse kalender. Troopiline aasta (365,2422 p.) ei väljendu täpselt keskmistes öödes-päevades, nad on nn. ühismõõdutud suurused. Seepärast tuleb kodanliku ehk kalendriaasta pikkuseks võtta mõni ümmargune arv, mis troopilise aasta pikkusele on kaunis lähedal. Selle leidmiseks lahutame troopilise aasta pikkuse päevades reaks järgmiselt:

$$\begin{aligned}
 365,2422 &= 365 + 0,24 && + 0,0022 \\
 &&& + 0,01 - 0,01 + 0,0003 - 0,0003 \\
 \hline
 365,2422 &= 365 + 0,25 - 0,01 + 0,0025 - 0,0003 \\
 &= 365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{1000} - 0,0003 \\
 \hline
 \end{aligned}$$

Juuliuse kalendri järgi on võetud kodanliku aasta pikkuseks saadud arendusrea kaks esimest liiget, s. o. $365\frac{1}{4}$ keskmist ööd-päeva, kuna viimased liikmed ($-\frac{3}{1000} - 0,0003$) on jäetud hoopis tähele panemata. Sellega on kodanlik aasta troopilisest pikem. Et aasta algus langeks alati ühte öö-päeva algusega, jäetakse kolmele aastale järjest veerand päeva juurde lisamata, kuna neljandale aastale üks neljast veerandist kogunenud päev korraga juurde lisatakse. Sellega on siis juuliuse kalendris 3 aastat järgemööda 365 päevaga ehk **lihtaastad**, kuna neljas aasta on 366 päevaga ehk **lisapäeva-aasta**.

Juuliuse kalendri pani kehtima Rooma riigi valitseja Julius Caesar a. 45 e. m. a. Selle järgi olid lisapäeva-aastateks 45., 41., 37., ... 9., 5. ja 1. aasta enne m. a. Edasi olid lisapäeva-aastad 4., 8., 12. jne., s. o. kõik aastad, millede arv jagub neljaga. Saadud lihtsa juhise abil on alati kerge määrata, kas on antud aasta juuliuse kalendri järgi liht- või lisapäeva-aasta. Lisapäev lisandatakse veebruarikuu lõppu, millel on sel juhul 29 päeva.

Juuliuse kalender on väga lihtne, kuid vähe täpne. Nagu arendusreast näha, ei arvestanud me rea kolmandat liiget ($-\frac{3}{1000}$),

mis annab 400 aasta jooksul 3 päeva. Et kodanlik aasta troopilisest ei erineks, tuleks juulise kalendrist iga 400 aasta kohta 3 päeva välja jätta. See parandus pandi kehtima Rooma paavsti Gregorius XIII poolt a. 1582 ja on tuntud gregooriuse kalendri nime all. Vana viga parandati ära a. 1582, ja et edaspidi vigu ei koguneks, otsustati iga 400 a. kohta juulise kalendrist 3 päeva järgmisel viisil välja jätta. Vana vea äraparandamise tõttu võis juulise kalendrit õigeks lugeda a. 1600 (täpsemini õieti a. 1582, mis aga vähe erineb 1600-st). Et nüüd 400 aasta jooksul tuleb välja jätta 3 päeva, siis on muidugi otstarbekas need väljajäetavad päevad 400 aasta kohta enam-vähem ühtlaselt ära jaotada. Lihtsa reegli saamiseks otsustati välja jätta lisapäevad (366-es) neist täissajandeist (1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300, 2500 jne.), kus sadade arv ei jagu neljaga, kuna need täissajandid (1600, 2000, 2400 jne.), kus sadade arv jagub neljaga, endiselt lisapäeva-aastaks jäävad. Sellega saavutati enam-vähem ühtlane 3 päeva väljajätmine juulise kalendrist iga 400 aasta kohta ja reegli lihtsus.

Lühidalt kokku võttes: gregooriuse kalender on parandatud juulise kalender. Parandus seisab ainult selles, et loetakse lihtaastaks kõik need täissajandid (aastate arv lõpeb 2 nulliga), millede sadade arv ei jagu neljaga (1700, 1800, 2500 jne.), kuna nad juulise kalendri järgi on lisapäeva-aastad. Kõigi teiste aastate päevade arv on juulise ja gregooriuse kalendri järgi ühesugune.

Meie maal tarvitati enne Oktoobrirevolutsiooni vana (juulise) kalendrit. Teaduslikes töodes aga esines juba tsaariajal uus (gregooriuse) kalender ja teadlased soovitasid korduvalt selle tarvituselevõttu. Reform teostus alles pärast Oktoobrirevolutsiooni. NSV Liidu Rahvakomissaride Nõukogu dekreediga kohaselt hakati aega uue kalendri järgi arvama 1. veebr. 1918. a. Et vana ja uue kalendri vahe oli tol ajal 13 päeva, siis loeti 1. veebr.

asemel 14. veebruar, millega oligi teostatud üleminek uuele kalendrile.

Ka gregooriuse kalender pole päris täpne. Siin on võetud kodanliku aasta pikkuseks keskmiselt 365,2425 päeva, kuna troopilise aasta pikkus on 365,242216 päeva, s. o. 0,000284 päeva võrra lühem. Selle tõttu tekib ühepäevane viga gregooriuse kalendri järgi alles 1:0,000284, s. o. 3500 aasta pärast.

Määrata järgmiste aastate päevade arv gregooriuse ja juuliuse kalendri järgi: 2756, 4006, 5500, 6040, 4800, 8020, 2900, 8026, 8400, 5524!

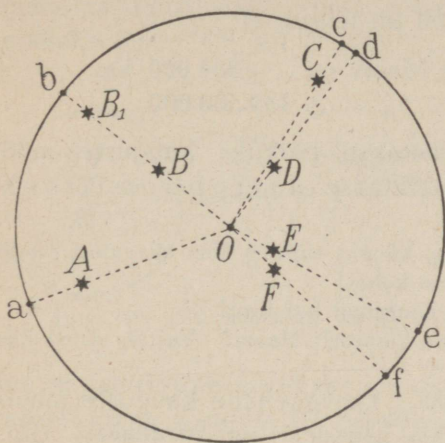
41-a. Ajaarvamise algus. Ajaarvamine, s. o. aastate loendamise, nagu iga teinegi mõõtmine, peab toimuma alates mõnest kindlast algus- ehk nullpunktist. Selleks on kasutatud ja kasutatakse praegugi väga mitmesuguseid ajamomente. Nii loendasid juudid aastaid alates mütolooilisest „maailma loomisest“, muhameedlased Muhamedi põgenemisest Mekast Mediinasse (a. 622 m. a. j.), vanad roomlased Rooma linna asutamisest (traditsiooni järgi a. 753 e. m. a.).

Meie ajaarvamine aga põhineb keskajast pärinevale arvamisesele nn. Kristuse sündimise kohta. Et Kristuse lugu on ainult müüt, siis peame vaatlema meie ajaarvamise algust kui *m e e l e v a l d s e t n u l l p u n k t i* ajas, millele ei vasta mingit kindlat ajaloolist sündmust, mis õigustaks seda *m e e l e v a l d s e t n u l l p u n k t i*. Selleaegseks lähtekohaks olid kalendri koostamisega seotud praktilised kaalutlused.

VIII. Taevakehade kauguse ja suuruse määramine.

42. Kuu ja Päikese kaugus Maast. Taeva koordinaatide (otsetõus, kääne; asimut, kõrgus) abil on meil võimalik määrata, mis suunas paistab antud taevakeha. Kuid vaatesuuna teadmine ei anna veel võimalust kindlaks määrata taevakeha asendit ruumis, sest samal vaatesuunal võib asetseda palju taeva-

kehi, nagu näha joonisel 46. Täpseks taevakeha koha määramiseks ruumis tuleb kindlaks teha peale vaatesuuna veel taevakeha kaugus vaotlejast. —

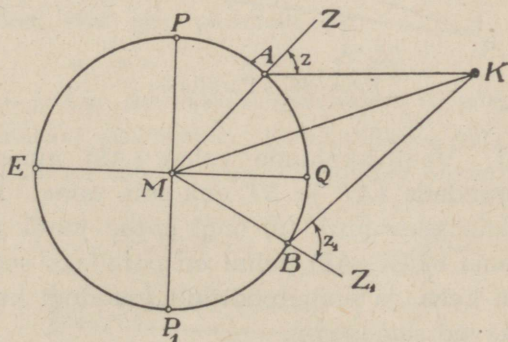


Joon. 46. Tähtede projektsioon taevaskerale.

On selge, et taevakehade kauguse määramisel Maast ei või juttugi olla otsesest mõõtmisest (mööduühiku mahutamisest mõõdetavasse pikkusse), vaid tuleb leppida ainult kaugsete mõõtmisviisidega.

Vaatame, kuidas oleks võimalik määrata meie kõige lähema taevakeha — Kuu kaugust. Kaks vaatlejat, A ja B, asuvad ühel ning samal meridiaanil, teineteisest võimalikult

kaugel; oletame, et kulminatsiooni momendil Kuu keskpunkt on punktis K (joon. 47). Nüüd on kõik neli punkti (A, B, M, K) ühes tasapinnas. Vaatlejad A ja B mõõdavad Kuu (K) seniidikaugused z ja z_1 kulminatsiooni momendil; peale selle on veel teada A ja B geograafilised laiused. Neist andmeist on võimalik arvutada Kuu kaugust Maast (MK). Tõepoolest, nelinurgas AKBM on teada: $\angle MAK$ ($= 180^\circ - z$), $\angle MBK$ ($= 180^\circ - z_1$), $\angle AMB$ (geogr. laiuste



Joon. 47. Kuu kauguse määramine.

vahe), AM ja BM (Maa raadiused). Siit on võimalik arvutada kõik nelinurga $AKBM$ teised elemendid: AK , BK , MK jne. Kuidas?

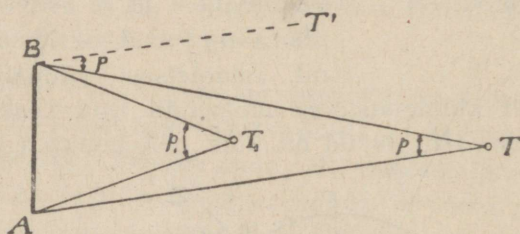
Selle ja teiste meetodite abil on leitud, et

Kuu keskmine kaugus Maast on 384 000 km
 Päikese " " " " 149 500 000 "

Päikese kaugus Maast võetakse ühikuks kauguste mõõtmisel päikesesüsteemis ja nimetatakse astronoomiliseks kaugusühikuks.

1. Mitu korda on Kuu keskmine kaugus suurem Maa ekvaatori raadiusest? Vastata sama küsimus Päikese kohta!
2. Mitu korda on Päike Maast kaugemal kui Kuu?
3. Mitme minutiga jõuab valgus Päikeselt Maani? Vastata sama küsimus Kuu kohta (sekundites)!

43. Kuu ja Päikese parallaks. Taevakehade kauguste määramisel ja võrdlemisel tarvitatakse sagedasti nn. **parallaksi**. Üldse



Joon. 48. Parallaks.

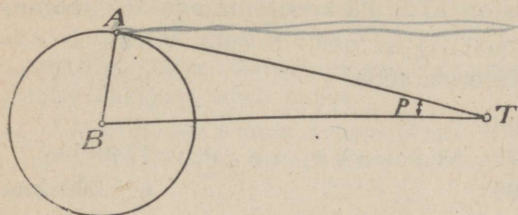
nimetatakse parallaksiks nurka, mis näitab vaatesuuna kõrvalekalldumist juhul, kui sama keha (T) vaadelda kahest eri asendist (A ja B). Nii näiteks (joonisel 48) paistab keha T asendist A suunas AT , asendist B aga suunas

BT . Vaatluskohtade vahet (AB) nimetame baasiks, vaatesuundade (AT ja BT ehk mis sama: BT' ja BT , kus $BT' \parallel AT$) vahel olev nurk (p) ongi antud juhul parallaks. Uhe ning sama baasi (AB) puhul on parallaks seda suurem, mida lähemal on keha, ja ümberpöörduvalt (muidugi kui kõik teised tingimused jäävad samadeks).

Tõestada seda sõrme (pliiatsit) silmadest kaugemale ja lähemale asetades ning iga kord parema ja vasaku silmaga eraldi tähele pannes sõrme vaatesuuna nihkumist seinal. Mis on antud juhul baasiks? Kuidas muutuks parallaks, kui saaksime asetada sõrme lõpmata kaugele?

Baasi pikkust (AB) ja parallaksi (p) teades ei ole raske arvutada punkti T kaugust baasist. Kuidas?

Kuu ja Päikese kauguse määramisel ja võrdlemisel tarvita- takse sagedasti nn. horisondilist ekvaatorilist parallaksi (joon. 49), s. o. nurka (p), mille all paistaks Maa ekvaa- tori raadius taevakeha



Joon. 49. Horisondiline parallaks.

line ekvaatoriline parallaks. Täisnurksest kolmnurgast ABT on kerge siduda kaugust BT parallaksi ja raadiusega, nimelt

$$AB = BT \cdot \sin p, \text{ kust}$$

$$BT = \frac{AB}{\sin p} \quad (1)$$

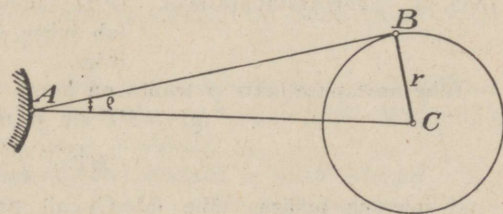
$$\sin p = \frac{AB}{BT}$$

Teades neis valemeis parallaksi (p), võime arvutada kauguse (BT), ja ümberpöörduvalt. Nii on

Kuu	keskm. ekv. hor. parallaks	57',
Päikese	" " " "	8'',80.

Kontrollida antud Päikese ja Kuu parallaksi suurust valemi (1) põhjal!

44. Kuu ja Päikese suuruse määramine. Kuu ja Päike näivad meile ligikaudu ühesuuruste ketastena, kuid tõepoolest on Päike Kuust väga palju suu- rem. Ainult suure kau- guse tõttu paistab Päi- kese ketas Kuu omaga umbes ühesuurune.



Joon. 50. Nurkraadius.

Kuu (Päikese) raa- diuse määramiseks tu- leb mõõta nn. nurk-

raadius (joon. 50), s. o. nurk (ϱ), mille all näeme Kuu (Päikese) raadiust (BC , r) Maa pealt (A) vaadatuna. Täisnurksest $\triangle ABC$ saame:

$$BC = AC \cdot \sin \varrho, \quad (1)$$

kus AC on Kuu tsentri kaugus Maast. Mõõtmised näitavad, et Kuu keskmine nurkraadius on $15'8$, Päikese oma aga $16'$. Nende andmete abil võime valemist (1) kergesti arvutada Kuu ja Päikese raadiuse suuruse. Tehkem seda!

Tulemused on järgmised:

Kuu raadius = **0,27** Maa ekv. raad. = **1740 km**;
 Päikese " = **109** " " " = **696 000 km**.

Nagu teame, suhtuvad kerade pinnad kui raadiuste ruudud, ruumalad aga kui raadiuste kuubid. Seepärast on võimalik

Kuu ja Päikese ning Maa raadiuse suhete põhjal kergesti arvutada Kuu ja Päikese pind- ja ruumala suhet Maa pind- ja ruumalaga.

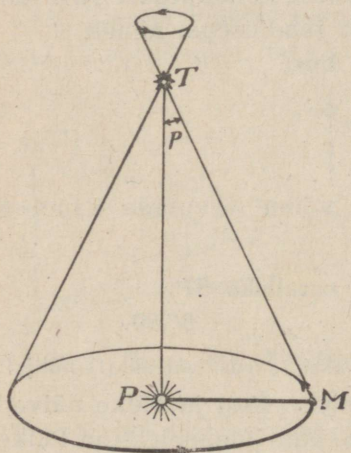
1. Võrrelda parallaksi definitsiooni nurkraadiuse omaga!

2. Mitu korda on Päikese pind- ja ruumala Maa omast suurem?

3. Mitu korda on Kuu pind- ja ruumala Maa omast väiksem?

4. Kui Kuu tiirleks ümber Päikese keskpunkti, kui suur oleks siis Kuu kaugus Päikese pinnast?

45. Tähtede aastaparallaks. Tähe (T) aastaparallaksi all mõeldakse nurka (p), mille all paistaks Maa tee raadius (PM) tähelt vaadatuna. Joon. 51 kujutab juhtu, kus täht asetseb ekliptika pooluses.



Joon. 51. Tähe aastaparallaks.

Tähe aastaparallaksi p teades on kerge arvutada tähe kaugust, nimelt:

$$MP = MT \sin p, \text{ millest}$$

$$MT = \frac{MP}{\sin p}.$$

Esimesena määras tähe (61 Cygni) parallaksi Königsbergi tähetorni direktor Fr. W. Bessel a. 1838. Paar aastat hiljem läks ka endisel Tartu

tähetorni direktoril W. Struvel Pulkovos korda Veega (α Lyrae) parallakti-
list nihkumist mõõta.

Üldse on tähtede parallaksid väga väikesed — alla $1''$, järelikult on täh-
tede kaugused meist väga suured, nagu Kopernikus ja ta õpetuse pooldajad
arvasid. Kõige suurem senimõõdetud parallaks ($0''{,}75$) on tähel α Cen-
tauri, mis on nähtav taeva lõunapoolkeral.

Ainult võrdlemisi väikese osa tähtede kohta on suudetud seni kind-
laks teha nende parallaktiist nihkumist Maa tiirlemise mõjul. Suurem
osa tähti on niivõrd kaugel, et seni pole suudetud neil mingisugust paral-
laktiist nihkumist tähele panna.

1. Määrata α Centauri kaugus Maast valgusaastais!

2. Võrrelda tähe aastaparallaksi Päikese ja Kuu ekvaat. hor. paral-
laksiga!

IX. Kuu tiirlemine ümber Maa.

46. Kuu tiirlemine ümber Maa. Kuu ei püsi tähtede keskel
paigal, vaid liigub läänest itta sarnaselt Päikesega (§ 25). See
Kuu nn. omaliikumine on niivõrd kiire, et teda palja sil-
maga juba ühe tunni jooksul võib tähele panna ($\sim \frac{1}{2}^\circ$). Kuu oma-
liikumise seletamiseks oletatakse, et Kuu tiirleb ümber Maa
vastupäeva-suunas. Me projektime Kuu asendid taevavõlvile
ja seetõttu näeme, et Kuu liigub tähtede keskel läänest itta.

Vaatlused näitavad, et Kuu liigub alati ekliptika läheduses.
Tahame täpsemalt Kuu teed ära määrata, siis mõõdame Kuu koor-
dinaadid päevast päeva ja märgime nende abil Kuu asendid
taevagloobusel. Uhendades saadud Kuu asendid pideva joonega
näeme, et Kuu tee taevagloobusel on suurring, mis moodustab
ekliptikaga 5° -lise nurga. Muidugi mõista, Kuu tee taevavõlvil
on ainult Kuu tõelise tee (orbiidi) projektsioon Maa pealt vaa-
datuna.

1. Võrrelda Kuu omaliikumist Päikese liikumisega mööda ekliptikat!

2. Mõõtmised näitavad, et Kuu nurk-läbimõõt muutub $29' 24''$ (miin.)
kuni $35' 31''$ (maks.). Mis võime sellest järeldada?

3. Mispärast kulmineerib täiskuu suvel madalal ja talvel kõrgel?

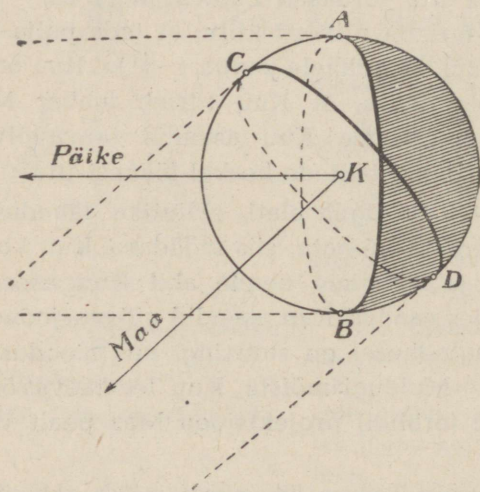
4. Leida Kuu kõige suurem ja kõige väiksem kulminatsioonikõrgus
Tartus ja Tallinnas!

47. **Tähtede kattumine.** Kuu liikumisel ümber Maa juhtub, et ta mõnda tähte meie eest ajutiselt varjab (kinni katab). Tähtede kattumise nähtus on selgeks tõenduseks, et Kuu on meile võrdlemisi lähedal. Tähe kadumine Kuu ketta taha, samuti ka uuesti-ilmumine toimub silmapilkselt, mis tõendab, et Kuu ümber ei ole märgatavat õhkkonda. Vastupidisel juhul tähe valgus neeldumise tõttu kahaneks pidevalt.

Missugused huvitavad kattumise juhud võivad esineda noore ja vana kuu ajal?

48. **Kuu faasid.** Kuu paistab meile vahel täiskettana, vahel kitsa sirbina, vahel on ta hoopis nähtamatu. Nimetame Kuu mitmesuguseid nähteid („nägusid“) tema f a a s i d e k s. Kuidas tekivad Kuu faasid?

Kuu ei ole oma valgust, vaid ta peegeldab meile valgust, mida ta saab Päikeselt. Päike on Kuust küllalt kaugel, seepärast võime Kuule langevaid kiiri lugeda rööpseiks. Kuu on kerakuju-

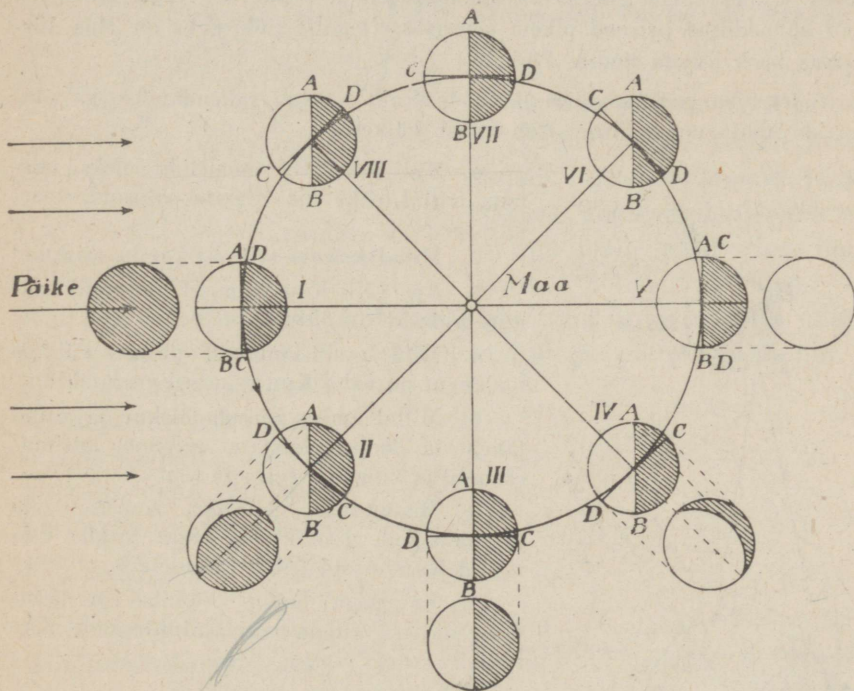


Joon. 52. Päike valgustab alati poole Kuu pinnast.

line ja Päikese rööpsete kiirte kimp valgustab alati poole Kuu pinnast (joon. 52), teine pool jääb valgustamata. Muidugi võime näha Kuust ainult valgustatud osa. Selle järgi, kas kogu Kuu valgustatud pind või ainult mingi osa sellest on pööratud Maa poole, näeme meie Maa poolt vaadates Kuud ühel või teisel kujul, ühes või teises faasis.

Jälgime joonise 53 abil Kuu faaside muutumist ühe perioodi jooksul. I asendis on Kuu otse Päikese ja Maa vahel. Siis on

mõlemal sama otsetõus ja mõlemad kulmineerivad samal momen-
dil. Maa poole on pööratud Kuu valgustamata osa, seepärast ei
näe me siis Kuud. Meie nimetame selle (I) faasi noorkuuks
ehk Kuu loomiseks. II asendis on pööratud Maa poole
vähem kui pool Kuu valgustatud osast ja me näeme Kuud kõr-
valkujutatud kitsa sirbina, mille kumer külg (äär) on pööratud
Päikese poole. — III asendis näeme poolt Kuu valgustatud pinda
poolringina. Seda faasi nimetatakse esimeseks veerand-
diks.



Joon. 53. Kuu faasid.

Mispärast kannab III faas esimese veerandi nime?

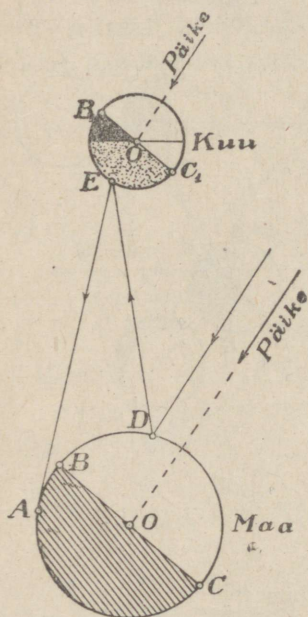
Kui suurt osa kogu Kuu pinnast näeme esimesel veerandil?

Sedaviisi edasi arutades selgub meile täiskuu (V asend),
viimase veerandi (VII asend) ja teiste faaside tekki-
mine.

Tuleb kindlasti meeles pidada, et esimene veerand paistab õhtul ja et ta kumerus on pööratud lääne poole, viimane veerand aga paistab hommikul ja ta kumerus on pööratud ida poole.

Ajavahemikku Kuu kahe teineteisele järgneva samanimelise faasi vahel, näiteks täiskuust täiskuuni, nimetatakse sünnoodiliseks kuuks. Sünnoodilise kuu pikkus on ümarguselt $29\frac{1}{2}$ päeva. Ajavahemikku aga, mille jooksul Kuu teeb ühe täistiiru ümber Maa, nimetatakse sideeriliseks kuuks. Selle pikkus on ümarguselt $27\frac{1}{3}$ päeva. Nagu näha, on Kuu sünnoodiline periood pikem sideerilisest, mille põhjuseks on Maa tiirlemine koos Kuuga ümber Päikese.

Sideerilise ja sünnoodilise perioodi (kuu) mõistet rakendatakse ka planeetide kohta nende tiirlemisel ümber Päikese.



Joon. 54. Tuhkvalguse tekkimine.

1. Kui praegusel momendil oleks täiskuu, millal oleks siis viimane veerand, noorkuu jne.?

2. Millal kulmineerib ligikaudu täiskuu?

3. Kas võib Kuu viimasel veerandil kulmineerida kl. 10 õhtul?

4. Mitu tundi (umbes) pärast Päikese loojangut on näha Kuu esimesel veerandil?

5. Millal umbes tõuseb täiskuu ja millal läheb ta looja? Vastata eelmine küsimus esimese ja viimase veerandi kohta!

6. Missugusena paistaks suuruselt ja faasidelt Kuu elanikkudele Maa? Kuidas vastaksid Kuu faasid „Maa faasidele“?

7. Katsugem lambi (küünla) ja mõne kera, näiteks kummipalli abil kujutada Kuu faase!

49. Tuhkvalgus. Mõni päev enne või pärast Kuu loomist paistab Kuu kitsa heleda sirbina. Kuid peale heleda sirbi on näha nõrgalt valgustatud Kuu ketas. See nn. Kuu tuhkvalgus tuleb Päikese valguse kahekordsest peegeldumisest (joon. 54): Päikese

kiired peegelduvad Maalt Kuu peale ja valgustavad nõrgalt meie poole pööratud Kuu pinda, kuhu Päikese kiired otseselt ei tungi. Maalt peegeldunud Päikese valgusest nõrgalt valgustatud Kuu pind paistabki meie tuhkvalgena.

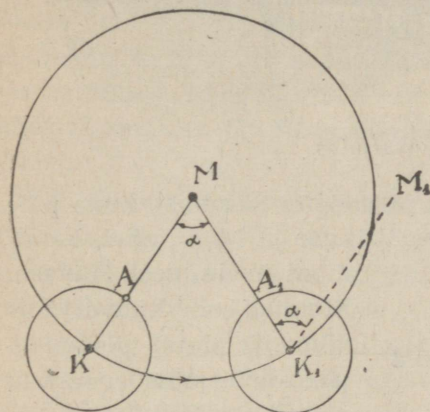
Kuu tuhkvalgust on juba vanast ajast saadik tähele pandud. Õige seletuse nähtusele andis kuulus Leonardo da Vinci. — Huvitav on tähele panna, et meie silmade omaduse tõttu (irradiatsioon) Kuu heleda ääre raadius näib suurem kui tuhkvalgel osal.

50. Kuu pöörlemine. Kuu ketal võime tähele panna tumedamaid ja heledamaid kohti. Pikemat aega vaadeldes näeme, et Kuu meile alati sama nägu näitab. Sellest järeldame, et

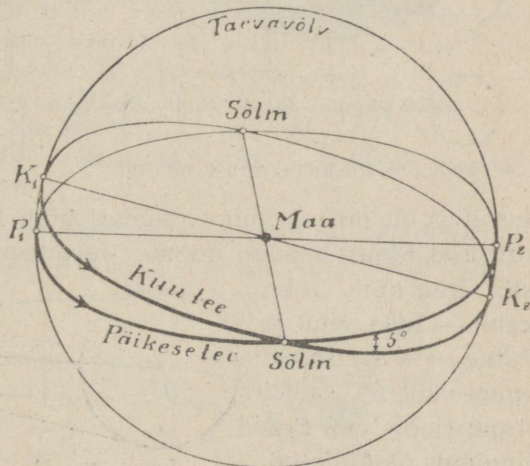
Kuu on pööratud Maa poole alati ühe ning sama küljega. Selle tõsiasja seletuseks tuleb oletada, et Kuu pöörleb telje ümber ja et pöörlemisperiood võrdub täpselt tiirlemisperioodiga. Juba väikegi vahe mõlemas perioodis oleks pika-peale märgatav (joon. 55).

Kõndida ümber tooli nõnda, et nägu oleks pööratud alati tooli poole! Võrrelda seda liikumist Kuu liikumisega ümber Maa!

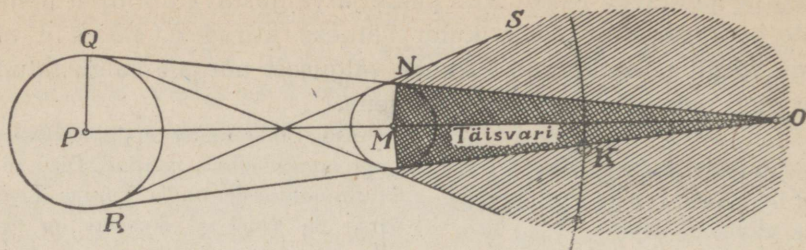
51. Varjutused. Kuu varjutus tekib siis, kui Kuu ümber Maa liiku-



Joon. 55. Kuu pöörlemine.

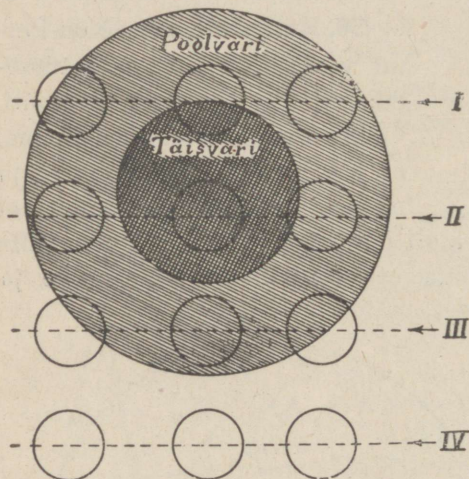


Joon. 56. Sõlmpunktid.



Joon. 57. Kuuvarjutus.

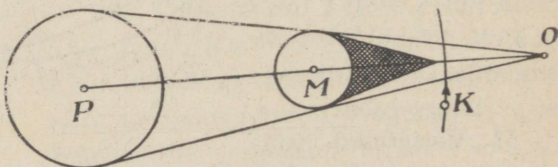
des läheb täiskuu ajal Maa varju ja meie ei näe teda, kuna päikesevarjutuse puhul Kuu, liikudes Päikese ja Maa vahel, katab kinni meie eest Päikese.



Joon. 58. Kuuvarjutuse juhud.

Muidugi on kuuvarjutus võimalik ainult täiskuu ja päikesevarjutus noorkuu ajal. Kuid kuu- ja päikesevarjutused ei juhtu mitte igal täis- ja noorkuu ajal. Kuu ei tiirle ümber Maa ekliptika tasapinnas, vaid Kuu orbiit moodustab ekliptikaga umbes 5° -se nurga (joon. 56). Seetõttu võib täiskuu ajal Kuu Maa varju koonusest ühelt või

teiselt poolt mööda minna, samuti võib Kuu varju koonus noorkuu ajal Maast mööda minna. Varjutused on võimalikud ainult siis, kui kõik kolm keha — Maa, Kuu ja Päike asetsevad enam-vähem samal sirgel (joon. 56). See tingimus on täidetud, kui täis- ja noorkuu



Joon. 59. Maa õhkkonna mõju kuuvarjutusel.

ajal Kuu liigub ekliptika ja Kuu tee lõikesihi ehk nn. sõlmede-
joone lähedal.

Ometi jääks kuu- (vst. päikese-) varjutus tulemata, kui Maa (vst. Kuu) täisvarju koonuse pikkus oleks lühem Kuu orbiidi raadiusest. Maa täisvarju koonus on umbes üks miljon km Kuu tee raadiusest pikem, kuna Kuu täisvarju koonus keskmiselt vaevalt ulatub Maani. Ainult juhul, kui Kuu asetseb Maale kõige lähemal, on Kuu täisvarju koonus pisut pikem kui Kuu kaugus Maast.

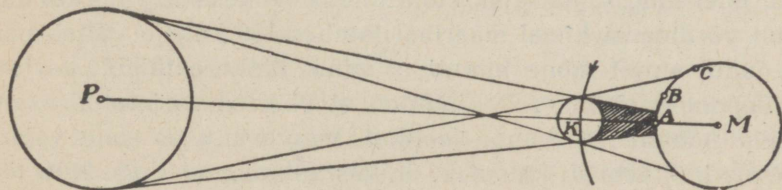
52. Kuuvarjutused. Olgu Maa täis- ja poolvarju koonuse läbilõige Kuu kaugusel Maast kujutatud joonisel 58 vst. tumedama ja heledama viirutusega. Mitmesugused varjutuse juhud olenevad sellest, kuidas liigub Kuu Maa varju koonuse suhtes. Nagu joonisel 58 näha, on I juhul kuuvarjutus osaline, sest ainult osa Kuu pinnast satub Maa täisvarju, II juhul on varjutus täielik, III juhul läheb Kuu ainult läbi Maa poolvarju ja seetõttu nõrgeneb Kuu valguse tugevus pisut, kuna IV juhul varjutust üldse ei ole.

Andmed Maa varju koonuse pikkuse kohta (§ 51) oleksid õiged Maa atmosfääri arvestamata. Tõepoolest on Maa täisvarju koonus lühem Kuu kaugusest Maast, sest Maa õhkkond kui kumer lääts koondab Päikese kiiri Maa taha (joon. 59). Eriti tungivad läbi Maa õhkkonna, nii-öelda Maa taha punased kiired. Selle tõttu ei kao harilikult ka täieliku varjutuse ajal Kuu hoopis ära, vaid läheb ainult vasekarva tumepunaseks.

1. Missugune on Kuu varjutatud ja varjutamata osa piirjoon? Mis võime järeldada sellest Maa kuju kohta?

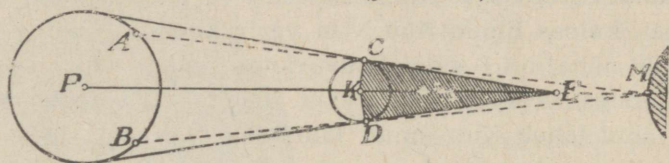
2. Kummast äärest — kas ida- või läänepoolsest — algab Kuu varjutamine ja mispärast?

53. Päikesevarjutused. Päikesevarjutuse puhul asetub Kuu Päikese ja Maa vahele ning katab Päikese meie eest kinni



Joon. 60. Päikesevarjutus.

(joon. 60). Et Kuu raadius on Maa raadiusest tublisti väiksem (mitu korda?), siis pole võimalik Maa täielik kadumine Kuu varju, nagu see juhtub Kuuga Maa varjus. Küll aga võib Kuu varju koonuse ots ulatuda Maa pinnani ja katta kinni Päikese kitsal maaribal (paremal juhul ~ 100 km). Kõik sellel ribal asuvad näevad täielikku päikesevarjutust, sest Kuu on neile Päikese hoopis kinni katnud. Vaatlejail väljaspool varju koonuse piirkonda on päikesevarjutus kas osaline, nimelt Kuu poolvarju piirkonnas (asend B joonisel 60), või ei ole varjutust üldse näha (asend C joonisel 60). Kui Kuu varju koonus ($\sim 370\,000$ km) ei ulatu Maani, siis katab ta varjukoonuse telje sihis oleval vaatlejal ainult Päikese keskmise osa (joon. 61), kuna Päikese ääred



Joon. 61. Rõngakujuline päikesevarjutus.

jäävad nähtavaks. Niisugust päikesevarjutust nimetatakse r õ n - g a k u j u l i s e k s, sest siis paistab Päikese äär varjutuse ajal heleda rõngana, mille keskel asetseb Kuu tume ketas. Täielik päikesevarjutus on võimalik ainult sel juhul, kui Kuu on varjutuse ajal Maale hästi lähedal.

Võrreldes päikesevarjutust kuuvarjutusega näeme, et nende vahel on oluline vahe: päikesevarjutusel katab Kuu Päikese meie eest kinni, kuna kuuvarjutusel läheb Kuu tõepoolest Maa varju ja muutub selle tõttu tumedaks; täielik kuuvarjutus kestab võrdlemisi kaua (umbes $2\frac{1}{2}$ tundi) ja on näha kogu poolel maakeral ühel ning samal ajal, kuna täielik päikesevarjutus on näha ainult võrdlemisi kitsal maaribal (umbes 100 km) ja vältab paremal juhul ainult mõne minuti (5 min.). Päikese täielik varjutus on tõepoolest täielik selles mõttes, et Päikese varjutatud osa on hoopis nähtamatu, kuna täielikul kuuvarjutusel Kuu valguse tugevus küll tublisti kahaneb, hoopis nähtamatuks aga Kuu täieliku varjutuse aegu harilikult ei muutu.

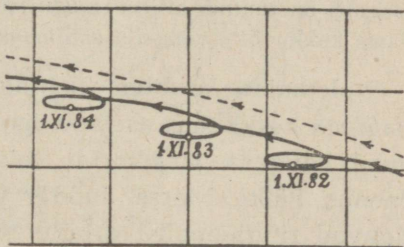
54. Kuu- ja päikesevarjutuste ennustamine ning sagedus. Kuu ja Maa liikumise teadmine võimaldab nüüdisajal täpselt arvutada varjutuse aega kui ka ulatust mitte üksnes tulevikus, vaid ka minevikus. Juba vanaajal ennustati varjutusi perioodsuse põhjal, mis valitseb varjutuste kordumisel. Nimelt juhtub iga 18 a. ja 10—11 päeva jooksul 46 päikese- ning 29 kuuvarjutust, mis ühes ning samas järjekorras ja samade ajavahemikkude järel korduvad. Tarvis on ainult 18 aasta jooksul täpselt üles märkida kõik selles ajavahemikus olnud varjutused, et ennustada edaspidiseid.

Päikesevarjutused on kuuvarjutustest sagedamad, kuid haruldasemad. Mispärast?

X. Ptolemaiose ja Kopernikuse süsteem. Kepleri seadused.

55. Rändtähed ja nende liikumised. Juba vanaajal tunti 5 rändtähte ehk planeeti, need on: Merkuur, Veenus, Marss, Jupiter ja Saturn. Nagu näha, kannavad kõik need planeedid Rooma jumalate nimesid. Kreeklased nimetasid neid planeete vastavalt: Hermes, Aphrodite, Ares, Zeus ja Kronos.

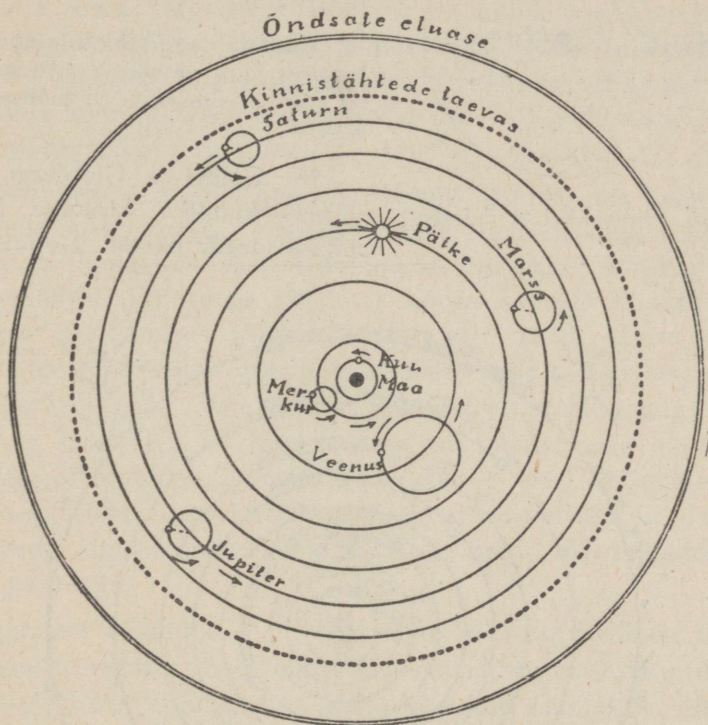
Rändtähtedest Merkuur ja Veenus jäävad alati Päikese lähedale, s. o. paistavad mõni tund pärast Päikese loojangut või niisama palju aega enne Päikese tõusu või kaovad hoopis Päikese valguses. Kõige suurem Merkuuri kaugus Päikesest on 28° , Veenusel 48° . Marssi, Jupiteri ja Saturni võime näha Päikesest igasuguses kauguses, s. o. 0° -st kuni 180° -ni. Kõik planeedid liiguvad üldiselt läänest ida poole — päripidi; siiski vahel nad peatuvad oma liikumises ida poole ja hakkavad siis liikuma idast lääne poole — vastupididi, tehes nn. silmuseid (joon. 62 ja 63). Mõne aja pärast peatuvad nad oma vastupidises liikumises ja alustavad uuesti liikumist päripidi.



Joon. 62. Saturni näiv liikumine 1882—1884.

dise või vastupidise liikumise või seisaku. Silmuste seletamiseks tuli oletada, et epitsükli tasapind moodustab orbiidi tasapinnaga teatud nurga.

Selle süsteemi ja vaatluste kooskõlastamiseks tuli võtta tarvitusele terve rida epitsükleid. Seetõttu muutus Ptolemaiose süsteem väga keeruliseks ja raskeks, nii et ainult üksikud seda suutsid mõista. Hoolimata sellest püsis Ptolemaiose süsteem ligi 1500 aastat alusena taevakehade liikumise seletamisel.

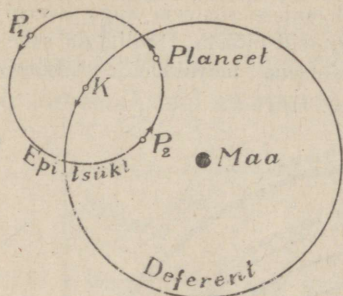


Joon. 64. Ptolemaiose süsteem.

Joonis 64 kujutab planeetide liikumise teid ümber Päikese Ptolemaiose süsteemis. Mispoolest on Merkuuri ja Veenuse deferentide asetus joonisel ekslik, kui arvestada nende kahe planeedi asendit Päikese suhtes?

57. Kopernikuse süsteem. Kopernikuse järgi on Maailma ehitus järgmine: Päike seisab paigal ja tema ümber liiguvad ringjoonelisi teid mööda Maa ühes Kuuga ja planeedid kauguse

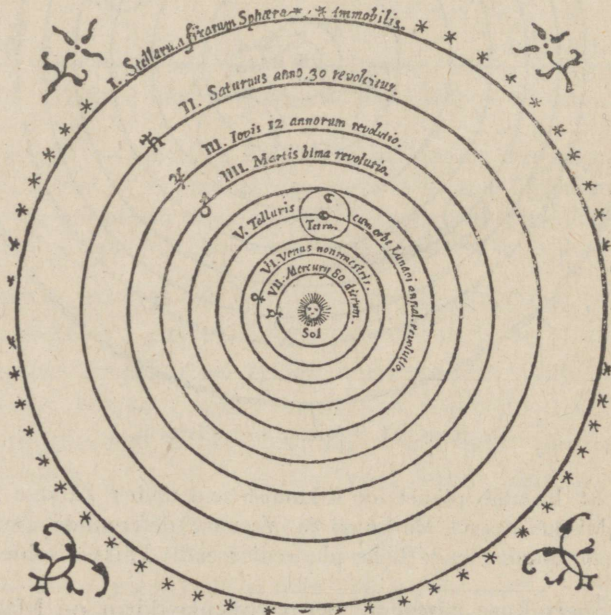
järjekorras: Merkuur, Veenus, Maa ühes Kuuga, Marss, Jupiter ja Saturn. Väga suures kauguses Päikesest asetsevad kinnistähed. See nn. Kopernikuse süsteem (vt. joon. 66) annab võimaluse planeetide liikumisi väga lihtsalt seletada, nagu edaspidi näeme.



Joon. 65. Epitsükkel ja deferent.

Võrrelda taevakehade asetust Ptolemaiose ja Kopernikuse süsteemis! Mis on ühist, mis on erinevat mõlemas süsteemis?

58. Galilei ja Giordano Bruno võitlus katoliku kirikuga Kopernikuse ideede pärast. Kopernikuse



Joon. 66. Kopernikuse süsteem, nagu see on kujutatud tema teoses *De revolutionibus orbium coelestium*.

õpetus Maa liikumisest ümber Päikese ja pöörlemisest ümber oma telje, mis nüüd on endastmõistetavaks tõeks, tähendas omal ajal suurt teaduslikku ja maailmavaatelist murrangut. Mitme tuhande aasta jooksul oli inimsugu harjunud ja harjutatud mõttega, et Maa kui kõige olemasoleva keskkohht püsib paigal ja et kogu Maailm on loodud ainult Maa jaoks. Kopernikus nihutas Maa välja tema valitsevast asendist Maailma keskkohana ja muutis ta pisikeseks liikuvaks kehakeseks teiste taevakehade keskel. Seepärast Kopernikuse revolutsiooniline õpetus Maa liikumisest leidis ägedat vastuseismist tolle aja valitsevais klassides, eriti kiriklikes ringides.

Kopernikus ise tundis väga hästi neid raskusi, mis takistasid arusaamist tema uutest ideedest. Kartes kiriku tagakiusamist kõhkles ta kaua oma elutöö avaldamisega. Alles Kopernikuse elu lõpupäevil läks tema sõpradel korda veenda Kopernikust oma teose avaldamises. Siingi tuli olla ettevaatlik, et ära hoida võimalikke süüdistusi jumalasalgamises ning tagakiusamisi kiriku poolt. Teose väljaandmist korraldav munk kirjutas eessõna, kus ta väitis, et Kopernikuse maailmaehituse süsteemi pole tõepoolest üldse olemas, vaid see on üks väljamõeldud skeemidest, mille alusel on võimalik arvutada Päikese ja planeetide asendit taevaskeral. Peale selle oli kogu töö pühendatud Rooma paavstile.

Tõepoolest vaimulikud algul ei taibanudki Kopernikuse teose usuvastast iseloomu. See selgus neile alles hiljem. Kopernikuse teos põletati ära pidulikult ja kanti keelatud raamatute nimestikku, mida usklikud katoliiklased ei tohtinud lugeda. Alles a. 1835 kustutati Kopernikuse töö *De revolutionibus orbium coelestium* sellest nimestikust.

Kuid katoliku kirik ei suutnud tõkestada Kopernikuse õpetuse levimist ja võidulepääsu, sest rida eesrindlikke õpetlasi võttis selle õpetuse omaks ja võitles tema eest. Selliseist võitlejaist väärivad erilist tähelepanu Giordano Bruno ja Galileo Galilei.

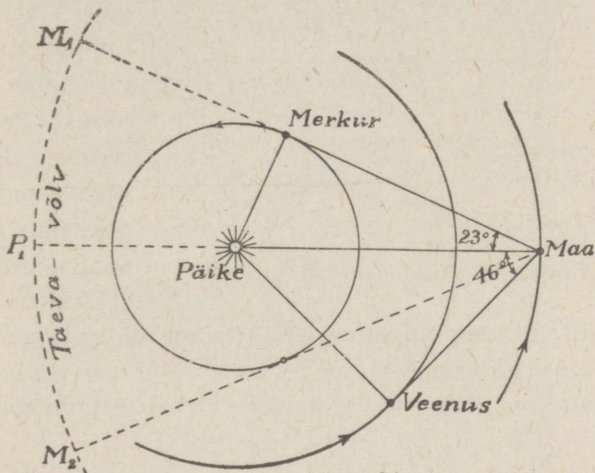
Giordano Bruno (1548—1600) kuulus katoliku munkade — dominikaanlaste hulka. Kiriklikest dogmadest teisiti arusaamise tõttu pidi Bruno kannatama katoliku kiriku tagakiusamist. Ta põgenes Itaaliast Šveitsi ja sealt Inglismaale, kus ta Oxfordi ülikoolis pidas loenguid kosmoloogia üle. Kuid siiski sunniti ta põgenema. Pärast rännakuid mitmes maas tuli G. Bruno tagasi Itaaliasse, kus ta vangistati. 8-aastase vangis istumise järel põletati G. Bruno Roomas tuleriidal kui ketser aastal 1600.

Oma töödes Bruno mitte üksnes propageeris Kopernikuse õpetust Maa liikumisest, vaid läks sellest veel kaugemale. Bruno õpetas esimesena, et sääraseid maailmu nagu meie päikesesüsteem on lõpmata palju. Tähed on Bruno arvates kauged päikesed, millede ümber tiirlevad planeedid; neil asuvad olendid, kes võib-olla on palju täiuslikumad kui meie.

Teiseks Kopernikuse õpetuse propageerijaks oli kuulus itaalia füüsik, astronoom ja matemaatik Galileo Galilei (1564—1642), füüsika ja astronoomia professor Pisa ja Padova ülikoolis. Galilei ehitas pikksilma, millega ta avastas Päikese laigud, Jupiteri kaaslased, Veenuse faasid, Kuu mäed. Kõik need nähtused olid selgeks tõenduseks Kopernikuse õpetuse kasuks, mida Galilei avalikult propageeris nii ülikooli kateedril kui ka oma kirjatöös, seejuures energiliselt paljastades oma aja õpetlaste — skolastikute harimatust ning vaimupimedust. Ühe nii-suguse kirjatöö eest (*Kõnelusi kahest maailmasüsteemist*) võeti Galilei inkvisitsioonikohtu poolt vastutusele ja sunniti juba elatanud Galileid (70 a.) loobuma oma „valeõpetusest“.

Kopernikuse töö oli tähtis mitte üksnes astronoomiale, vaid ka kogu loodusteadusele, vabastades seda kiriklikust eestkostmisest. Engels iseloomustab seda tabavalt järgmiselt: „Revolutsiooniliseks aktiks, millega loodusteadus deklareeris oma iseseisvust, oli surematu töö väljaandmine, teose, milles Kopernikus — kuigi tagasihoidlikult ja nii-öelda surivoodil — heitis kinda kiriklikele autoriteedile looduslikes asjus.“

59. **Siseplaneetid.** Merkuur ja Veenus on siseplaneetidid, sest nad liiguvad seespool Maa teed. Välisplaneetide hulka kuuluvad Marss, Jupiter ja Saturn. Siseplaneetide pendlisarnane liikumine Päikese kui tasakaalu-asendi suhtes on kergesti seletatav, projektides Maa pealt Merkuuri ja Veenuse liikumis-asendid taevavõlvile (joon. 67). Samuti ei ole raske selle joonise põhjal leida siseplaneetide suhtelisi kaugusi Päikesest, oletades, et Maa kaugus Päikesest on võetud ühikuks. Täis-



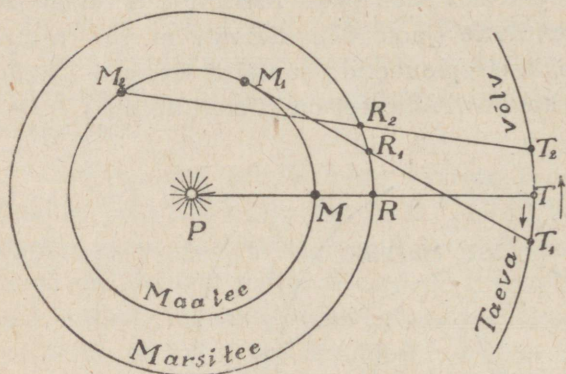
Joon. 67. Siseplaneetide liikumine.

nurksest kolmnurgast PVM (Päike — Veenus — Maa) saame Veenuse jaoks: $VP = PM \cdot \sin 46^\circ$. Olgu $PM = 1$, siis $VP = \sin 46^\circ \approx 0,7$. Samal viisil leiame, et Merkuuri suhteline kaugus Päikesest on $\sin 23^\circ$ ehk 0,4.

Leida Veenuse läbimõõtu, kui on teada, et teisel pool Päikest (ülemises ühenduses) ta paistab nurgi $10'',14$.

60. **Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletus.** Ptolemaiose süsteemis oli üheks raskemaks küsimuseks välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletamine. Kopernikuse süsteemi järgi on see väga lihtne. Joonisel 68 on kujutatud Maa ja Marsi tee

ning taevavõlvi läbilõige. Asetsegu Päike (P), Maa (M) ja Marss (R) vaatluse alguses samal sihil. Selles nn. vastasseisus paistab Marss taevavõlvil asendis T . Kui Maa on jõudnud asendisse M_1 , siis on selle aja jooksul Marss jõudnud



Joon. 68. Vastupidiste liikumiste seletamine.

oma teel asendisse R_1 ja ta paistab meile taevavõlvil asendist T_1 . Tähehdab, Marsi näiv liikumine taevavõlvil kogu selle aja jooksul oli vastupidine. Jõuab aga Maa asendisse M_2 , siis paistab Marss suunas $M_2R_2T_2$; järelilikult ta on vahepeal päripidi liikuma hakanud. Niisiis on välisplaneetide päri- ja vastupidised liikumised perspektiivne nähtus, mis on olnud vaatekoha muutumisest ühes Maa liikumisega ümber Päikese.

61. Kepleri seadused. Planeetide liikumise teede (orbiitide) kohta oli Kopernikus vana-aja astronoomidega ühel arvamisel: orbiidid on ringjoonelised. Parema kooskõla saavutamiseks vaatluste ja oma süsteemil põhinevate arvutuste vahel aetas Kopernikus Päikese väljapoole ringi tsentrit. Suurest hulgast Tycho Brahe (1546—1601) vaatlusmaterjalist tuletas aga J. Kepler (1571—1630) kolm seadust, mis täpselt ära määravad planeetide liikumise.

Esimene seadus: Planeetide liikumise tee ümber Päikese on ellips, mille ühes fookuses asub Päike.

Tõepoolest ei erine planeetide orbiidid kuigi suurel määral ringjoonest. Planeedi ümber Päikese liikumise suund on ühesugune ümber telje pöörle-

mise suunaga. Kõigi planeetide liikumised asetsevad enam-vähem samas (ekliptika-) tasapinnas.

Mis võime järeldada Kepleri I seadusest planeedi kauguse kohta Päikesest?



Joon. 69. J. Kepler.

Johannes Kepler sündis 27. dets. 1571 Württembergis kehvast perekonnast. Ta oli kehaliselt nõrk, noorelt sageli haiglane. Vanemate sagedad elukoha vahetused takistasid kooliskäimist. Erakordselt andekana lõpetas ta juba 20-aastaselt ülikooli teoloogiamagistrina. Kuid Keplerist ei saanud siiski teoloogi. Kopernikuse uus õpetus, astronoomia ja matemaatika veetlesid teda enam. Matemaatikaõpetaja koolides, õueastronoom keiser Rudolf II juures, alguses Tycho Brahe abiliseks, hiljemini iseseisvalt, ennustaja (horoskoobi seadja) väepealik Wallensteini juures, vahel taga aetud ja põgenemas usu pärast, vahel rändamas ühest kohast teise majanduslike ja perekondlike raskuste pärast — vaevaline ja kannatusrikas oli Kepleri elu. Ta suri 15. nov. 1630. Kepleri töödest on tähtsamad temanimesed 3 seadust, tööd optikast (valguse murdumisest, pikksilmade ehitusest), tööd matemaatikast ja planeetide tabelid.

Teine seadus: Planeetide raadiusvektorid katavad liikumisel pindalad, mis on võrdelised nende liikumise ajaga.

Olgu näiteks (joon. 70) raadiusvektori poolt kaetud pindalad s_1, s_2, s_3, \dots ja neile vastavad raadiusvektori liikumise ajad t_1, t_2, t_3, \dots , siis võime II seaduse põhjal kirjutada:

$$\frac{s_1}{t_1} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{s_3}{t_3} = \dots$$

Siit järgneb, et võrdsete aegade jooksul katavad raadiusvektorid võrdsed pindalad.

Mis võime järeldada II seadusest planeedi liikumise kiiruse kohta: kus on kiirus kõige suurem, kus kõige väiksem?

Millal on Maa liikumise kiirus kõige suurem ja millal kõige väiksem?

Kolmas seadus: Planeetide tiirlemisperioodid

dide ruudud suhtuvad nagu nende keskmiste kauguste kuubid.

Kahte esimest seadust võib rakendada iga üksiku planeedi kohta. Kolmas seadus seob kõik planeedid ühiseks tervikuks. Olgu näiteks planeetide keskmised kaugused r_1, r_2, r_3 jne. ning nende tiirlemisperioodid vastavalt t_1, t_2, t_3 jne., siis saame III seaduse põhjal:

$$\frac{t_1^2}{r_1^3} = \frac{t_2^2}{r_2^3} = \frac{t_3^2}{r_3^3} = \dots = k.$$

Märkus. Kergemaks meeldejätmiseks on kasulik silmas pidada, et „keskmiste kauguste kuubid“ — siin algavad kõik sõnad „k“ tähega, kuna „tiirlemisperioodid“ — „t“ tähega.

Kepleri kolmas seadus on kehtiv Päikese ja planeetide ning komeetide, samuti ka planeetide ja nende kaaslaste kohta.

Temast saame iga kahe planeedi kohta võrrandi, millest kolme elementi teades võime arvutada iga neljandat.

Näiteks Jupiteri tiirlemisperiood on ~ 12 a. Leida Jupiteri keskmine kaugus Päikesest, kui Maa kaugus võtta ühikuks.

Tähistades otsitava kauguse x -iga, saame Kepleri III seaduse põhjal x -i leidmiseks võrrandi:

$$12^2 : 1^2 = x^3 : 1^3, \text{ millest}$$

$$x = \sqrt[3]{12^2} \approx 5,2 \text{ (astron. ühikut).}$$

1. Leida Veenuse tiirlemisperiood aastais, teades, et tema keskm. kaugus Päikesest on 0,7 astron. ühikut.

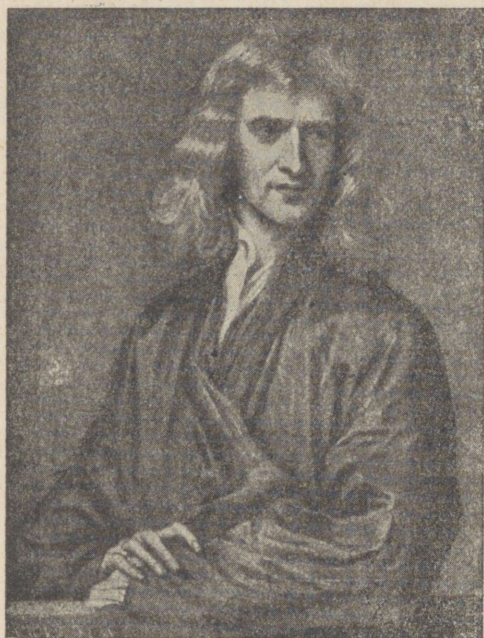
2. Leida Marsi keskmine kaugus Päikesest, kui Marsi tiirlemisperiood on 687 keskm. päeva.

3. Kasutades Kepleri III seadust näidata, et planeetide liikumise joonkiirused on pöördvõrdelised ruutjuurega nende kaugusest Päikesest. Võttes Merkuuri joonkiiruse ühikuks, arvutada teiste planeetide joonkiirused ja kujutada nende suuruse muutumine graafiliselt!

XI. Gravitatsiooniseadus ja järeldusi sellest.

62. Ajalooline ülevaade. Astronoomia ehk täheteadus on üks kõige vanemaid teadusi. Taevakehad ja nendega seotud nähtused äratasid juba vana-aja karjusrahvaste tähelepanu ning huvi oma perioodiliste ilmumiste tõttu. Siia kuuluvad näiteks Kuu faaside muutumine, öö ja päeva ning aastaegade vaheldus, Päikese asendi muutumine taevavõlvil, planeetide liikumised jne. Vana-aja astronoomiliste teadmiste kokkuvõtteks oli Ptolemaiose süsteem, mis püsis ligi 1500 aastat. Kopernikus lõi uue süsteemi, nihutades Maailma keskkoha Maa asemele Päikese. Kopernikuse tööd täiendas Kepler, kes ligemalt määras planeetide liikumise ümber Päikese. Kõik seni tehtud töö on enam-vähem geomeetrilist laadi: otsitakse üksikute nähtuste kirjeldamiseks vastavaid geomeetrilisi vorme ja püütakse neid kooskõlastada, ilma et oleks võimalik seletada kõiki planeetide liikumise nähtusi, lähtudes mõnest üldisemast põhi-

mõttest. Selles mõttes astus suure sammu edasi Newton (1643—1727), kes oma gravitatsiooniseadusega rajas aluse, millest võib matemaatiliselt



Joon. 71. Isaac Newton.

tuletada kõik planeetide liikumise üksikasjad. Juba Kepler aimas üldist füüsilist põhjust, mis määrab planeetide liikumise seadused, kuid selle avastamine temal ei õnnestunud.

63. Gravitatsioonitug.

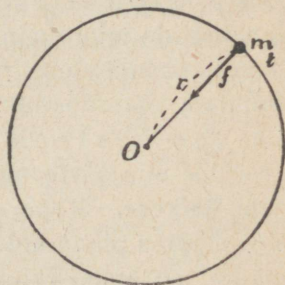
Iga vaba keha püüab kas paigal püsida või liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt (inertsiseadus). Planeedid aga liiguvad ligikaudu ringjoonelisi teid mööda. Järelikult siin peab olema põhjus, mis sunnib planeete liikumisel sirgest teest kõrvale kalduma. Füüsikas nimetatakse põhjust, mis hoiab keha ring-

joonelisel liikumisel, kesktõmbe- ehk tsentripetaaltungiks (joon. 72). Ta mõjub ringjoonel liikuvale kehale ja on suunatud alati ringjoone tsentri poole. Suuruselt on kesktõmbe

$$f = \frac{4\pi^2 rm}{T^2}, \quad (1)$$

kus r on ringi raadius, m — liikuva keha mass ja T tiirlemisperiood.

Võrdluseks teeme järgmise katse. Seome kivi nõöri otsa ja paneme ringi käima, siis tunneme, kuidas nõör pingule tõmbub. Nõöri pine-



Joon. 72.

vuses ilmnebki antud juhul kesktõmbetung. Nööri lahti laskmisel või katkemisel lendab kivi inertsil mõjul puutuja sihis, sest siis puudub tung, mis hoiaks kivi ringjoonelisel liikumisel.

Kuu liigub ümber Maa ning planeedid ümber Päikese ligikaudu ringjoonelisi teid mööda; tähendab, ka siin peab olema kesktõmbetung, mis hoiab planeete ringjoonelistel teedel. Kivi hoidis ringjoonel nöör, planeetide juures me ei tunne ühtegi nähtavat sidet. Füüsika seadustest aga järgneb paratamatult, et mingi side peab olema, mille suurus võrduks kesktõmbetungiga. Kui seda sidet poleks, siis ei püsiks planeedid oma teedel, vaid kaoksid ära maailmaruumi.

Planeetide liikumise nähtuste seletamiseks tegi Newton järgmise oletuse: planeetide liikumine ümber Päikese toimub nõnda, nagu tõmbaks Päike planeete enese poole võrdeliselt nende massidega ja pöördvõrdeliselt nende kauguse ruuduga. Selle tõmbetungi nimetas Newton gravitatsioonitungiks.

64. Gravitatsioonitungi ja raskustungi samasus. Niisiis hoiab planeete nende ringjoonelistel teedel gravitatsioonitung. Nüüd tekib küsimus, mis on siis õieti see nn. gravitatsioonitung? Newton tegi oletuse, et gravitatsioonitung on oma loomult sama mis raskustungki; seejuures ei ole raskustungi suurus jääv, vaid ta muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Selle oletuse (hüpoteesi) järelekatsumiseks arutas Newton järgmiselt: Kuu liigub ümber Maa ligikaudu ringjoonelisel teel mööda; tema kesktõmbe kiirendus on $a = 0,27 \left(\frac{\text{sm}}{\text{sek}^2} \right)$, nagu järgneb Huygensi valemist

$$a = \frac{4\pi^2 60,3R}{T^2},$$

kus R on Maa raadius ja T Kuu tiirlemisperiood. Kui raskuskiirendus väheneks pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga, siis peaks Kuu kaugusel Maast raskuskiirendus g_1 olema $60,3^2$ korda väiksem raskuskiirendusest g Maa pinnal, s. o.

$$g_1 = \frac{g}{60,3^2} = \frac{981}{60,3^2} = 0,27 \left(\frac{\text{sm}}{\text{sek}^2} \right).$$

Et pöördvõrdeliselt kauguse ruudule vähendatud Maa raskuskiirendus annab just sama väärtuse, mille saame lähtudes kesktõmbe kiirenduse (Huygensi) valemist, siis võime Kuu ja Maa kohta lugeda tõestatuks, et gravitatsioonitung on samane ehk identne raskustungiga. Samale tulemusele jõuame teisi taevakehade liikumise juhtusid käsitledes.

Arvutamise lühiduse saavutamiseks võtsime tungide asemel vastavad kiirendused. Tungi suuruste leidmiseks tuleb Newtoni II seaduse põhjal korrutada kiirendus vastava massiga. Oletades, et meil liigub üks massiühik (1 g massi), ei ole tegelikult vahet tungi ja kiirenduste arvsuuruste vahel.

Elmiste arutuste puhul oleme tarvitanud järgmist Newtoni poolt tõestatud lauset: ühtlane kerakujuline mass tõmbab külge väljaspool seda kera olevat massi nõnda, nagu oleks kera kogu mass koondatud kera keskpunkti. Selle lause põhjal võime vastastikuse gravitatsiooni arvutamisel vaadelda taevakehi (Maad, Kuud, Päikest jt.) kui ainepunkte, mis asetsevad nende taevakehade keskpunktides ja millede massid võrduvad vastavate taevakehade massidega.

65. Üldine gravitatsiooniseadus. Iga keha tungib Maa poole, sest temasse mõjub raskustung, mida võime teisiti nimetada ka gravitatsioonitungiks Maa ja antud keha vahel. Gravitatsioonitung mõjub mitte üksnes Maa peal olevate kehade vahel (kivi — Maa jne.), vaid tema mõju ulatub Maast kaugemalegi maailmaruumi (Maa — Kuu). Sedaviisi edasi arutades oletas Newton, et masside vastastikune tõmbumine ehk gravitatsioonitung mõjub kõigi maailmaruumis olevate kehade vahel, olgu nad massilt suurel või väikesel, üksteisest kaugel või lähedal. Seepärast võime kõnelda kogumaailmalisest ehk üldisest gravitatsioonist, mis on omane igale maailmaruumis olevale massile. Kõige üldisemal kujul võime üldise gravitatsiooniseaduse sõnastada järgmiselt: kaks ainepunkti tõmbuvad neid ühendava sirge sihis võrdeliselt ainepunktide masside (m_1 ja m_2) korrutisega ja pöördvõrdeliselt nende kauguste (r) ruuduga, s. o. tõmbetung

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

Tõmbetungi f saame düünides, kui m_1 ja m_2 on mõõdetud grammides, r — sentimeetrites ning gravitatsiooni võrdetegur $G = 6,68 \cdot 10^{-8}$.

66. Maa mass ja tihedus. Gravitatsiooniseadus ütleb, et taevakehade vastastikune tõmbumine oleneb nende kehade massist ja kaugusest üksteisest. Seepärast on väga tähtis teada taevakehade massi suurust. Muidugi puudub meil võimalus määrata Maa ning planeetide massi vahetult, nagu seda teeme füüsikas, määrates väiksemate kehade (rauatükk, kivi jne.) massi kaalude abil. Seepärast tuleb leida meetodeid Maa massi kaudseks määramiseks.

Olgu Maa mass M grammi ja maapinna lähedal asetseva keha mass m grammi ning raskus p düüni, Maa raadius R sm ja raskuskiirendus maapinnal $g \frac{\text{sm}}{\text{sek}^2}$ (joon. 73). Gravitatsiooniseaduse põhjal teame, et

$$f = G \frac{mM}{R^2}, \quad (1)$$

Newtoni II seaduse põhjal aga

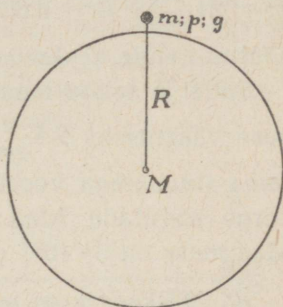
$$p = mg. \quad (2)$$

Võrdusist (1) ja (2) järgneb: $G \frac{mM}{R^2} = mg$, millest pärast lihtsustamist saame

$$GM = gR^2. \quad (3)$$

Siit näeme, et gravitatsioonikonstandi G ja Maa massi M korrutis on jääv ning võrdub korrutisega gR^2 . Valemi (3) abil on kerge arvutada Maa massi M , kui teame gravitatsioonikonstanti G , ja ümberpöörduvalt. Täheandab, Maa massi määramine on üheväärne gravitatsioonikonstandi määramisega, mida on võimalik toimetada laboratoorselt.

Teades kogu Maa massi on kerge arvutada Maa keskmist tihedust, mille all mõeldakse keskmiselt Maa iga kuupsentimeetri kohta tulevat massi grammides.



Joon 73.

Olgu Maa keskmine raadius R , ruumala V , mass M , siis saame tiheduse d jaoks järgmise valemi:

$$d = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}. \quad (4)$$

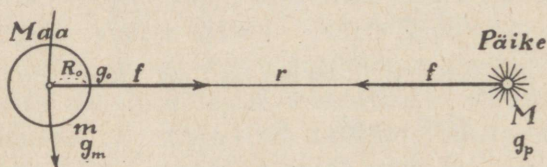
Valemi (3) põhjal $M = \frac{gR^2}{G}$. Asetame siit M väärtuse valemisse (4), siis

$$d = \frac{\frac{gR^2}{G}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}.$$

Arvutada saadud valemist Maa keskmine tihedus, kui $g = 981 \frac{sm}{sek^2}$, $G = 6,685 \cdot 10^{-8}$ ja $R = 6371$ km (g ja R jaoks on võetud nende keskmised väärtused)!

Selle ja teiste meetodite abil on saadud Maa keskmise tiheduse väärtuseks $5,5 \frac{g}{sm^3}$, s. o. Maa mass on 5,5 korda suurem kui sama ruumalaga veest keral. Teades Maa keskmist tihedust on kerge arvutada Maa massi. Kuidas? Arvutused annavad, et Maa mass on $6 \cdot 10^{27}$ grammi.

67. Päikese massi määramine. Eelmises paragrahvis antud meetodit võime rakendada ka Päikese massi määramiseks. Olgu Päikese mass M , Maa mass m , kaugus Päikesest r ja tiirlemisperiood T . Et Maa ja Päikese vaheline gravitatsioonitug



Joon. 74. Päikese massi määramine.

tatsioonitug $\left(G \frac{Mm}{r^2}\right)$ võrdub Maa tsentripetaaltungiga tema tiirlemisel ümber Päikese $\left(\frac{4\pi^2 r m}{T^2}\right)$, siis võime kirjutada võrduse:

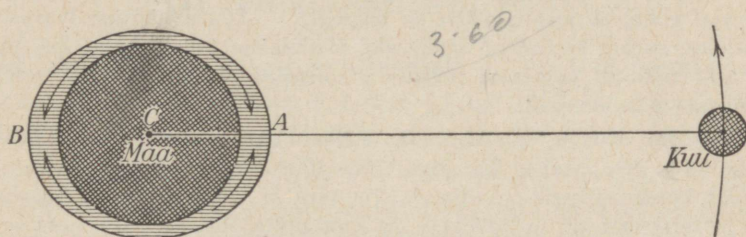
$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{4\pi^2 r m}{T^2}, \text{ millest } M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}.$$

Varem leidsime, et Maa mass $m = \frac{gR^2}{G}$, kus g on raskuskiirendus maapinnal, R — Maa raadius ja G — gravitatsioonikonstant. Seega Päikese ja Maa massi suhe

$$\frac{M}{m} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} : \frac{gR^2}{G} = \frac{4\pi^2 r^3}{gR^2 T^2}.$$

Asetades viimasesse valemisse vastavad arvud ($r = 1495 \cdot 10^{10}$ sm; $g = 981 \frac{\text{sm}}{\text{sek}^2}$; $R = 637 \cdot 10^6$ sm; $T = 365,2563 \cdot 864 \cdot 10^2$ sek.), saame $\frac{M}{m} = 333\,000$, s. o. Päikese mass on 333 000 korda suurem Maa massist ehk $2 \cdot 10^{33}$ grammi.

68. Tõus ja mõõn. Suurtes meredes ja lahtises ookeanis võib tähele panna, et veepind perioodiliselt tõuseb ja langeb. See esineb korrapäraselt päevast päeva kindlate ajavahemikkude järel. Ligi 6 tundi kestab tõus, vesi voolab kaldale, ja niisama kaua kestab mõõn, vee äravool kaldalt. Siis kordub nähtus endises järjekorras. Seega on öö-päeva jooksul 2 korda tõus ja 2 korda mõõn, tõusu või mõõna algus aga jääb iga päev umbes 50 min. võrra hiljemaks võrreldes eelmise päevaga. Juba vanaajal oli teada, et tõus ja mõõn on seoses Kuuga, sest tõusu maksimum antud kohas järgib Kuu ülemise või alumise kulminatsiooni momenti selles kohas. Ka ühtib igapäevane tõusu ja mõõna hilinemine Kuu kulminatsiooni momenti hilinemisega päevast päeva (50 min.).



Joon. 75. Tõusu ja mõõna tekkimine.

Oige seletuse tõusu ja mõõna tekkimisele andis esimesena Newton oma gravitatsiooniseaduse põhjal. Kujutleme, et kogu Maa sisemine tahke kere (joonisel 75 tumedam osa) on ümbritsetud veega. Kohas A on Maa veesakesed Kuule lähemal kui Maa tsenter C ning tsenter C omakorda lähemal kui veesakesed kohas B. Et gravitatsioonitungi suurus kaugusega väheneb (pöördproportsionaalselt kauguse ruuduga), siis seetõttu tõmbab Kuu Maad ümbritseva veekihi osakesi kohas A tugevamini ja kohas B nõrgemini enda poole kui Maa keskkoha C. Selle tagajärjel nihkuvad liikuvad veesakesed kohas A rohkem Kuu poole kui Maa keskkoha C (ühes sellega kogu Maa tahke kere) ja viimane omakorda rohkem kui veesakesed Kuule vastasendis B. Maad ümbritsev veekiht muutub seetõttu piklikuks Kuu—Maa sihis (AB), kohtades A ja B tekib tõus, nende vahepealsetes kohtades aga mõõn.

Tõusu ja mõõna laine ei püsi samas kohas paigal. Maa pöörlemise tõttu nihkub Kuu kulminatsiooni asend järjest idast lääne poole ning ühes temaga ka tõusu ja mõõna laine, haarates sedaviisi ümberringi kogu Maad. Et Kuu teineteisele järgneva ülemise kulminatsiooni vahe on 24^h 50^m, siis selle ajavahemiku jooksul on Kuu igas kohas üks kord ülemises ja üks kord alumises kulminatsioonis. Järelikult sama ajavahemiku jooksul on igas kohas 2 tõusu ja 2 mõõna.

Inertsitõttu ei jõua veosakesed kõige kõrgemasse asendisse just Kuu kulminatsiooni momendil, vaid veidi hiljem. Ka mõjuvad siin mitmesugused kohalikud tingimused (mere sügavus, kalda reljeef, orientatsioon jne.) tunduvalt kaasa. Seetõttu on tõusu maksimumi hiline mine võrreldes Kuu kulminatsiooni momendiga igas kohas erisugune. Kuid samas kohas esineb tõusu maksimumi moment alati sama ajavahemiku võrra hiljem Kuu kulminatsiooni momendist selles kohas. — Ka ei ole tõus ja mõõn igal pool ühetugevune. Kinnistes meredes (Läänemeres, Mustas meres, Vahe-meres jm.) on tõus ja mõõn vaevalt märgatav, lahtises ookeanis ulatub ta umbes 1 meetrini, kuna kitsais mere poole laienevais lahtedes tõuseb vesi tõusu ajal vahel 20 meetri võrra ja enamgi. — Tõusu nähtust laevasõidus kasutatakse suurte laevade sissepääsuks madalaisse sadamaisse. Ka on viimasel ajal hakatud kasutama tõusulaine energiat turbiinide käimapanekuks sellekohaste paisude abil.

Samuti kui Kuu mõjub Maale ka Päike. Hoolimata suurest massist on Päikese mõju tema suure kauguse tõttu tõusu ja mõõna tekkimisel Kuu omast 2,2 korda väiksem. Arusaadav, et tõus ja mõõn on kõige tugevamad noor- ja täiskuu ajal, mil Päikese ja Kuu mõju liituvad. Esimese ja viimase veerandi ajal mõjuvad Kuu ja Päike tõusu ja mõõna tekitamisel vastassuunas, seepärast on siis tõus ja mõõn ka kõige nõrgemad.

69. Neptuuni ja Pluto avastamine. Vana-aja täheteadlased tundsid ainult viit planeeti (Merkuur, Veenus, Marss, Jupiter, Saturn). See tuntud planeetide arv püsis kuni aastani 1781, mil inglise täheteadlane W. Herschel juhuslikult avastas uue planeedi — Uurani, mille orbiit asetseb väljaspool Saturni orbiiti. Päikesesüsteemi kahel viimase planeedi — Neptuuni ja Pluto avastamine väärrib tähelepanu Newtoni gravitatsiooniseaduse hiilgava tõestusena.

Iga planeet tiirleb Kepleri seaduste järgi ellipsit mööda, mille fookuses asub Päike. See oleks nõnda täiesti täpselt ainult sel juhul, kui planeedi liikumise määraks vaid Päikese ja planeedi enese vastastikune külgetõmme. Kuid teised taevakehad samuti mõjutavad oma külgetõmbega elliptilist liikumist, nii et selles tekivad korrapäratused ehk häired.

Uurani avastamisest saadik (1781) leidsid astronoomid selle liikumises häiremõjusid, mida ei suudetud kuidagi seletada ainult kõigi senituntud

planeetide mõjuga. Mõned õpetlased (Leverrier, Adams) oletasid, et seletamatud häired Uurani liikumises olenevad senitundmatu planeedi külgetõmbest, ja seadsid endile ülesande — määrata taevavõlvil tundmatu planeedi asend. Kaheaastase arvutamise järel teatas viimaks prantsuse õpetlane Leverrier Teaduste Akadeemiale oma uurimuste tulemustest. Ühtlasi kirjutas ta sellest astronoom Galle'le Berliini, kus olid valmistatud täpsed tähekaardid, paludes teda näidatud kohal otsida planeeti. Võrreldes kaarti Leverrier' poolt juhutatud taeva-alaga, leidis Galle seal senitundmatu tähe, mis osutuski otsitud planeediks.

Kuid mõnesugused arusaamatud häired jäid püsima Uurani liikumises ka pärast Neptuuni avastamist. Ameerika astrofööm Lowell tõendas arvutamise teel, et Uurani häired on seletatavad väljaspool Neptuuni oleva tundmatu planeediga, mille tee ta välja arvutas. Hulk aega ei suudetud seda planeeti üles leida. Alles 14 a. pärast Lowelli surma (1930. a.) avastati tundmatu planeet fotograafilisel teel ja nimetati Plutoks.

XII. Päikesesüsteemi ehitus.

70. Astrofüüsika mõiste ja meetodid. Et tundma õppida taevakehade ehitust, keemilist koostist ja aine olekut nende atmosfäärides ning seismuses, tuleb kasutada astrofüüsika uurimise meetodeid ja saavutusi. Astrofüüsika on astronoomia noor teadusharu, mis sündis alles möödunud sajandil spektrilise analüüsi leiutamise ja kiirgamise seaduste avastamisega. Astrofüüsika arenes väga kiiresti ja on saavutanud oivalist edu taevakehade füüsikalise looduse tunnetamisel. Astrofüüsika peamisteks uurimisviisideks on taevakehade heleduse mõõtmine ehk astrofotomeetria ja spektri uurimine ehk astrospektroskoopia. Uuemal ajal rakendatakse seda kõike koos fotograafiaga.

71. Päikesesüsteem. Maa tiirleb ümber Päikese ellipsikujulisel teel, mille fookuses asetseb Päike. Peale Maa liigub ümber Päikese veel hulk teisi taevakehi, mis kõik ühes Päikesega moodustavad omaette kosmilise terviku — päikesesüsteemi. Ehk küll päikesesüsteem on niivõrd suur, et meil on raske seda konkretselt kujutella, ometi on ta suures tähtede maailmas vaid kaduv-väikeseks osakeseks. Kui oleks võimalik mõne tähe kau-

gusest vaadata päikesesüsteemi, siis paistaks meie hiiglasuur Päike koguni päris tavalise tähena, kuna aga tema ümber tiirlevaid planeete ja teisi taevakehi, nende hulgas ka meie Maad, poleks suure kauguse pärast võimalik nähagi.

Päikesesüsteemi kõige suurem ja tähtsam liige on Päike. Päike on isehiilgav taevakeha; teised kehad, mis tiirlevad tema ümber, on alaliselt Päikese üleoleva külgetõmbe mõju all; ka annab tema neile kõigile valgust ja soojust.

Planeedid ehk rändtähed, nende hulgas ka Maa, on iseenesest tumedad läbipaistmatud taevakehad; ainult planeetide pinnalt tagasi peegeldunud Päikese valguse mõjul on nad nähtavad. Planeetide pinna loodus ja välimus olenevad Päikese soojusest ja valgusest, kuid Päikese loodust ja arenemist vaevalt mõjutavad planeedid.

Praegusajal on tuntud üheksa suurt planeeti, mis Päikesest lähtudes asetsevad järjekorras: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uuran, Neptuun ja Pluto.

Peale kolme viimase on teised palja silmaga nähtavad ja viis neist olid tuntud juba vana-ajal. Kuid peale suurte planeetide on praegusajal teada veel üle poolteise tuhande väikese planeedi, mida kutsutakse asteroidideks ehk planetoidideks. Nende teed mõne vähese erandiga on kõik Marsi ja Jupiteri tee vahel.

Kuus planeeti omavad kaaslasi ehk kuusid, mis loomu poolest on planeetide sarnased; nad tiirlevad ümber oma ema-planeedi ja liiguvad ühtlasi viimase seltsis ümber Päikese. Praegusajal on üldse teada 28 kuud, mis jaotuvad järgmiselt: Maal — 1, Marsil — 2, Jupiteril — 11, Saturnil — 9, Uuranil — 4, Neptuunil — 1. Merkuuril, Veenusel ja Plutol pole teada ühtegi kuud.

Komeedid ehk sabatähed on erilised hõredad udulised taevakehad, mis harva ilmuvad palja silmaga vaatlejale. Mõned neist, liikudes tunduvalt pikergusil ellipseil ümber Päikese, kuuluvad meie päikesesüsteemi.

Neptuni tee

Meteoorid on tahked kivi- või metallisarnased kehakesed, mis on meile nähtavad ainult siis, kui nad maailmaruumist satuvad Maa õhkkonda ja hakkavad hõõrdumise tagajärjel lendtähtedena helendama. Osa meteore on ka päikesesüsteemi liikmed.

72. Päikesesüsteemi korrapärasus.

Taevakehade liikumist päikesesüsteemis juhib üldine tõmbe- ehk gravitatsioonitug. Mõned korrapärasused planeetide liikumises, mis järgnevad gravitatsiooniseadusest, on meile tuttavad Kepleri seaduste nime all. Kuid peale nende üldiste seaduste esineb veel korrapärasusi, mis eriliselt iseloomustavad päikesesüsteemi ehitust.

1. Planeetide teedetaspinnad peaaegu ühtivad Maa tee ja ekliptikatasapinnaga. Ainult mõnede asteroidide teed on ekliptika suhtes tunduvalt kaldu, kuna veel silmapaistvaks erandiks on komeedid ja mõned suurte planeetide kaaslasted.

2. Planeetide ja nende ümber tiirlevate kaaslasteteed on ellipsid, mis vähe erinevad ringist. Mõnede asteroidide, kuid eriti komeetide teed on tunduvalt pikergused ellipsid.

Uurani tee

Saturni tee

Jupitri tee

Marsi tee



Joon. 76. Päikesesüsteem.

3. Kõik planeedid tiirlevad ümber Päikese ühes ja samas, nimelt Päikese ööpäevase liikumise vastassuunas. Peale mõne vähese erandi tiirlevad samas suunas ümber planeetide ka kaaslased ja pöörlevad oma telgede ümber planeedid, Kuu ning Päike.

Need iseärasused päikesesüsteemi ehituses tekitavad veende, et Päikese pere liikmed pole juhuslikult aja jooksul ühte sattunud. Pidid olema ühised põhjused, ühine algus, et võis esile ilmuda seesugune tervikuline ja kooskõlastatud looduse sünnitis.

73. Päikesesüsteemi suurus ja planeetide korrapärane järjestus.

Kepleri kolmanda seaduse põhjal on võimalik määrata planeetide keskmised kaugused Päikesest, kui on teada nende sideerilised tiirlemisperioodid. Võttes pikkusühikuks nn. astronoomilise ühiku, s. o. Maa kauguse Päikesest, võib selle abil määrata kõigi planeetide kaugused ja selle järgi kujutella või joonestada päikesesüsteemi kava (joon. 76).

Nõnda osutub, et kõige kaugem päikesesüsteemi planeet Pluto on umbes 40 korda Päikesest rohkem eemal kui Maa. Valguskiir, mis tuleb Päikeselt, jõuab $8\frac{1}{4}$ minutiga Maa peale, aga Plutoni jõudmiseks kulub sellel $5\frac{1}{2}$ tundi.

Juba ammu oli teada, et planeetide kaugused ligikaudselt alistuvad järgmisele väga lihtsale korrapärasusele. Kirjutame järjestikku arvud, mis peale esimese moodustavad geomeetrilise rea:

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 768

ja lisame neile igäihele 4; nõnda saame uue arvude rea:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388, 772.

Jagades saadud arvud 10-ga, saame arvud:

0,4; 0,7; 1; 1,6; 2,8 jne..

mis esitavad planeetide suhtelisi kaugusi Päikesest astronoomilisis ühikuis. Nõnda vastab Merkuurile 0,4, Veenusele 0,7, Maale 1, Marsile 1,6, Jupiterile 5,2 jne. Asteroidide rühma jaoks on vastav arv 2,8.

Niisugust planeetide kauguste korrapärasust ehk nn. Bode-Titius'e seadust pole suudetud teoreetiliselt põhjendada; kuid sellest hoolimata etendas ta vahel uute planeetide avastamisel tähtsat osa, olgugi et Neptuuni ja Pluto puhul on erinevused õige suured.

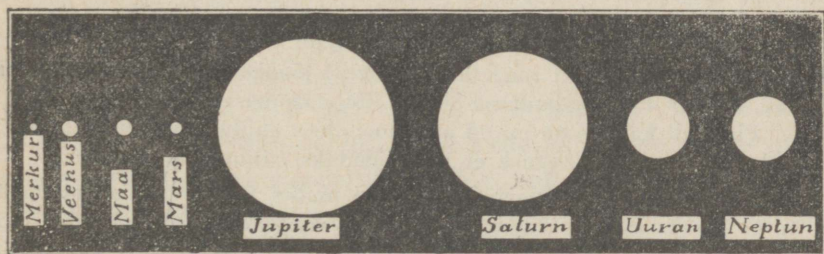
Ülesanne: Raamatu lõpus antud tabeli abil selgitada Bode-Titiuse reegli põhjal määratud planeetide kauguste erinevusi tõelistest kaugustest!

Päikese kaugusest sõltub valguse ja soojuse hulk, mille saab planeet Päikeselt. Nõnda on Merkuuri pind, mis asetseb Päikesele umbes 3 korda ligemal kui Maa, 9 korda tugevamini valgustatud ja soojendatud, sest et kiirguse intensiivsus on pöördvõrdeline kauguse ruuduga. Marsi pinna valgustus Päikese kiirtest on aga umbes 2 korda nõrgem, sest Marss on Päikesest $1\frac{1}{2}$ korda kaugemal kui Maa.

74. Planeetide jaotus. Kauguse järgi Päikesest on meie Maa kolmas planeet päikesesüsteemis. Planeete, mis on Päikesele ligemal kui Maa, nagu Merkuur ja Veenus, kutsutakse siseplaneetideks. Nad võivad meile ilmuda ainult õhtul läänetaevas pärast Päikese loojangut või hommikul idataevas enne Päikese tõusu. Seevastu aga võivad välisplaneedid, millele teed nagu Marsil, Jupiteril jne. on Maa teest väljaspool, meile paista mitte ainult õhtul ja hommikul, vaid iseäranis heledalt just kesköö ajal, mil nad on vastasseisus Päikesega. Nähtamatuiks muutuvad meile kõik planeedid, kui nad jõuavad oma ülemisse ühendusse, s. o. kui nad on teisel pool Päikest.

Kuid planeetide jaotus sisemisteks ja välimisteks on suhteline, sest see oleneb meie enese asendist päikesesüsteemis. Oma ehituselt ja loomult võib suuremaid planeete jagada kaheks teineteisest erinevaks rühmaks.

Esimesse kuuluvad planeedid Merkuur, Veenus, Maa ja Marss, mis on Päikesele ligemal ja oma suuruselt, massilt



Joon. 77. Planeetide suhtelised suurused.

ja tiheduselt rohkem sarnanevad Maaga kui teised planeedid. Oma jahtumisprotsessi käigus on nad juba küllalt kokku tõmbunud ja kattunud kõva koorega. Ka muud füüsikalised tingimused mõnel neist, eriti Veenusel ja Marsil, on seesugused, et võib oletada isegi elu olemasolu nende pinnal.

Teise rühma kuuluvad hiigelplaneedid Jupiter, Saturn, Uran ja Neptuun, millel on omavahel palju sarnasust, kuna Pluto oma kauge asendi ja suhtelise väiksuse tõttu on omaette liik. Suured planeedid tiirlevad aeglaselt ümber Päikese, kuid pöörlevad kiiresti ümber oma telje, nii et nende kuju on muutunud lapikuks. Ka omavad nad kaasläsi ehk kuusid suurel arvul, kuna aga Maa-sarnastel planeetidel on neid vähe või nad puuduvad üldse.

Suurte planeetide keskmine tihedus on Maa tihedusega võrreldes tunduvalt väiksem. Planeete ümbritseb tihe, pilvedega täidetud õhkkond, mis tavaliselt peidab nende kindlat pinda meie silmade eest. Pinnaehitus ja atmosfääri koostis on umbes ühesugused, kuid hoopis erinevad Maa-sarnaste planeetide omast.

Väikesed planeedid ehk asteroidid lahutavad ruumiliselt mõlemat rühma teineteisest. Need on pisikesed õhkkonnata taevakehad, millede kogumass on ainult umbes üks tuhandik Maa massist.

1. Joonestada mõne mõõtkava järgi, näit. 15 miljonit kilomeetrit ühes millimeetris, päikesesüsteemi plaan (vt. tabel 1 raamatu lõpus!).

2. Rongi kiirus on $15 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, häälele $330 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, valgusel $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

Kui palju kuluks aega, et rong (hääle, valgus) jõuaks läbida Maa ekvaatori pikkuse, Kuu ja Päikese kauguse Maast, Pluto kauguse Päikesest?

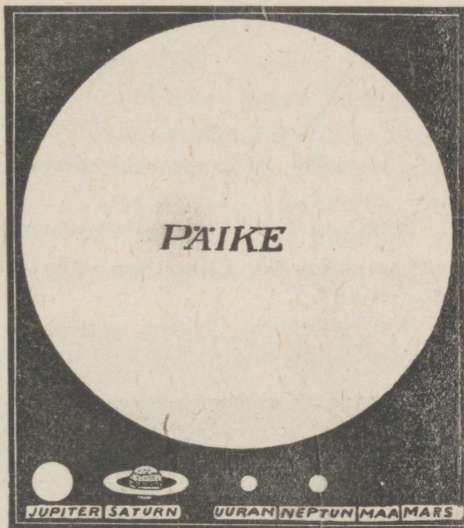
3. Planeedi kaugus on antud astronoomilisis ühikuis. Missuguse arvuga tuleks korrutada seda kaugust, et ta väljenduks miljoneis kilomeetris?

4. Päikese läbimõõt esineb meile nurgi umbes 32'. Arvutada, mil määral nurgi ilmuks Päikese läbimõõt, kui seda vaadelda Merkuurilt või Neptuunilt. Esitada tulemused graafiliselt, joonestades ringid, mis kujutaksid Päikese näivat ketast, vaadatuna Merkuurilt, Maalt ja Neptuunilt.

5. Võrrelda kiirte-energia hulki, mis saab Päikese kiirte suunale risti asetatud pinnaosa (1 sm^2) mitmesugustel planeetidel võrreldes Maaga.

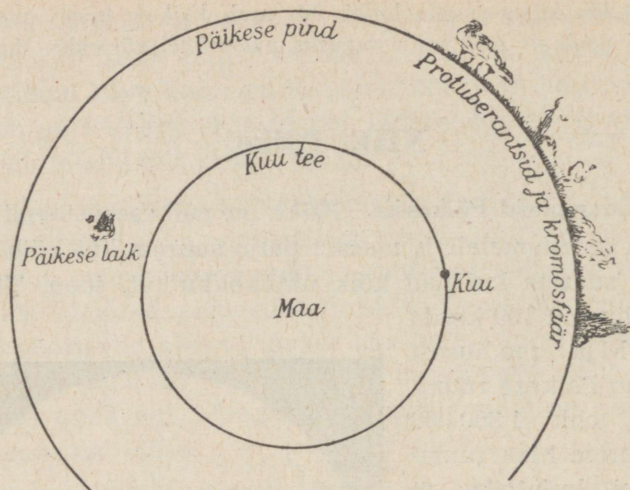
XIII. Päike.

75. Üldandmeid Päikesest. Päike on päikesesüsteemi keskne keha. Ta on ruumalalt ja massilt palju suurem kui kõik planeetid, isegi suurem kui nad kõik ühtekokku (vt. joon. 78). Päikese raadius on 109 korda suurem Maa raadiusest (§ 43) ning Päikese ruumala 109^3 ehk 1 300 000 korda suurem Maa ruumalast. Kui kujutella, et Maa asetseks Päikese sees ta keskpunktis ja Kuu tiirleks ümber Maa, siis Kuu tee mahuks Päikese kera sisse, umbes ta poole raadiuse kaugusel keskpunktist (joon. 79).



Joon. 78. Päikese ja planeetide suhtelised suurused.

P ä i k e s e m a s s (§ 65) on 333 000 korda suurem Maa massist. Neist andmeist võime järeldada, et Päikese keskmine tihedus on $\frac{1}{4}$ Maa keskmisest tihedusest (5,5 vee suhtes). Seega on Päikese aine keskmiselt 1,4 korda tihedam kui vesi. Et Päike on gaasiline keha, siis peab temas gaas olema tugevasti kokku surutud. Peale selle, et Päike ületab planeete oma suurusega ja valitseb ning korraldab nende liikumist oma kolossaalse tõmbetungiga, annab ta neile ka valgust ja soojust.



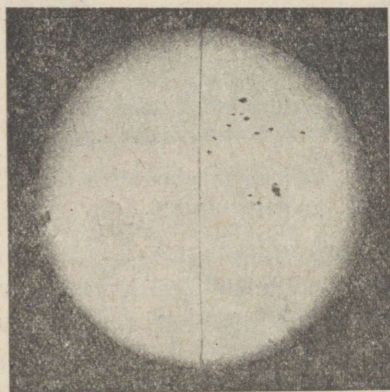
Joon. 79. Päikese suurus võrreldes Kuu kaugusega Maast.

1. Raskustungi kiirendus Maa pinna juures on $9,8 \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$; kui suur on raskustungi kiirendus Päikese pinnal? Mitu meetrit langeb seal keha esimesel sekundil?

2. Kui raske oleks Päikesel inimese keha, mis maapinnal kaalub 75 kg?

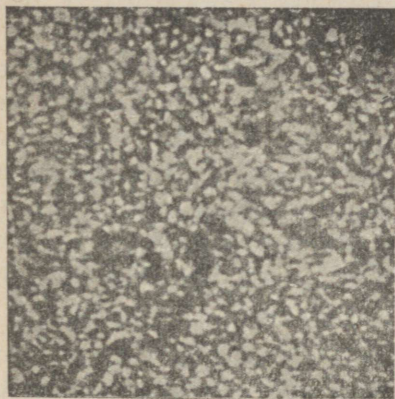
76. Päikese pinna nähtused.

Palja silmaga vaadates näeme Päikest pimestavalt heleda ketana. Kuid juba väikeses pikksilmas, nagu seda esimesena tõendas Galilei, võib (tumedada klaasi abil) Päikese heledal pinnal enamasti alati tähele panna tumedaid täppe või laike (joon. 79-a). Suuremas pikksilmas paistab Päikese heledav pind ehk fotosfäär meile enam-vähem räbusena, kirjuna, just kui ujuksid tumedamal tagapõhjal heledamad terad või



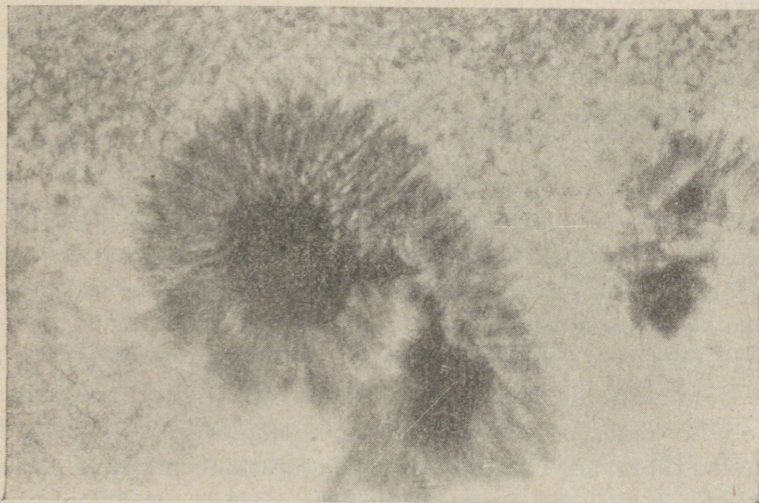
Joon. 79-a. Päikese fotosfäär ühes laikudega.

sõmerad (joon. 80). Seesugust nähtust kutsutakse granu-
latsiooniks (*granulum* = terake). Terad ehk *granula*'d, mil-
lede läbimõõt on harilikult sa-
dasid kilomeetreid, muudavad
kiiresti oma kuju ja liiguvad
edasi kiirusega 10 kuni 40 kilo-
meetrit sekundis. Nende tõe-
line loomus on veel lõplikult
selgitamata, kuigi mõned uuri-
jad sarnastavad neid pilvedega,
nähes neis fotosfääri gaaside
tihendusi.



Joon. 80. Päikese granulatsioon.

Päikese ketta heledus on
tema keskpaigas kõige suurem;
ketta servade poole heledus
korrapäraselt kahaneb, mida
iseäranis selgelt ilmutab foto-
graafia. Selle nähtuse üheks põhjuseks peetakse kiirte neeldu-



Joon. 81. Päikese laigud.

mist Päikese atmosfääris. Kiired, mis meile tulevad Päikese servade poolt, peavad läbima Päikese atmosfääris paksema kihi kui kiired, mis tulevad Päikese ketta keskelt, ja neelduvad tugevamini kui viimased.

Päikese pinnal võiks pikksilmaga peaaegu alati näha tumedaid laike. Tüüpiline Päikese laik on ümmargune; see koosneb keskmisest tumedast osast, nn. varjust (*umbra*), mida ümbritseb heledam, hallikas äär, poolvari (*penumbra*) (joon. 81). Laik pole absoluutselt tume, vaid ainult Päikese pimestavalt heleda pinna kontrasti mõjul seesugune. Kui oleks võimalik kõrvaldada Päikese pinna hele tagapõhi, siis näiks laik ikkagi veel küllalt hele ja paistaks punakana.

Laikude suurus on mitmesugune. Mõned laigud on nii suured, et neid palja silmagagi näha võib. Paljude laikude pindala on suurem kui kogu Maa pindala. Suurtel laikudel on kalduvus jaguneda väiksemaiks. Enamasti ilmuvad laigud rühmiti.

Laigud oma püsivuselt on mitmesugused. On laike, mis püsivad ainult mõned tunnid, kuid teised on nähtavad Päikese mitme pöörangu vältel.

Laikudega koos, kuid vahel ka neist eraldi, ilmuvad erilised heledad loidud ehk lõkkesed, nn. fakiidid. Nad näivad üldisest fotosfäärilisest pinnast natuke kõrgemal olevat ja on sellest heledamad.

Päikese laigud ei ilmu igas kohas Päikese pinnal, vaid kõige sagedamini ekvaatorilises vöös — kuni 30° põhja- ja lõunalaiuse paralleelini. Päikese ekvaatorist eemal on neid harva näha, pooluste lähedal aga mitte kunagi. Oma olemuselt on Päikese laigud Päikese sisemusest suure rõhumise alt vabanenud pöörlevate ioniseeritud gaaside voolud. Kui gaas satub suure rõhumise alt Päikese madalama rõhu piirkonda, siis ta laieneb, hõreneb, ja gaasi temperatuur langeb. Tõepoolest, nagu uurimised näitavad, Päikese laigu temperatuur on muu fotosfääri keskmise pinna omast tunduvalt madalam, mis põhjustabki laigu väiksemat kiirgamist, järelikult ka tumenemist.

On kindlaks tehtud, et Päikese laikudel on pööriseline ehitus nagu meie tuulispeadel, tornaadodel ja tsükloonidel (joon. 82). Ioniseeritud gaaside pöörlemine Päikese laikudes, sarnanevalt elektrivooluga (vrd. solenoidiga!), tekitab laigus magnetilisi tunge. Et Päikese laigud on tugevad magnetitungi väljad, tõendab nn. Zeeman'i efekt: valguskiirte läbimisekul magnetiväljast spektrijooned paljunduvad, s. t. kahenevad või kolmenevad vastavalt sellele, kas kiired on rööbiti või risti magneti tungjoontega.

Missugune lineaarne pikkus Päikese pinnal paistab meilt vaadates ühe kaaresekundi all?

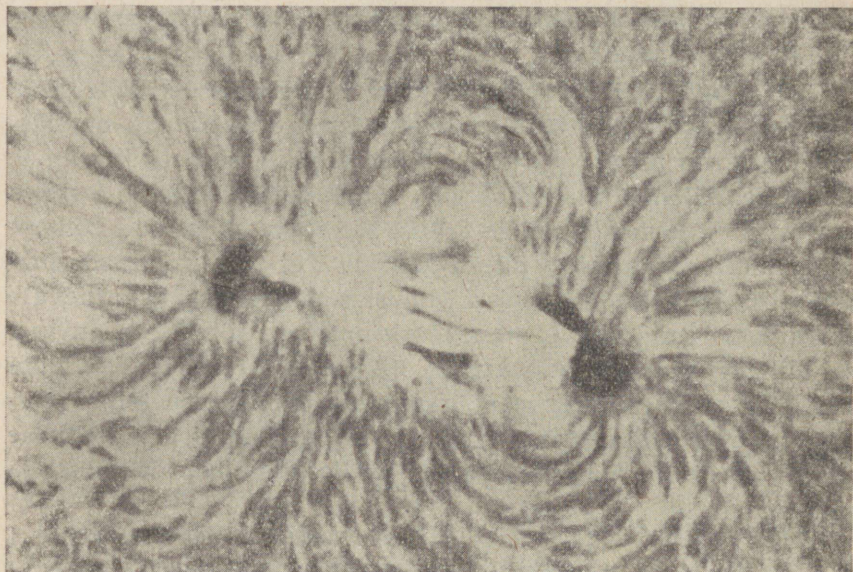
77. Päikese pöörlemine ümber telje. Päikest vaadeldakse pikksilmas harilikult läbi tumeda klaasi, kuid eriti mugav on vaadelda Päikese pinda, projektides selle pikksilma abil valgele ekraanile. Nõnda vaadeldes võib tähele panna laikude kuju ja suurust ning loendada nende arvu. Kui laikude asendid Päikese kettal järgemööda mõne päeva jooksul üles joonistada, siis ilmneb, et laigud on liikumas erisugustes suundades ja erinevate kiirustega. Kuid peale laikude erisuunaliste liikumiste on neil veel ühine kiirem samasuunaline liikumine (idast läände), mida on kerge seletada Päikese pöörlemisega ümber oma telje. Nii viisi võib kõnelda Päikese poolustest, ekvaatorist ja Päikese pinna punktide heliograafilisest (*helios* = päike) laiusest ja pikkusest.

Päikese laikude liikumiste üksikasjaline uurimine näitas, et Päike ei pöörle mitte täiesti nagu tahke, vaid kui vedel või gaasiline keha, mille mitmesugused pinnavööd pöörlevad erisuguse nurkkiirusega. Sel ajal, kui Päikese ekvaatorilise vöö pöörlemise periood on 25 päeva, kasvab see pidevalt ühes heliograafilise laiusega kuni umbes 50 päevani. Päikese pöörlemist ja selle iseloomu on peale laikude võimalik uurida ka teiste Päikese pinnal ilmuvate nähtuste (faklite, protuberantside) abil.

Mitu päeva kulub selleks, et mõni Päikese laik, mis tuleb nähtavale Päikese ketta idapoolsel serval, jõuaks selle läänepoolsel serval oma kadumiseni?

78. Päikese õhkkond. Päike on väga kõrge temperatuuriga tihendatud gaasidest koosnev keha, mille tihedus Päikese keskmes on kõige suurem, kuid pinna poole muutub järjest väiksemaks. Päikese pinna all mõistetakse fotosfääri kihi ülemist piiri, mida Päikesel kui gaasilisel kehal ei tule kujutella järsult piiratud. Päikese fotosfääri ümbritseb gaaside kiht, mida kutsu-

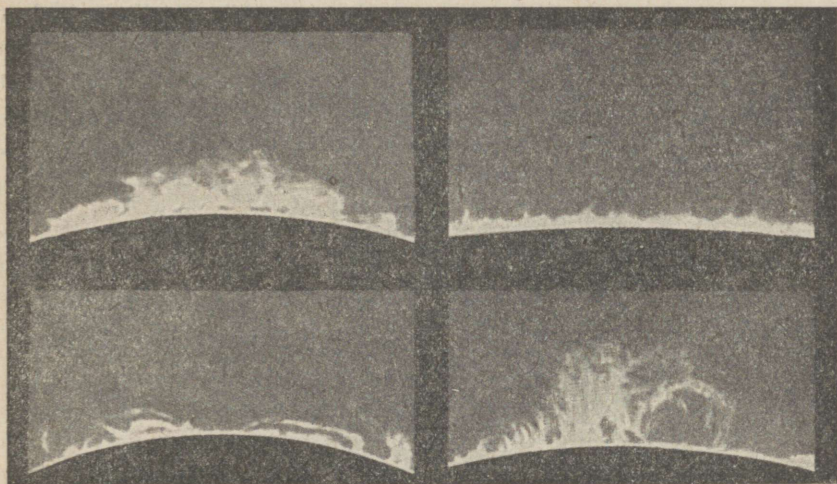
takse kromosfääriks ehk Päikese õhkkonnaks. Kromosfäär koosneb väga hõrendatud gaasidest, peamiselt vesinikust, heeliumist ja kaltsiumist gaasilises olekus. Kromosfääri tihedus on õhu tihedusest mitu tuhat korda väiksem ja ta ulatub Päikese pinnalt üle 10 000 km kõrgusele.



Joon. 82. Päikese laigud kui pöörised.

Kromosfääri on kõige parem uurida täieliku päikesevarjutuse ajal. Momendil, mil Kuu ketas päikesevarjutuse ajal katab parajasti Päikese serva viimase osa, võib Päikese ketast näha ümbritsetuna punakast või roosakast rõngast. See ongi kromosfäär (*kromos* = värv), mille alumist, Päikese pinnale lähemat ja tihedamat osa kutsutakse ümberpööravaks kihiks. Niisugune nimi tuleb sellest, et päikesevarjutuse ajal, vaadeldes spektroskoobiga just sel momendil, kui Kuu on täielikult kinni katnud Päikese ketta, tumedad Fraunhoferi jooned välgatavad hetkeks (umbes 1 sekundi jooksul) heledaina („ümberpööratuina“) tumedamal tagapõhjal. Niisugust spektrit kutsutakse välgatusspektriks. Ümberpööravat kihti loetakse peamiselt tumedate Fraunhoferi joonte tekitajaks. Selle kihi paksus on umbes 800 kilomeetrit.

79. Päikese protuberantsid. Täieliku päikesevarjutuse ajal või erilise spektroskoobi abil ka ilma päikesevarjutuseta võib Päikese servadel tajuda helendavaid leegitaolisi moodustisi, mida kutsutakse protuberantsideks (joon. 83).



Joon. 83. Päikese protuberantside ülesvõtteid.

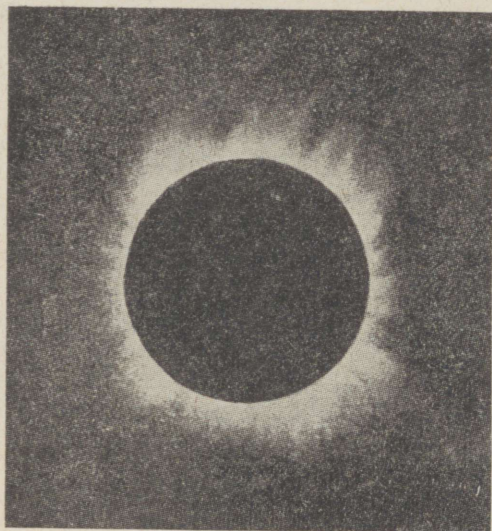
Protuberantside kuju on väga mitmesugune ja kiiresti muutuv. Kord esinevad nad grandioosete tulekeelte või -sammastena, millel on pööriline ja purskeline ehitus, kord aga pilvedena, mis ujuvad rahulikult Päikese atmosfääri kõrgeis kihtides.

Protuberantsid koosnevad vesinikust ja metallide (kaltsium, raud) aurust, mis liigub väga suure kiirusega — sageli kuni 500 km sekundis. Sellise kiiruse mõjul võivad pursked Päikese pinnalt tõusta väga kõrgele. Pilvekujulised, nn. rahulikud protuberantsid ujuvad sageli 50 000 kuni 100 000 km kõrgusel. On koguni nähtud protuberantse suuremal kui Päikese raadiuse kaugusel tema servast, s. o. enam kui 700 000 km eemal Päikese pinnast. Suure liikumiskiirusega on seotud ka protuberantside kiire kuju muutumine. Enamasti kaovad nad juba mõne tunni või koguni minutiga. Üldiselt ei kesta nende ilmumine kaua. Kuid teiselt poolt on teada siiski juhtusid, mil protuberantsid püsisid pikemat aega.

Protuberantsid ilmuvad enamasti Päikese laikude läheduses; kuid nad võivad esineda ka mujal ja koguni neil aladel, kus laigud kunagi ei ilmu,

nagu näiteks Päikese pooluste piirkonnas. Ka on protuberantsidel nagu Päikese laikudelgi 11-aastane sagedusperiood.

80. Päikese kroon. Päikese täieliku varjutuse ajal, kui Kuu on katnud meie pilkude eest Päikese pimestavalt helendava ketta,



Joon. 84. Päikese kroon.

võib selle ümber näha omapärast hõbedaselt hiilgavat pärga ehk oreooli, mida kutsutakse Päikese krooniks (joon. 84).

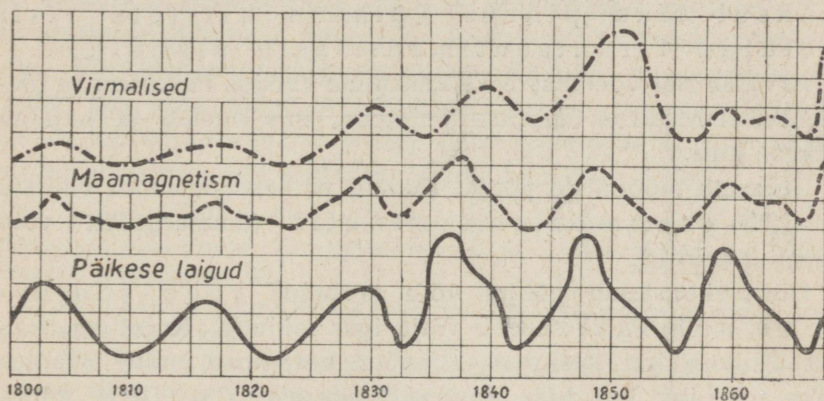
Uuemal ajal (1951) leitud meetod fotograafida Päikese krooni ka muul ajal, peale päikesevarjutuse. Selleks kasutatakse erilist vaatlusriista, nn. koronograafi ja vaatluskohana kõrgeid mägesid, kus õhk on eriti läbipaistev ja puhas.

Päikese krooni tuleb pidada Päikese atmosfääri kõige hõredamaks ja kaugemaks osaks. Krooni pindheledus kahaneb kiiresti ühes kaugusega Päikese servast, kuid mõnikord on olnud võimalik seda jälgida mitme radiuse kauguseni Päikese pinnast. Kroon annab meile umbes niisama palju valgust kui täiskuu.

Krooni ehitus on üsna keeruline. Vahel paistavad temas silma kiirte vihud, mis lähevad Päikese juurest laiali. Krooni spekter on nõrga pideva tagapõhjaga, millel paistavad mõned heledad kiirgamisjooned. Sellest võiks järeldada, et kroon koosneb hõrendatud gaasidest ja osalt vahest ka vedelaist või tahkeist ainekübemeist.

Krooni kuju muutub tunduvalt ühes Päikese nähtuste 11-aastase perioodiga. Maksimumi aastail, mil need nähtused on kõige intensiivsemad, on kroon ühtlane; miinimumi aastail näib ta pooluste juures olevat kitsamaks kokku surutud.

81. Päikese nähtuste perioodsus ja nende seos maapealsete nähtustega. Ehk küll Päikese laike ilmub peaaegu alati, esineb neid mõnedel ajajärkudel iseäranis sageli ja teistel — üsna harva. Esimesi kutsutakse Päikese laikude maksimumideks, teisi — miinimumideks. Kauakestnud vaatluste abil saadud andmete statistiline uurimine näitas, et laikude ilmumise sagedus kordub perioodiliselt. Miinimumi ajast maksimumini möödub keskmiselt $4\frac{1}{2}$, maksimumist järgmise miinimumini — $6\frac{1}{2}$ aastat; nõnda kestab laikude periood umbes 11 aastat, kuid vahel võib esineda tunduvaid kõikumisi.



Joon. 85. Päikese laikude sagedus (all), Maa magnetismielementide perioodsus (keskel) ja virmaliste sagedus (ülal).

Päikese laigud on seoses tugevate magnetitüvingidega Päikese peal. On teada, et Päikese laikude ilmumine on ühenduses ka maamagnetismi ja virmalistega. Kui mõni suur Päikese laik tekib Päikese ketta keskpaigas, siis võib sageli tähele panna virmaliste ilmumist ja nn. magnetitorme, mil magnetnõel näitab järske kõikumisi. Ka on teada, et Päikese laikude perioodile vastab Maa magnetismielementide perioodiline muutumine (joon. 85).

Aastal 1938 oli Päikese laikude maksimum. Millal on järgmine maksimum ja miinimum?

82. Päikese energia ja selle kasutamine. Päike on kõrge temperatuuriga gaasiline keha, mis kiirgab energiat igale poole maailmaruumi. Maa saab sellest energiast ainult $\frac{1}{2\,200\,000\,000}$ ja kõik planeedid ühtekokku umbes $\frac{1}{225\,000\,000}$ osa; kõik muu hulk hajub, planeetkonnas kasutamist leidmata, ruumi laiali.

Päikese kiirguse hulga ja temperatuuri hindamine on võimalik suuruse abil, mida kutsutakse päikesekonstandiks.

Päikesekonstant on grammkaloreis mõõdetud Päikese soojuse hulk, mis langeb ühe minuti jooksul Maa pinnal Päikese kiirtele risti asetatud 1-ruutsentimeetrisele pinnale.

Arvutamisel võetakse Maa keskmine kaugus Päikesest ja oletatakse, et Maad ei ümbritse õhkkond, mis neelab ja hajutab Päikese kiiri.

Uuemate mõõtmiste põhjal saadud päikesekonstandi väärtus on 1,93 grammkalorit minutis (ümmarguselt võib lugeda 2 kalorit).

Päikesekonstandi põhjal võib arvutada kogu soojushulka, mille Päike saadab välja igas minutis. Kujutleme selleks Päikese kui keskpunkti ümber kerapinna, mille raadius oleks nii pikk kui Maa kaugus Päikesest, s. o. $149\frac{1}{2}$ miljonit km. Pindala 1 sm^2 sel kaugusel püüab minuti jooksul kinni ligi 2 kalorit Päikese soojust. Kogusummas aga saadab Päike ühes minutis välja soojust kaloreis arvul, mille saame, korrutades 1,93 selle kujuteldava kera pindalaga, väljendatud ruutsentimeetris.

Päikesekonstandi põhjal võib arvutada ka Päikese pinna keskmist temperatuuri. See on umbes 6000° . Sügavamal Päikese sees on temperatuur muidugi palju kõrgem ja ulatub paarikümne miljoni kraadini.

Kõrge temperatuuri mõjul on Päikese aine gaasilises olekus. Kuid et Päikese keskmine tihedus on 1,4 vee tihedusest, siis sellest järgneb, et sügavamal Päikese sees gaasid on väga tugevasti kokku surutud.

Kõik energia, mis ilmneb Maakera pinnal mitmesugustes nähtustes ja vormides, on peaaegu eranditult saadud Päikeselt. Tuul, vihm, äike, merehoovused, mis mõjutavad ilmastikku, Maakera pinna muutust ja elavat loodust, on kõik põhjustatud Päikese kiirgusest. Osa Päikese energiast, mis langeb Maale, tarvitatakse taimede poolt nende kudede ülesehitamiseks. Inimene ja loomad kasutavad seda energiat, süües taimedes varutud toiteaineid. Põletades puid, turvast või kivisütt, me vabastame taimest soojuse näol Päikese energia, mis sellesse on talletatud mõne aasta eest või isegi mõni miljon aastat tagasi. Mõnikord me muudame seda soojuse energiat elektrivoolu energiaks või auruosakeste liikumise energiaks, mis paneb töötama aurumasinaid. Me kasutame samaks otstarbeks ka tuule ja vee langemise jõudu, mis pole muud kui Päikeselt saadud energia. Uuemat ajal on tehtud katseid rakendada Päikese soojuse kiirgust vahetult aurumasinate või elektrimootorite käimapanekuks.

1. Arvutada Päikese kiirgava energia võimsus Maa pinnal 1 m^2 kohta, eeldades, et pind asetseb risti päikesekiirtele ja et Maa õhkkonnast kiired pääsevad neeldumiseta läbi.

2. Mitu kalorit soojust annab 1 cm^2 Päikese pinnast igas minutis? Vastus: Umbes 90 000 kal.

3. Mitu kalorit soojust kiirgab Päikese pind ühes sekundis ja millise murdosa sellest soojushulgast saab Maa?

4. Kui suur on Päikese kiirgava energia võimsus Päikese pinna iga cm^2 kohta? Vastus: $\sim 9 \text{ hj}$.

83. Päikese spekter ja keemiline koostis. Päikese pinnakihi ehituse ja koostise kohta saame teateid, uurides Päikese spektrit. Kui valgus tuleb kehalt, mis annab pideva spektri, ja tungib teel läbi gaasilise keskkonna, mille temperatuur on madalam kui valgust kiirgaval kehal, siis tekib neeldumise- ehk absorptsioonispekter. Tumedad neeldumisjooned ilmuvad temas just neisse kohtadesse, kus muidu oleksid hõõguva gaasi heledamad kiirgamisjooned.

Päikese spekter on neeldumisspekter. Valguskiired, mis lähtuvad Päikese fotosfäärist, tungivad enne meie juurde jõudmist läbi Päikest ümbritsevate gaaside ehk nn. Päikese

õhkkonna; viimane neelab mõned spektriosad, jättes järele tumedad kohad (jooned). Päikese spektris on mõõdetud mitu tuhat joont. Paljusid neist oli võimalik samastada tuntud ainete spektrijoontega laboratoorsetel katsetel. Nõnda osutus, et Päikese atmosfääri koostises on palju aineid, mis meile on tuntud Maa peal, nagu näit. raud, kaltsium, naatrium, vesinik jt. Element heelium avastati koguni enne Päikesel kui maa peal. Päikese laikudes, kus temperatuur on madalam kui mujal fotosfääri piirkonnas, võivad tekkida ka mõned keemilised ühendid.

Kõik neeldumisjooned Päikese spektris ei teki ainult Päikesel enesel; paljud neist on tingitud meie õhkkonnas leiduvaist gaasidest (hapnik, lämmastik, osoon, veeaur), milles osa kiiri meie juurde tulles kustub. Selliseid neeldumisjooni Päikese spektris kutsutakse terrestrilisteks ehk m a a l i s t e k s j o o n t e k s .

Päikese uurimiseks tarvitatakse sageli nn. spektroheliograafilist meetodit. Erilise riista, nn. spektroheliograafi abil fotograafitakse, kasutades ainult üksikut spektrijoont, kogu Päikese ketas. Siis võib Päikese ketta ülesvõttel näha, kus esineb vastav aine, näiteks kaltsium või vesinik, gaasilises olekus.

84. Päikese soojuse allikaid. Et Päike määratu aja jooksul saadab enesest välja tohutuid energiahulki, siis tekib loomulikult küsimus allikate kohta, kust Päike ammutab oma energia, mis määratu suurest kulutusest hoolimata siiski ei näi kahanevat.

Kui Päike millestki oma soojushulka ei täiendaks ja kiirgamisel kuluks ainult olemasolev soojusetagavara, siis peaks Päike kiiresti jahtuma, mida aga tõeliselt ei ole märgatud. Samuti pole raske tõestada, et Päikese kiirgamise põhjuseks ei või olla põlemine. Põlemisel tekkinud soojushulk on nii väike, et seda oleks jätkunud ainult mõneks tuhandeks aastaks, mis aga Päikese vanuse jaoks on liiga lühike aeg.

Möödunud sajandi keskel esines R. Mayer hüpoteesiga, et Päikesesse alati langeb meteore, millede kineetiline energia muundub siis soojuseks. Kuid tõenäoliselt pole langevaid meteore nii palju, et nendest tekkinud soojus oleks võrdne Päikesest kiirgamise teel lahkuva soojushulgaga.

Helmholtz esitas seesuguse teooria teisendatud kujul. Meteoride langemise asendas ta Päikese enese massiosade pikaldase langemise ehk vajumisega Päikese keskpunkti poole, s. o. Päikese koondumisega. Et Päikese keha on gaasilises olekus, siis koondub ta omaenese raskuse ehk külgetõmbe mõjul, mille tulemusena tekib soojus. On arvatud, et kui Päikese raadius väheneks aastas ainult 75 meetri võrra, siis jätkuks tekkinud soojust küllaldaselt, et Päikese nüüdset kiirgamist tasakaalus hoida. Helmholtzi teooria põhjal võib ka arvutada, kui kaua üldse on kestnud Päikese koondumisprotsess — tema esialgsest nebulaarsest ehk udulisest olekust praeguse seisundini. Sel viisil saadakse Päikese ea jaoks ligi 20 miljonit aastat. Et Maad ei tule Päikesest vanemaks pidada, siis oleks ka Maa vanus eelnimetatud arvuga piiratud. Teiselt poolt nõuavad aga geoloogilised ja muud tõsiasjad, et Maa vanust tuleks lugeda sadasid miljoneid aastaid. Seepärast ei või Päikese koondumist lugeda tema ainukeseks ja oluliseks soojusallikaks.

Uuemal ajal avastati radioaktiivsed ained. Nende lagunemisel vabaneb palju soojust; nõnda annab 1 grammi raadiumi lagunemine 136 grammikalorit tunnis. Seepärast võiks tekkida arvamus, et Päikese soojus tekib vahest radioaktiivsete ainete lagunemisest. Ehk küll raadiumi olemasolu Päikeses pole kindlaks tehtud, on seal siiski leitud heeliumi, mis teatavasti tekib raadiumist lagunemise teel. Järelikult peaks Päikesel leiduma ka raadiumi.

Kuid arvutus näitas, et pole võimalik Päikese kiirguse hulka ja iseäranis selle kauast kestust sel viisil põhjendada, sest tekkinud energia hulk radioaktiivsetes protsessides pole küllaldane.

Nõnda pole ükski eeltoodud oletustest suutnud rahuldavalt seletada Päikese soojuse tekkimist.

Aatomiteooria põhjal on tõenäoline, et Päikese sees kõrge temperatuuri ja suure rõhumise erakordseil tingimusil on sagedad kokkupõrked kiiresti liikuvate aatomituumade vahel, mille tagajärjel tekivad tuumaprotsessid ehk nn. transmutatsioonid, s. o. ühtede elementide aatomituumade muutumised

teiste elementide aatomituumadeks. Transmutatsioonide puhul vabanev energia on määratult suurem eespoolnimetatud teiste protsesside puhul vabanevast energiast, ja sellest piisab täielikult Päikese kiirgamise katmiseks. Transmutatsioonidest on eriti tähtsad ja energia suure kiirgamisvõimega need, kus vesinik muutub heeliumiks või mõneks muuks elemendiks.

Kuid vesiniku aatomituuma muundumine heeliumi aatomituumaks ei ole lihtsalt 4 vesiniku aatomituuma ehk prootoni otsene ühinemine üheks heeliumituumaks, kusjuures ainet läheb 1% kaduma ja asemele ilmub energia. See õige keeruline protsess, nn. ahelreaktsioon, toimub süsiniku ja lämmastiku katalüütilisel kaastegevusel. Süsiniku ja lämmastiku hulk reaktsioonis ei muutu, aga vesinik, mida Päikeses praegu hinnatakse umbes $\frac{1}{3}$ kogu sellest ainest, kulub ära „kütteenäna“, mille tulemuseks on Päikesest energia väljavoolamine peaaegu muutumatul määral miljardite aastate jooksul.

XIV. KUU.

85. Kuu pinnaehitus. Meie Maa kaaslaste Kuu pind, liikumine ja loodus on paremini uuritud kui ühelgi teisel taevakehal, sest Kuu on meile kõigist teistest taevakehadest lähem. Meenu-tagem andmeid Kuu kauguse, suuruse, tiirlemisperioodi jne. kohta!

Juba palja silmaga näeme Kuu pinnal tumedaid laiike, mis annavad Kuu välisnäole kindla ilme. Kuu välisnägu ei muutu, sest Kuu hoiab alati sama külge Maa poole (§ 50).

Läbi pikksilma vaadates kaob Kuul tema harilik välisilme täiesti, kuid ühtlasi ilmub selle asemele (joon. 86) hulk peensusi ja üksikasju.

Suurt osa Kuu pinnast katavad tumedamad tasase pinnaga alad ehk nn. „m e r e d“ (varem ajal peeti neid tõelisteks veekogudeks). Muu osa Kuu pinnast aga on väga ebatasane ja konarlik. Võib näha tuhandeid k õ r g e n d i k k e, mis heidavad teravate piirjoontega tumedaid varje. Valgustatud ja valgusta-

mata pinna rajajoon (terminaator) paistab sakilisena, mis samuti tõendab pinna konarust.

Kõrgendikud ehk mäed Kuu pinnal ei esine pikkade ahelikudena nagu Maa peal, vaid üksikult, eraldatult, ehk nad küll vahel suurel arvul tihedalt ligistikku rühmituvad. Kuu mäed on Kuu läbimõõduga (3474 km) võrreldes suhteliselt kõrgemad kui Maa mäed; mägede kõrgust võib mõõta nende varjude pikkuse abil.

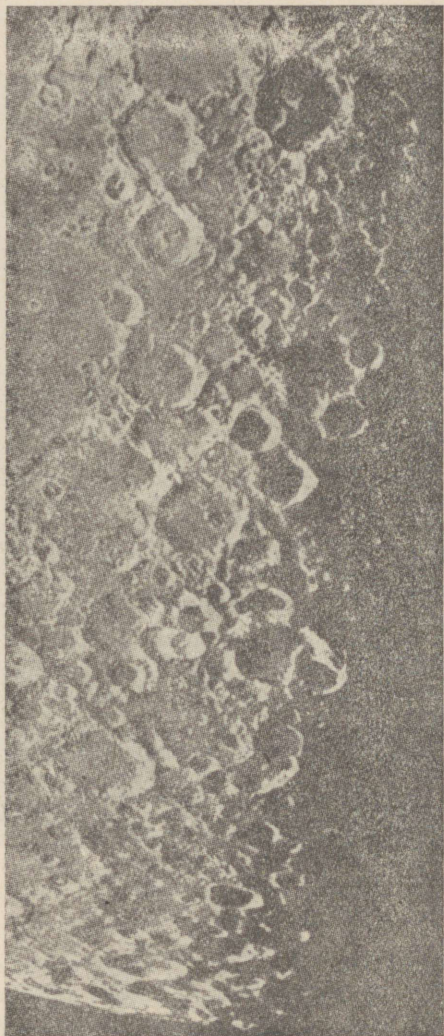
Tüüpilised Kuu pinna vormid on nn. r õ n g a s m ä e d, mis elavalt tuletavad meelde vulkaanide kraatreid (joon. 87). Nad koosnevad ringikujulisest vallist, millest seespool asetseb süvend. Viimase keskpäigas on tihti künegas või teravik. Väiksemaid rõngasmägesid, millede läbimõõt on kuni 5 km, kutsutakse kraatreiks, suuremaid — tsirkideks (*circus*).

Rõngasmägesid on tuhandeid. Silmas pidades nende suurust ja rohket esinemist Kuu pinnal, on raske neid täiesti samastada kustunud vulkaanidega. Kui Kuu peal on kunagi esinenud vulkaaniline tegevus, siis pidi see teisel viisil



Joon. 86. Kuu üldvaade pikksilmas (1. veerandi faas).

avalduma kui Maa peal. Praegu igatahes Kuul mingit silmanähtavat vulkaanilist tegevust ei avaldu.



Joon. 87. Kuu maastik.

Suurte pikksilmade abil võib Kuul mitmes kohas tähele panna tumedaid jooni, mis vahel suures ulatuses lõikavad „meresid“, mägede rühmi ja koguni üksikuid kraatreid. Need on praod ehk mõrad Kuu pinna sees, mille laius on umbes 1—2 km.

Täiskuu ajal paistab Kuu pinnal mõnes kohas rohkesti heledaid sirgeid jooni, mis kiirte pärjana ümbritsevad mõnd kraatrit või tsirki (näit. Tycho). Nad pole reljeefsed, vaid tasased vormid ja tekitavad mulje, nagu esitaksid nad mõnesuguseid väljapursete sädemeid (vulkaanilist tuhka), mis on langenud Kuu pinnale.

Kõik need vormid annavad tunnistust sellest, et meie Maa kaaslase pind kannab suurte ja ägedate geoloogiliste vapustuste jälgi.

86. Kuu pinna füüsikalised tingimused. Loodus-

likud tingimused Kuu peal erinevad tunduvalt Maa omadest. Raskustungi tugevus on Kuu peal 6 korda nõrgem kui meil, nii et inimene näiteks võiks seal hüpates tõusta kuus korda kõrgemale kui Maa peal. Samal põhjusel ka õhu ja veeauru osakesed, mis võib-olla kunagi Kuul esinesid, hajusid maailmaruumi. Kuu oma nõrga külgetõmbega ei suutnud neid enese lähedal hoida ja jäi seepärast õhuta ning veeta. Kuu „meredes“ pole vett ja nad on seepärast vaid kuivad tasased kivised madalikud.

Et Kuul pole õhk- ja vesikonda nagu Maal, sellele osutavad mitmesugused nähtused. Tiireldes ümber Maa läheb Kuu vahel mõne tähe ette ja katab selle. Niisugusel juhul täht Kuu serva juures kustub äkitselt. Kui Kuud ümbritseks atmosfäär, siis neelaks see tähe valgust ja vähendaks ta heledust järk-järgult.

Mägede varjude piirjooned Kuu pinnal on teravad, selged: seal pole hämarikunähtusi, nagu need tekiavad õhkkonnas.

Kuu spekter on Päikese spektri sarnane, millest samuti saab järeldada Kuu õhkkonna puudumist. Kui Kuud ümbritseks õhkkond, siis Päikese kiired seda läbides ja Kuu pinnalt tagasi peegeldudes osaliselt neelduksid. Siis ilmuksid ka mõned uued neeldumisjooned lisaks Päikese spektri joonetele, mida aga pole kunagi nähtud.

Ka vesi puudub Kuu pinnal. Kui seal suuremal määral vett leiduks, siis muutuks see auruks ja tekitaks veeauru õhkkonna. Kuu pinnamoodustised on aga kõik väga teravate piirjoontega. Nende kallal pole õhk ega vesi oma murendamis- ja uuristus-tööd teinud.

Õhkkonna puudumisel on Kuu peal karedaim kõrvekliima. Päeval, mis kestab 2 meie nädalat, võib pinnatemperatuur tõusta üle 100° C; öösel aga, mis vältab niisama kaua aega, langeb ta 200° alla nulli. Tuule, pilvede, niiskuse, hämariku ja taevasina puudumine seal tekitab mulje täiesti surnud maailmast.

Kuu pinna koostise ja ehituse kohta lubab teha, olgugi ligikaudselt, mõningaid järeldusi nn. albedo. Selle all mõeldakse arvu, mis näitab,

kui suur osa kõigest mingile pinnale langevast valgusest peegeldub tagasi ruumi. Nõnda näit. sõe albedo on nulli, lume oma ühe lähedal. Kuu albedo on 0,07; seega 7% kõigest Kuu pinnale langevast Päikese valgusest peegeldub tagasi maailmaruumi, kuna 93% absorbeerib Kuu pind. Umbes samasugune albedo kui Kuul on savimerglil. Tumedate kohtade („merede“) albedo on võrdne hangunud laava omaga, kuna heledad mägede kallakud annavad albedo väärtuse, mis on vulkaanilisel tuhal. — Üldse aga on Päikeselt saadud valgushulk umbes 465 000 korda suurem täiskuult saadavast valgushulgast.

1. Kui pikk on öö-päev Kuu peal?

2. Kujutleme vaotlejat, kes asub Kuu peal tema nähtava poolkera keskuses. Kus kohal taevavõlvil paistaks talle Maa? Kuidas ta näeks tähti ja Päikest liikuvat Maa suhtes ja kuidas muutuks seejuures Maa välisnägu?

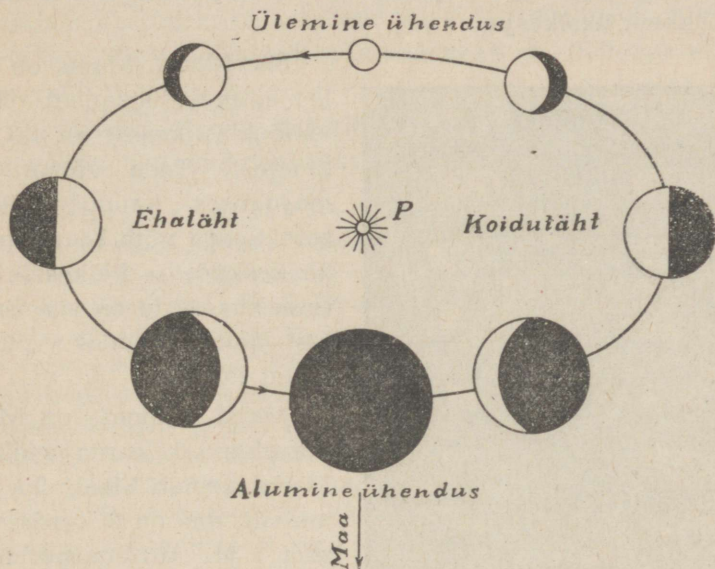
XV. Planeedid.

87. Merkuur. Merkuur on Päikesele kõige ligem planeet. Tema kaugus on 0,4 astronoomilist ühikut, s. o. 0,4 Maa kaugust Päikesest. Olles Päikese ligidal, kaob ta meile sageli selle valguses ja on palja silmaga harva näha. Siiski võib teda leida ka pikksilmata, kui on teada, millal ta asub suurimas eemaluses Päikesest (keskmiselt 23°). Ta ilmub siis hommikuti umbes tund aega enne Päikese tõusu idas horisondi lähedal või õhtuti varsti pärast Päikese loojangut läänetaeva serval.

Merkuuri tiirlemisperiood kestab 88 päeva. Tema tee tasapind on ekliptika-tasapinna suhtes tunduvalt kaldu (7°). Mõnikord läheb ta Päikese eest mööda, ilmudes selle pinnal tumeda täpina.

Merkuur on kaheksast suurest planeedist kõige väiksem, kui jätame kõrvale Pluto, mille suurus on täpselt teadmata. Tema ruumala ja mass on umbes 20 korda väiksemad kui Maa ruumala ja mass. Pikksilma abil võib näha Merkuuril faase nagu Kuul. Täppide põhjal, mis olid mõnikord näha planeedi pinnal, püüti määrata Merkuuri ümber telje pöörlemise perioodi; see näib olevat võrdne tiirlemisperioodiga, s. o. umbes 88 päeva; Merkuur hoiab alati ühte ja sama külge Päikese poole, nagu seda ilmutab Kuu Maa suhtes. Merkuuri valgustatud küljel, kus valitseb alaline päev, peab püsima kõrge palavus — seda enam et Merkuuril Päikese soojuse intensiivsus on 6 korda suurem kui meil. Teleskoobilised uurimised näitasid Merkuuri sarnasust Kuuga. Nagu viimasel, nii näivad ka Merkuuril puuduvat pilved ja atmosfäärilised nähtused; pind esineb künkalisena ja ebatasasena.

88. **Veenus.** Veenuse kaugus Päikesest on 0,7 astronoomilist ühikut. Asetsedes samuti nagu Merkuur Päikesele lähemal kui Maa, võib ta paista meile ainult hommikuti koidu- ja õhtuti ehatähenä. Teda vaadelda on aga palju kergem kui Merkuuri, sest



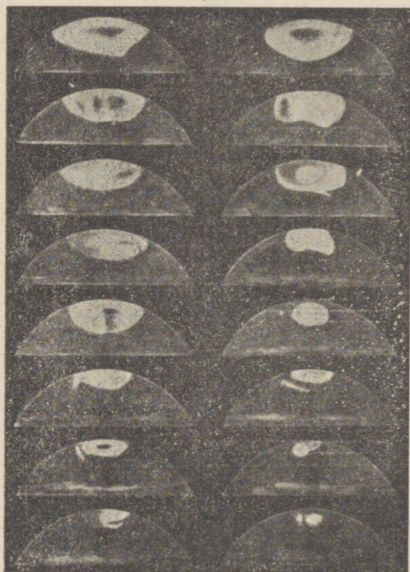
Joon. 88. Veenuse faasid.

ta võib Päikesest tunduvalt eemale minna (keskmiselt 46°). Peale selle on Veenus kõige heledam taevakeha Päikese ja Kuu järel. Oma suurima heleduse ajal võib teda leida päevalgi, eriti kui on teada ta asukoht taevavõlvil. Veenus tiirleb ümber Päikese 225 päevaga. Telje ümber pöörlemise aeg pole teada.

Pikksilma abil võib Veenusel hõlpsasti näha faase (joon. 88), mis esimesena avastas Galilei. Mõnikord läheb Veenus Päikese eest mööda, ilmudes selle heledal pinnal väikese tumeda kettana. Seesugust juhtu kasutati selleks, et määrata Maa kaugust Päikesest.

Veenus on umbes nii suur kui Maa, kuid tema mass on Maa massist natuke väiksem. Veenust ümbritseb õhkkond ja väga tihe pilvede kate, mis teeb võimatuks leida tema pinnal mõnd

kindlat täppi, mille abil saaks määrata planeedi pöörlemise perioodi. Pilvede kiht heidab palju valgust tagasi (albeedo 0,6), mistõttu Veenus paistab öösel pikksilmas pimestavalt säravana. Seejärest on teda pikksilmas parem vaadelda päeval, kui tahetakse näha rohkem üksikasju.



Joon. 89. Marsi polaarlaik ja selle „sulamine“.

89. Marss. Marss on Maa-le lähim välisplaneet. Tema kaugus Päikesest on 1,5 Maa kaugust. Teda võime näha igasuguses kauguses Päikesest. Seega võib Marss paista ka keskööl — Päikesele vastasseisus, ja ta on siis iseäranis hele, ilmudes punaka kauni tähena.

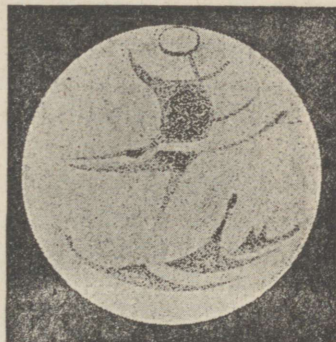
Marsi ruumala on Maaga võrreldes 6 korda väiksem. Marss erineb Maast ka oma massilt, mis on 9 korda väiksem, ja tiirlemisperioodilt, mis kestab 687 päeva. Kuid Marss sarnaneb Maaga oma pöörlemisperioodi pikkuselt, mis kestab umbes $24\frac{1}{2}$ tundi, ja telje kaldelt oma teetasapinna suhtes (65°).

Nõnda on öö ja päev Marsil umbes niisama pikad kui meil; telje kalde mõjul tekkivad „aastajaad“ kestavad aga kauemini kui meil; kuid Päikese soojuse intensiivsus on seal kaks korda nõrgem kui Maa peal.

Uhes Marsi aastaegade vaheldumisega võib tema pinnal tähele panna perioodilisi muutusi. Iseäranis paistavad silma valged laigud Marsi polaar-piirkondades. Need vähenevad korrapäraselt Marsi „kevade“ ja „suve“ tulekul (joon. 89), kasvavad aga „sügisel“ jälle uuesti. On oletatud, et neis näeme

lume, halla või uduga kaetud pinda Marsi pooluste ümbruses. Peale valgete polaarlaikude võib Marsi punakal pinnal tähele panna mitmesuguseid tumedaid, sinirohekaid laike (joon. 90), mida varem al jaal vaadeldi kui veekogusid ja hiljem — kui taimestikuga kaetud kohti, millede värv ja tumedus muutub ühes aastaajaga. Peale selle nähti mitme vaatleja (Schiaparelli [loe: skiaparellil, Lowell jt.) poolt sirgjoonelisi kitsaid tumedaid ribasid, nn. „kanaleid“, mis risti-rästi lõikudes katavad võrguna planeedi pinda ja ühendavad omavahel suuremaid tumedaid alasid.

Kanalite loomuses on mõnda veel selgitamata. Nende olemasolus on kaheldud ja arvatud tegemist olevat omapärase illusiooniga. Et spektroskoopiliste vaatluste põhjal on Marsil veeauru väga vähe, siis on Marsi pinnal raske oletada suuri veehääle. Lowell'i ja teiste vaatlejate arvates on kanalid samuti nagu tumedad laigudki madalamad kohad Marsi pinnal, kuhu koguneb niiskust. Neis kohtades võib kasvada mõnesugust taimestikku ja see annab neile kohtadele tumeda värvuse. Nii-sugune oletus on kooskõlas sellega, et kanalite kuju ja tumedus perioodiliselt muutuvad ühes Marsi aastaajadega.



Joon. 90. Marsi teleskoobiline vaade.

Marssi ümbritseb õhkkond, milles ilmub vahel pilvi; kuid õhkkond on palju hõredam ja pilvi ilmub harvemini kui meil. Uuemate uurimiste andmeil pole Marsi pinna temperatuur nii madal, et mõnesugune orgaaniline elu oleks seal täitsa võimatu. Marss on kõigist planeetidest oma loomult kõige enam Maa sarnane.

Aastal 1877 avastas ameerika astronoom A. Hall Marsil kaks väga pisikest kaaslast ehk kuud. Üks neist tiirleb ümber Marsi $7\frac{1}{2}$, teine 30 tunniga. Et Marss pöörleb ise aeglasemalt oma telje ümber kui tema lähem kuu tiirleb ümber planeedi, siis esineks Marsi peal vaatlejale iseäralik nähtus — kuu näiks tõusvat läänes ja loojuvat idas. Öö jooksul ilmutab ta mitmesuguseid faase ühes oma täieliku varjutusega.

90. Väikesed planeedid ehk asteroidid. Marsi ja Jupiteri teede vahel tiirlevad laias vööndis väikesed planeedid ehk a s t e r o i d i d. Need on väikesed taevakehad, mis pikksilmas paistavad nõrga heledusega tähtedena. Nende tõelised läbimõõdud on enamikus ainult mõned kilomeetrid ja nende kogumass vaevalt 0,001 Maa massist. On tõenäoline, et asteroididel puudub õhkkond niisamuti nagu Merkuuril ja Kuul. Asteroide on praegusajal teada üle 1600.

91. **Jupiter:** Jupiter on ruumalalt ja massilt suurim planeet päikesesüsteemis. Maaga võrreldes on tema ruumala umbes 1300 ja mass ligi 320 korda suurem, tihedus aga ainult $\frac{1}{4}$ Maa keskmisest tihedusest ja 1,4 võrreldes vee tihedusega (võrdle Päikesega). Ta Päikese ümber tiirlemise periood on ligi 12 aastat.

Palja silmaga vaatlemisel esineb Jupiter meile heleda, kuid rahuliku säraga kollakasvalge tähena, mis on peaaegu niisama hele kui Veenus. Pikksilmaga võib tema pinnal näha täppe, millede abil on kerge tõestada, et Jupiter pöörleb umbes 10 tunniga ümber oma telje. Seesuguse kiire pöörlemisega on seletatav Jupiteri suur lapikus ($\frac{1}{15}$). Iseäralik on, et kitsas ekvaatoriline vöö Jupiteril pöörleb natuke suurema nurkkiirusega kui muu pind; selle poolest on Jupiteril sarnasust Päikesega.

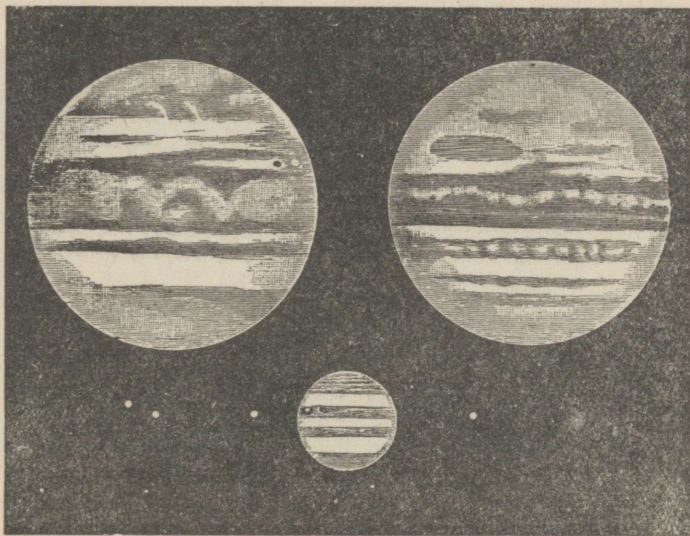
Jupiteri ümbritseb paksu kihina tihe õhkkond, kus esineb palju kiiresti muutuvaid pilvetaolisi nähtusi. Nende hulgas on eriti iseloomulikud tumedad, pruunikad või valged vöödid ja viirud, mis asetsevad peamiselt rööbiti ekvaatoriga (joon. 91).

Jupiter on Päikesest 5,2 korda kaugemal kui Maa, seetõttu on Jupiteri pinnal Päikese soojendamisevõime 27 korda nõrgem kui Maa peal. Selle planeedi pinnal ilmnevate muutuste põhjusi tuleb otsida osalt Päikese, osalt Jupiteri enese sisemises soojuses.

Varem arvati, et Jupiter on taevakeha, mis pole seni veel jõudnud seevõrra jahtuda, et tema vedelat pinda täielikult kataks kõva koor. Uuemate uurimiste järgi aga on Jupiteri pind kaetud kõva koorega, mida kohati võivad purustada seestpoolt väljatungivad pursked. Vastavalt Jupiteri pinna madalale temperatuurile tekivad kiiresti arenevad muutused ja pilvetaolised

moodustised selle planeedi atmosfääris tõenäoliselt teistsugustest gaasidest (näit. metaan, ammoniaak) kui need, mis esinevad meie õhkkonnas.

Aastal 1610, kui Galilei esimest korda tema enese poolt valmistatud pikksilmaga vaatles Jupiteri, üllatas teda kooskõlaline ja efektne vaade. Jupiteri ümbritsesid neli heledat kaaslast, mis



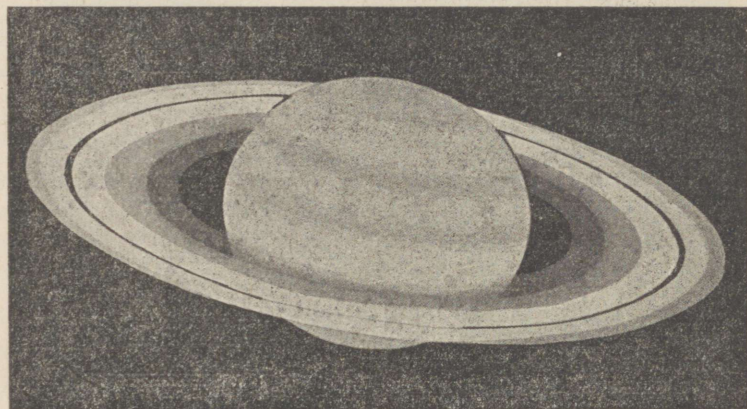
Joon. 91. Jupiteri teleskoobiline vaade ühes kaaslastega. Ülal: kaks tavalist Jupiteri vaadet, nagu see paistab suures pikksilmas. Vasakul joonisel on näha kaaslane ja selle vari Jupiteri pinnal tumeda täpina. All Jupiteri süsteem: emaplaneet oma nelja kaaslase keskel.

selle ümber tiirlesid nagu planeedid ümber Päikese (joon. 91, all). Jupiteri süsteemi vaade näis vahetult kinnitavat Kopernikuse õpetust, et Maa pole Maailma „keskkoht“, mille ümber tiirlevad kõik taevakehad.

Jupiteri süsteemis esineb huvitavaid nähtusi. Sageli võib vaadelda, kuidas Jupiteri kaaslane ehk kuu läheb planeedi varju ja muutub meile mõneks ajaks nähtamatuks; vahel läheb kaaslane ümmarguse täpina Jupiteri ette, heites ise selle kettale tumeda varju (joonise 91 vasakpoolsel kettal paremal küljel

ülal). Jupiteri kuude varjutuste abil määrati esimest korda valguse kiirus (kuidas?). Neid on sageli tarvitatud ka geograafilise pikkuse määramiseks.

Aastal 1892 leidis ameerika astronoom B a r n a r d Jupiteril veel 5. kaaslast. Hiljem, käesoleval sajandil, avastati fotograafia abil Jupiteril veel mitu kaaslast, mis on kõik väga väikesed kehad. Kõige uuemal ajal on avastatud veel mõned kaaslasted lisaks varem tuntuile, nii et nende koguarv on jõudnud juba 11-ni.



Joon. 92. Saturn oma rõngaga.

92. Saturn. Saturn tiirleb Päikesest ligi 10 korda kaugemal kui Maa ja on suuruselt Jupiteri järgmine planeet päikesesüsteemis. Paljale silmale paistab ta tuhmkollaka l. suuruse tähena. Saturn on Maaga võrreldes ruumalalt ligi 750 korda ja massilt umbes 100 korda suurem, millest järgneb, et tema aine keskmine tihedus on umbes 0,7 vee tihedusest.

Saturn tiirleb ümber Päikese 30 aastaga ja pöörleb oma telje ümber $10\frac{1}{4}$ tunni jooksul. Kiire pöörlemise tulemuseks on planeedil suur lapikus ($\frac{1}{10}$), veel suurem kui Jupiteril.

Pikksilmaga võib Saturni kettal tähele panna võöte, kuid need pole nii selged kui Jupiteril. Saturni ümbritseb tihe pilvederikas õhkkond. Sarnasust Jupiteriga osutab ka albeedo, mis on umbes võrdne Jupiteri omaga ($\sim 0,4$).

Saturnil on teada 9 kaaslast; kõige suuremat neist, Titaani, võib näha juba isegi väikese pikksilma abil. Mille poolest Saturn täiesti erineb kõigist teistest planeetidest, on lai ning õhuke rõngas, mis ümbritseb planeeti, selle külge puutumata (joon. 92). Galilei, kes nägi rõngast esimesena, pidas seda planeedi kaheks kaaslaseks. Alles hollandi õpetlane Huygens (1629—1695) selgitas rõnga välise ehituse. Suuremas pikksilmas näib rõngas jagunevat kaheks ja koguni mitmeks ühiskeskeks rõngaks, mida üksteisest lahutavad tumedad ringilised viirud.

Saturni rõngas on küllalt tihe, sest ta heidab varju planeedi pinnale. Kuid ta pole vedel ega tahke keha, vaid koosneb meteoriitidest, s. o. väikesetest tahketest kehast, mis üksteise külge puutumata nagu kaaslased tiirlevad Kepleri seaduse järgi ümber planeedi.

93. Uran, Neptuun ja Pluto. Kõiki eespool-kirjeldatud planeete võib kergesti näha palja silmaga ja neid tunti juba vana-ajal. Kuid järgmiste planeetide leidmiseks ja vaatlemiseks on vaja tugevajõulisi pikksilmi.

Aastal 1781 W. Herschel, toimetades vaatlusi, pani Kaksikute tähtkujus tähele taevakeha, millel läbi pikksilma vaadates oli silmapaistev ketas. Herschel pidas seda esiti komeediks, kuni hiljem selgus, et uus taevakeha on planeet, mis sai endale nime — Uran. Selle kaugus Päikesest on 19,2 astronoomilist ühikut ja tiirlemisperiood 84 aastat. Maaga võrreldes on ta ruumalalt 63 ja massilt 15 korda suurem.

Uran esineb paljale silmale 6. suuruse tähena. Suurtes pikksilmades paistab ta rohekasvalge kettana, millel võib tähele panna Jupiteri ja Saturni iseloomustavaid vööte. Uranil on avastatud 4 kaaslast.

Planeet Neptuun on Päikesest 30 korda kaugemal kui Maa ja tema tiirlemisperiood kestab 164 aastat. Neptuun on ruumalalt 78 ja massilt 17 korda suurem kui Maa. Temal leiti ka üks kaaslane, mis tiirleb ümber planeedi vastupidises suunas.

Neptuun esineb 8. suuruse tähena ja on seepärast paljale silmale täiesti nähtamatu. Suure kauguse tõttu pole ta pinnal üksikasju näha, kuid ta loodus näib sarnanevat Uurani omaga.

Neptuuni avastamine (aastal 1846) oli teoreetilise uurimise viljaks (vt. § 67).

1930. aastal avastati planeet Pluto, mis tiirleb ümber Päikese veel kaugemal kui Neptuun. Ta esineb meile umbes 15. suuruse tähena. Pluto kau-

gus Päikesest on 40 astronoomilist ühikut, tema tiirlemisperiood 250 aastat. Ta tee on pikergusem ellips kui ühelgi teistest suurtest planeetidest; seetõttu võib ta oma periheelis tulla meile ligemale kui Neptuun, kuid kokkupõrge viimasega on seepärast võimatu, et Pluto tee tasapind erineb Neptuuni tee tasapinnast tunduva nurga võrra (umbes 17°). Pluto on väiksem kui Maa, ta mass on ligikaudu $\frac{1}{2}$ Maa massist. Temperatuur Pluto pinnal peaks olema niivõrd madal, et õhk, kui seda seal leiduks, peaks püsima vedelas või tahkes olekus.

1. Katsuda palja silma või binokli abil mõnikord Merkuuri leida (vt. astron. kalendrit)!

2. Missugustes tähtkujudes on näha praegu Päike, Marss, Jupiter ja Saturn? Missugused on nende planeetide nähtavuse tingimused käesoleval kuul (vt. astron. kalendrit)?

3. Paistab praegu Veenus eha- või koidutähena? Vaadelda teda! Millal ta jõuab Päikesest näivalt kõige kaugemale ja millal ta hakkab kõige heledamalt paistma?

4. Leida arvutamise teel, mitu tundi paistab Veenus pärast Päikese loojangut ja enne Päikese tõusu, kui ta on Päikesest näivalt kõige kaugemal (46°).

XVI. Komeedid ja meteoorid.

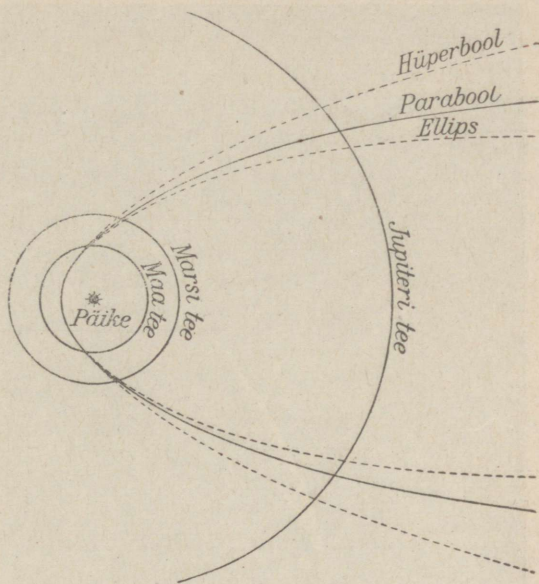
94. **Komeedid, nende teed ja liikumine.** Vahele ilmuvad taevavõlvile haruldase välimusega udusarnased tähed; nad muudavad kiiresti oma kohta tähtede keskel ja neil on sageli näha sabakujuline lisand. Need on **komeedid** ehk **sabatähed** (joon. 94), mis erinevad planeetidest oma kuju, ehituse, tee ja koostise poolest.

Kepler arvas, et komeete on väga palju — „nagu kalu meres“, ja tõeliselt avastataksegi iga aasta pikksilma abil mõned uued komeedid, mida enne pole nähtud. Kuid suuri heledaid komeete, mis palja silmaga näha oleksid, ilmub harva. Kõige silmapaistvamad komeedid ilmusid aastail 1811, 1843, 1858 ja 1882.

Komeedid muutuvad meile nähtavaks, kui nad tulevad Päikesele võrdlemisi ligidale. Seepärast tunneme ainult nende teede väikest osa. Vana-ajal puudus teadmine komeetide olemuse ja

liikumise kohta täielikult. Mõned pidasid neid õhkkonna sünnitisteks. Isegi Kepler arvas, et komeedid liiguvad mööda sirgjooni Päikese poole ja sellest eemale.

Newton esimesena selgitas, et komeedid alistuvad nagu planeedidki Päikese külgetõmbele ja liiguvad ellipseil, millede fookuses asetseb Päike. Kuid komeetide ellipsid on väga pikergused. Sageli pole võimalik määrata, kui palju ellips erineb paraboolist, mille harud lähevad lõpmatusse, ja seepärast loetakse komeetide teed enamasti paraboolseiks (joon. 93).



Joon. 95. Mitmesugused komeetide teede kujud.

Komeedid erinevad planeetidest veel selle poolest, et nende teede tasapinnad on väga erinevalt ruumis asetatud, kuna planeetide teede tasapinnad peaaegu ühtivad ekliptika tasapinnaga; planeedid tiirlevad peale selle ümber Päikese kõik ühes ning samas, päripidises suunas, komeedid aga niihästi päripidises kui ka vastupidises suunas.

95. Komeedi kuju ja ehitus. Komeedis eristatakse harilikult kolme osa. Need on: udusarnane ümarik mass ehk nn. peaa, helendav tihend peas ehk nn. tuum, ja helendav sirge või kõver lisand, mis on peaga ühenduses — saba (vt. joon. 94).

Komeetide kuju on mitmesugune ja sama komeedi puhul muutub ta kiiresti; ühendus komeedi aineosakeste vahel on nõrk. On vaadeldud koguni komeedi jagunemist osadeks.



Joon. 94. Donati komeet aastal 1858. Hele täht komeedi peast paremal on Arktuurus. Vasakul kõrgemal — Põhjakroon.

Komeedi ilmumisel, kui ta on Päikesest alles kaugel, paistab ta esiti ümarguse udusarnase tombukesena. Päikesele lähenemisel komeedi kiirus ühtlugu suureneb, ta keha pikeneb, tuum nihkub Päikese poole külge, kujuneb saba, mis kasvab kõige pikemaks harilikult pärast periheelist läbiminekut. Seejuures on komeedi saba pööratud alati Päikesest eemale, mida on mainitud juba vanaja kirjanduses (Seneca).

Päikesest kaugenemisel muutub komeedi saba lühemaks, komeet ise väiksemaks, ja viimaks paistab ta jälle udutombukesena nagu oma ilmumiselgi. Olgugi et komeeti iseloomustab harilikult saba, on tähele pandud ka sabata komeete.

Komeedi aine keskmine tihedus on äärmiselt väike, nii et tähed paistavad sellest läbi, ilma et tähtede valgus muutuks nõrgemaks. Kui juba kõige õhemad pilved suuda-

vad tähti katta, siis peavad need pilved palju tihedamad olema kui komeedi aine.

Oma nõrga tiheduse tõttu pole komeedi kohtumine planeediga nähtavasti viimasele ohtlik. On teada juhtusid, mil komeedid läbisid planeetide kaaslaste süsteemi, ilma et viimaste teed oleksid seetõttu muutunud. Komeedid ise aga said iga kord oma liikumisel suuri vapustusi tunda, kui nad planeetidele liginesid. Maikuus aastal 1910 läks Maa Halley komeedi sabast läbi, kuid mingeid erilisi nähtusi sel puhul Maa õhkkonnas tähele ei pandud.

Mõned komeedid tulid oma periheelis Päikesele väga lähedale, nõnda et peaaegu riivasid selle hõõguvat pinda. Neil juhtudel oli komeedi kiirus ligi 500 km sekundis. Et komeedi saba pikkus on tihti kümneid miljoneid kilomeetreid, võib kujutella, kui võrd suur kiirus peaks olema komeedi saba osakestel, kui saba koosneks tahkest ainest, mis on seotud komeedi peaga. Kiiruste vahe üksikuil sabaosakestel oleks niivõrd suur, et saba ei võiks enam püsida koos, vaid puruneks. Seepärast tuleb komeedi saba pidada aineks, mis Päikesest tuleva tõuketungi mõjul komeedist pidevalt maailmaruumi voolab. Saba aine on järjest vahelduv nagu suits, mis tõuseb korstnast.

Nõnda avaldab peale gravitatsioonitungi, mille mõjul komeet liigub oma teel, temasse mõju veel Päikesest väljapoole suunatud tõuketung. See tõuketung tuleb valguskiirte rõhumisest. On võimalik, et peale valguse rõhumise mõjub ka elektriline tõuketung. Teoreetiliselt on näidatud, et komeedi kuju sõltub sellest, missuguses vahekorras on tõuke- ja gravitatsioonitung. Selle vahekorra omakorda määrab komeedi aineosakeste suurus. On aineosakesed küllalt väikesed, siis tõuketung saab tunduva ülekaalu gravitatsioonitungi suhtes ja osakesed paisatakse tugevasti komeedi tuumast eemale; komeedil tekib sirgekujuline saba, mis koosneb peamiselt vesinikust. On tungide suhe väiksem, tekib saba, millel on suurem kõverus ja mis koosneb süsiniku- ning vesinikuühendeist või kergeist metallidest (naatrium jt.).

96. Komeedi spekter ja keemiline koostis. Komeetide spektrit iseloomustab üldiselt kolm heledat vööti (kollane, roheline, sinine), mis paisuvad nõrga heledusega pideval tagapõhjal. Heledad vöödid ehk ribad tekkivad hõõguvaist gaasidest, milledest eriti tähtsad on vesiniku- ja süsinikuühendid, näit. tsüaan ja vingugaas. Pidev spektri tagapõhi tunnistab, et komeedi hiilgamine on jaolt tema tahkete osakeste poolt tagasipeegeldatud Päikese valgusest.

97. Perioodilised komeedid. Kas kõik komeedid tiirlevad kinnisil teil (ellipseil) ümber Päikese, s. o. kuuluvad päikesesüsteemi? Arvatakse, et suur hulk neist rändab tähtedevahelises ruumis. Vahel satuvad mõned neist Päikese külgetõmbe piirkonda, tulevad paraboolsel teel liikudes Päikesele lähedale ja kaugenevad siis, et minna jälle tagasi tähtedevahelisse ruumi.

Kuid kindlasti on olemas komeete, mis tiirlevad elliptilistel teedel Kepleri seaduste järgi ümber Päikese nagu planeedidki (joon. 93). Perioodiliselt Päikese lähedale ilmudes muutuvad need meile ajuti nähtavaiks ja neid kutsutakse *perioodilisteks komeetideks*. Neile antakse tavaliselt astronoomi nimi, kes nad on avastanud või neid uurinud. Mõned perioodilistest komeetidest on teaduseajaloos suure tähtsusega, näit. Encke, Biela ja Halley komeet.

Encke komeet tiirleb ümber Päikese 5,5 aastaga. Biela komeet lagunes aastal 1846 kaheks osaks ja kadus hiljem hoopis ära. Halley komeet, mis on iseäranis hele, ilmus viimast korda 1910. aastal. Oma periheelis on ta Päikesele lähemal kui Veenus, afeelis aga kaugemal kui Neptuun. Tema ringkäik kestab umbes 76 aastat.

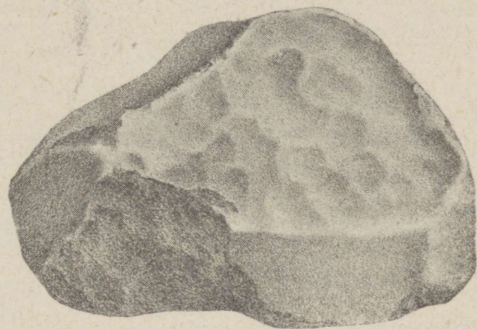
Kujutada joonise abil Maa, Neptuuni ja Halley komeedi tee!

98. Lendtähed ehk meteorid. Vahel ilmuvad äkitselt öises taevas isehelendavad tähesarnased kehad, mis liiguvad kiiresti, jättes enese järel pika heleda viiru. Need on **lendtähed** ehk **meteorid**. Selgel ööl võib tähelepanelik vaatleja mõnikord neid tunni jooksul näha mitut.

Need helendavad kehad pole siiski tähed, nagu vahel teadmatuses arvatakse, vaid pisikesed tumedad kivisarnased kõvad kehakesed, mis tiirlevad väga pikergusil ellipseil ümber Päikese. Oma teel liikudes kohtavad mõned neist Maad, sattudes selle õhkkonda; nende kiirus on mitukümmend kilomeetrit sekundis. Õhu takistuse mõjul muutub osa meteoride liikumisenergiast soojuseks ja nad hakkavad helendama. Meteoori mass, mis on enamasti ainult mõni osa grammist, põleb suures kõrguses hari-likult ära.

Meteoorid lõkendavad harilikult 80—120 km kõrgusel. Mõnikord, kui nad ei suuda kiiresti ära põleda, tungivad nad sügavamale õhkkonda ja võivad koguni maha langeda.

99. Boliidid ja aeriidid. Suurema massiga meteoor, mis tungib sügavamale õhkkonda, ilmub mõnikord väga heleda tulikerana — boliidina. Sageli läheb ta õhkkonnast läbi ja kaob maailmaruumi. Kuid mõnikord langeb ta suure müra ja pragina maha või lõhkeb õhus nagu pomm ja puruneb tükkideks. Mahalangenud meteoorid on välimuselt kivasarnased kehad ja neid kutsutakse meteoriitideks ehk aeriitideks.



Joon. 95. Kivimeteoriit (vähendatud ligi 4 korda), mis langes maha Eestis, Pilistvere kihelkonnas 8. augustil 1865. aastal. Meteoriit kaalus 12,1 kg ja hoitakse alal Tartu Ülikooli Mineraloogiamuuseumis.

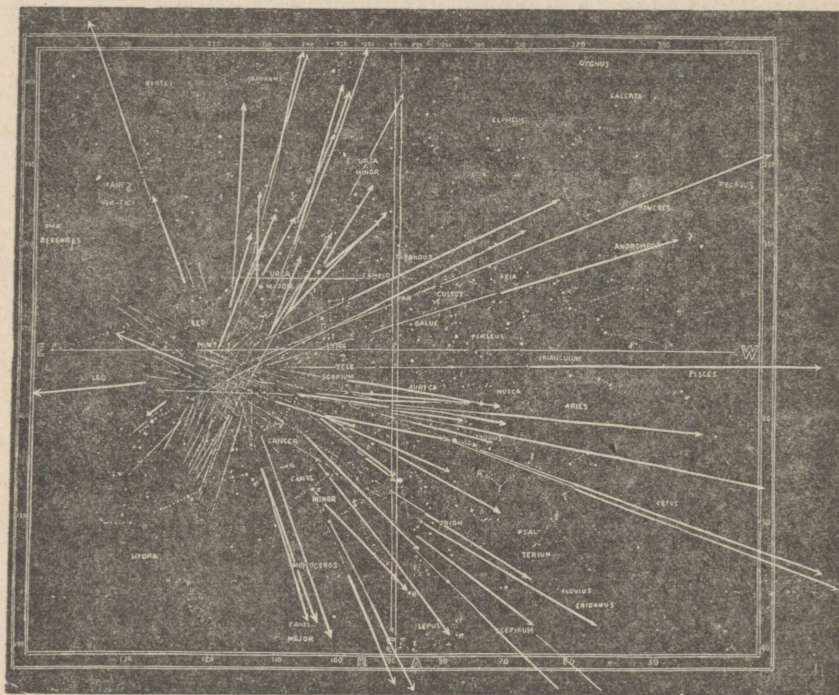
Leitud meteoriidid, millede kaal ulatub mõnest grammist mitme tuhande kilogrammini, koosnevad tuntud aineist nagu väävel, raud, nikkel, koobalt jt. Üldiselt liigitatakse meteoriidid raud- ja kivimeteoriitideks. Mõned otse pärast mahalangemist leitud meteoriidid olid ainult pinnalt tulised, seest aga külmad. Maailmaruumis, kust nad ilmusid, valitseb suur külmus ja meteoriit muutus hõõguvaks ainult oma pinnakihis.

Tartu Ülikooli Mineraloogiamuuseumi rohkearvulises meteoriitide kogus on välja pandud ka need meteoriidid, mis on maha langenud Eestis (joon. 95). Suurim neist kaalub üle 10 kilo. 1899. a. talveööl langes suur meteoriit Porvoo kihelkonnas Soomes üsna kalda lähedal merre. Selle langemine oli nähtav ka meil ja äratas rahva seas suurt tähelepanu. 1908. aastal langes Siberi taigas maha hiigelmeteoriit, purustades metsa kilomeetrite ulatuses ja põhjustades suurt maapinna vapustust.

Suurte meteoriitide purustuste jälgi võib näha mitmes kohas maapinnal. Arizonas, Ühendriikides, on meteoori langemisest põhjustatud kraater umbes

1-km lähimõõduga. Säärane kraater esineb ka Siberis. Samuti peetakse meteorist tekitatud kraatriks meie tuntud Kaali järve Saaremaal.

100. Meteoride voolud ja nende seos komeetidega. Mõnikord aastas ilmub lendtähti eriti rohkesti; nii näit. on ööd 10.—13. augustini ja 12.—14. novembrini neist eriti rikkad. Ühe tunni



Joon. 96. Novembrikuu meteoride radiatsioonipunkt. Meteoride trajektorid on noolekestena joonestatud taevakaardil. Kui pikendada neid vastassuunas, siis nähtub, et nad väljuvad ühest kohast — „radiatsioonipunktist“.

jooksul võib ilmuda mitukümmend meteoori. Augustikuu meteorid näivad tulevat Perseuse tähtkujust ja neid kutsutakse perseiidideks; novembrikuu meteorid aga Lõvi (Leo) tähtkujust, millest on tulnud nende nimi — leoniidid. Kohti taevavõlvil,

kust meteorid näivad välja lendavat, kutsutakse radiatsioonipunktideks (joon. 96). Kui meteore ilmub väga rohkesti, siis kõneldakse tähesajust.

Meteorid liiguvad parvede viisi pikergustel ellipsitel ümber Päikese. Mõnes kohas asetsevad nad tihedamalt parves. Kui Maa kohtab parve seesuguseid tihendatud kohti, siis on tähesadu harilikust küllasem.

Komeetide ja meteoride vahel on olemas side. Nõnda näit. selgitas astronoom Schiaparelli, et perseiidid liiguvad sama teed mööda kui 1862. aasta komeet ja et leoniidide tee on samane 1866. aasta komeedi teega. Aastal 1846 lagunes Biela komeet osadeks, mis pärast täiesti kadusid; hiljem, kui Maa läbis selle koha, kus pidi olema Biela komeedi tee, pandi korduvalt tähele (1872, 1878 ja 1885) suurepäraselt tähesadu, mille meteorid liikusid sama teed mööda kui Biela komeet. Nõnda võib meteore pidada komeedi lagunemise saadusteks.

Planeedid oma külgetõmbega võivad muuta meteoriparvede liikumise teid nõnda, et Maa neid enam endisel viisil ei kohta. Uhtlasi muutub siis ka tähesaju nähtuse iseloom.

XVII. Tähed.

101. Tähtede heledus. Juba vana-ajal jagati kõik palja silmaga nähtavad tähed heleduselt järkudesse, milledest iga eelmine on ühe ja sama astme võrra heledam kui järgmine. Ajalooliselt on kujunenud nõnda, et tähe heledusjärku nimetatakse harilikult tähe suuruseks (*magnitudo*), ehk küll sõnal „suurus“ pole mingit tegemist tähe geomeetrilise suurusega.

Kõige heledamaid tähti, nagu on Veega, Kapella, Altaïr, Arktuurus ja teised nendesarnased, kutsutakse esimese suuruse tähtedeks; teise suuruse tähed on ühe astme võrra tumedamad, näit. tähed α , ϵ , ζ , η Suures Vankris; kolmanda suuruse tähed on veel ühe astme võrra tumedamad (näit. täht δ samas tähtkujus), jne. Kõige tumedamad palja silmaga nähtavad tähed kuuluvad kuueandasse heledus-

järku; need on 6. suuruse tähed. Suurte pikksilmadega võib näha tähti 18. suuruseni, fotograafia abil aga on võimalik avastada neid umbes 20. suuruseni.

Fotomeetriliselt on leitud, et iga eelneva suuruse täht annab järgneva suuruse tähest 2,5 (täpsemalt 2,512) korda enam valgust, s. t. on temast nii mitu korda heledam.

Kui kahe tähe suurused tähistada m ja n abil ning nende vastavad heledused, s. o. valgushulgad, mis neilt saame, I_m ja I_n abil, siis on kehtiv lihtne seos

$$\frac{I_m}{I_n} = 2,512^{n-m} \quad (1)$$

See on astrofotomeetria põhivalem, mille abil on kerge arvutada heleduste suhet, kui suuruste vahe on teada, või ümberpöörduvalt.

Kui mõni täht on ühe, kahe, kolme, ... suuruse võrra heledam kui esimese suuruse täht, siis selle heledusjärk on 0, - 1, - 2, ...

Olgu võrrandis (1) näiteks 0-suuruse tähe ($n = 0$) heledus loetud ühikuks ($I_n = 1$), siis saame

$$I_m = 2,512^{-m},$$

ehk logaritmilisel kujul:

$$\log I_m = -0,4m.$$

Saadud valemite abil on kerge arvutada mõne tähe heledus selle suuruse järgi või ümberpöörduvalt. Valemeist nähtub, et tähtede suurused on heleduste astmenäitajad ehk logaritmid (vrd. Weber-Fechner'i psühhofüüsilise seadusega, mille järgi aisting on ärrituse logaritm).

1. Õppida tundma meil nähtavaid heledamaid esimese ja kõrgema suuruse tähti ühes tähtikujudega, kus nad paistavad!

2. Mitu 6. suuruse tähte annavad üheskoos niisama palju valgust kui üks 1. suuruse täht?

3. Siiruse tähesuurus on - 1,6, Kapella tähesuurus on + 0,2. Mitme tähesuuruse võrra on Siirius heledam kui Kapella ja mitu korda annab ta rohkem valgust kui Kapella?

4. Nn. normaalküünal ühe km kaugusel annab meile umbes nii palju valgust kui üks 1. suuruse täht. Missugune oleks küünla „tähesuurus“, kui ta valgustaks 1 m, 100 km kaugusel?

5. Päikese ja täiskuu „tähesuurusi“ hinnatakse vastavalt arvudega -26,7 ja -12,5. Mitu korda on Päike heledam kui 1) täiskuu, 2) Kapella ($m = + 0,2$)?

6. Mitu küünalt tuleks mõelda 1 m kaugusel, et nad üheskoos annaksid niisama palju valgust kui Päike?

7. Mitme normaalküünla valgusvõimsus on Päikesel?

102. Tähtede arv. Sageli arvatakse, nagu oleks palja silmaga nähtud tähtede arv väga suur, kuid tõeliselt on see kogu taevaskera kohta ainult k u u e t u h a n d e ümber. Pikksilmaga vaadeldes või fotograafides kasvab tähtede arv kiiresti ühes pikksilma valgusvõimsusega ja fotograafilise ülevõtte valgustusaajaga.

Järgmises tabelis on antud kuue esimese tähesuuruse tähtede arvud kogu taevasfääri kohta:

Tähesuurus:	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Tähtede arv:	20	46	134	458	1476	4840

Kõige heledamaid, s. o. esimese ja veel väiksema (0—1) suuruse tähti loendatakse 20. Iga järgmise suuruse tähti on umbes kolm korda enam. Kuid selline arvude suhe ühes tähesuuruse kasvamisega kahaneb ja seejuures kahel põhjusel: 1) tähed pole ruumis paigutatud ühtlased, vaid üldiselt seda harvemini, mida kaugemal nad meist asetsevad; 2) tähtedevahelises maailmaruumis on hajutatud väga hõre aine, mis neelab valgust ja mõjutab takistavalt kaugete tähtede nägemist.

Kõiki tähti kuni 6. suuruseni (viimane ühes arvatud) loendatakse peaaegu 7000. Kõiki tähti kuni 11. suuruseni on ligi miljon. Et tähti on väga palju ja nende arv ühes tähesuurusega kasvab, siis on võimata neid kõiki üksikult uurida ja ka loendada. Sel puhul rakendatakse statistilisi uurimisviise. Valitakse välja taevasvälil väiksemad kindlalt fikseeritud, taevasfääril ühtlaselt jaotatud üksikud alad, kus loendatakse tähti ja uuritakse üksikute tähtede omadusi. Loendades tähti üksikutel aladel võib arvutada tähtede tõenäolise arvu kogu taevasfääril kuni mingi antud tähesuuruseni. Nõnda on leitud, et kõiki tähti kokku kuni 20. suuruseni on umbes üks miljard, s. o. tuhat miljonit tähte. Tõeline tähtede arv meie suures Linnutee tähesüsteemis on aga veel palju suurem — umbes sada miljardit tähte!

103. Tähtede kaugused. Tähed on meist mitmesuguses kauguses. Nende kauguse määramine põhineb aastase parallaksi (vt. § 45) mõõtmisel. Aastase parallaksi nurk on väga väike ja

selle mõõtmiseks kasutatakse peeni nurgamõõtmise riistu, uue-
mal ajal aga fotograafiat. Aastase parallaksi põhjal on kerge
arvutada tähe kaugust astronoomilisis ühikuis. Kuidas?

Kuid et seesugune mõõduühik on tähtede kauguse hindami-
seks väga väike, siis võetakse tarvitusele suuremad mõõdud —
parsek ja valgusaasta. Parsek on kaugus, mis vastab paral-
laksile 1". Valgusaasta on kaugus, mille valgus läbib ühe
aastaga. Üks parsek on umbes $3\frac{1}{4}$ valgusaastat.

Järgnevas tabelis on antud seosed mitmesuguste astronoomias tarvita-
vate pikkusühikute vahel.

Pikkusühikud	Kilomeeter	Astron. ühik	Valgus- aasta	Parsek
Kilomeeter	1	—	—	—
Astronoom. ühik . . .	$149,5 \cdot 10^6$	1	—	—
Valgusaasta	$9,46 \cdot 10^{12}$	$6,3 \cdot 10^4$	1	—
Parsek	$3,1 \cdot 10^{13}$	206 265	3,26	1

Praegusajal on teada üle 6000 tähe parallaksi. Kõige ligema tähe
 α Centauri parallaks on 0'',76, millele vastab kaugus 271000 astronoomi-
list ühikut, 1,32 parsekki ehk 4,3 valgusaastat. Kontrollida viimaseid arvu-
sid parallaksi põhjal!

Lisandame siin mõnede tähtede parallaksid:

Siirius	0'',38
Altaір	0'',20
Veega	0'',12
Kapella	0'',06
Betelgeuse	0'',01

Üldiselt on heledamad tähed meile ligemal kui tumedamad. Kuid on
ka palju erandeid, kus heledad tähed on meist kaugel näiteks mitusada
valgusaastat, kuna aga näiliselt nõrgema valgusega tähed on meile palju
lähemal.

1. Mitu korda on α Centauri Päikesest kaugemal kui Neptuun?
2. Mitu valgusaastat on meist kaugel Siirius, Altaір ja Betelgeuse?
3. Juuksekarva paksus on $\frac{1}{20}$ millimeetrit. Mitme meetri kaugusele
silma tules asetada juuksekarv, et selle paksus kujutaks lähima tähe
parallaksi suurust?
4. Kui kaua läheks kiirrong meilt ligema täheni? Kui kaua kestaks
teekond sinna lennukil, mille kiirus on 500 km tunnis?

5. Kui nööpnõela pea, mille läbimõõt on 1 mm, kujutaks Päikest, kui kaugele tuleks mõelda kõige ligem täht, et tõeliste kauguste vahekorrad jääksid endisteks?

104. Tähtede absoluutne suurus. Tähe näiv heledus tuleb valgushulgast, mille me oma silma abil tähelt vastu võtame. Valgushulgad aga, mis tähtedelt saame, pole võrdsed ja sõltuvad tähtede kaugusest (kuidas?) kui ka tähtede eneste valguse võimsusest ehk intensiivsusest. Kui tähed asetseksid meist ühel ja samal kaugusel, näit. 10 parsekki, siis nende näiv heledus oleks võrdeline nende valgusvõimsusega.

Et saada kergesti õiget kujutlust tähtede valgusvõimsusest, selleks võtame tarvitusele tähtede absoluutse suuruse mõiste.

Tähe absoluutseks suuruseks (ehk heledusjäre- guks) kutsutakse tähe näivat suurust, kui täht asetseks meist mõnes standard-kauguses, milleks mõninga mugavuse pärast on võetud 10 parsekki. Päike sellel kaugusel esineks meile +5. suuruse tähena, seepärast on tema absoluutne suurus +5.

Tähe absoluutse suuruse põhjal on kerge arvutada, mitu korda on tähe valgusvõimsus Päikese omast suurem või väiksem. Nõnda näit. Kapella absoluutne suurus on 0, s. t. et Kapella näiv suurus 10 parseki (52.6 valgusaasta) kaugusel on 0; et aga Päike samal kaugusel paistaks 5. suuruse tähena, siis on Kapella viie suuruse võrra Päikesest heledam ja annab $2.512^5 = 100$ korda enam valgust kui viimane.

Tähe absoluutset suurust on võimalik määrata ainult sel juhul, kui on teada tähe näiv suurus ja kaugus (või parallaks).

Nii nagu päikesesüsteemi suuruse, s. o. planeetide kauguse teadmine viib otsusele, et Maa on planeetkonna harilikke liikmeid, nõnda järgneb tähtede kauguse mõõtmisest, et Päike on harilik täht miljonite tähtede peres.

1. Tähe abs. suurus = +4; mitu korda annab ta enam valgust kui Päike?

2. Juuresolevalt on antud mõnede tähtede absoluutsed suurused (Päike = +5):

Siirius	+1.2	Procyon	+3.0
Kanopus	-7.9	Aldebaran	-0.1
Veega	+0.6	Deneb	-5.2
Arktuurus	-0.4	Barnardi täht. . .	+10.3

Mitu korda on nende tähtede valgusvõimsus Päikese omast suurem?

3. Mitmenda suuruse tähena paistaks Päike, kui ta kaugus meilt oleks 100 parsekki (326 valgusaastat)?

4. Päikese tähesuurus on — 26,7; mitmenda suuruse tähena paistaks Päike 1 parseki ja 10 parseki (abs. suurus) kaugusel?

5. Mitu valgusaastat kaugel peaks asuma Päike, et ta paistaks 15. suuruse tähena, s. o. nagu heledamad tähed kerakujulistest täheparvedes?

105. Tähtede värvus, spekter ja temperatuur. Ehk küll tähtede valgus võrreldes Päikesega on väga palju nõrgem, oli siiski võimalik saada tähtede spektreid ja uurida neid. Peale mõne erandi tähed üldiselt esitavad neeldumisspektreid tumedate joontega. Niisiis kinnitab ka spektriline analüüs, et tähed on päikesesarnased isehiilgavad taevakehad, mille hõõguvat tuuma ümbritseb kiiri neelav atmosfäär. Tuuma temperatuur on üldiselt tähe hõõguva pinna temperatuurist madalam.

Tähtede suurest arvust hoolimata oli võimalik neid spektrite järgi jagada järgmisteks liikideks (joon. 97):

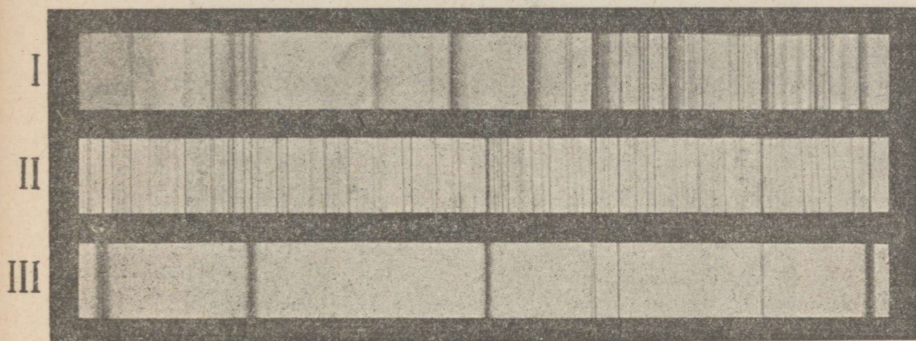
I. Valged tähed, näit. Siirius, Rigel, Veega. Spektri tagapõhjal, mis on iseäranis intensiivne oma violetipoolses osas, paistavad eriti silma tumedad vesiniku ja heeliumi jooned. Metallide jooni pole näha. Nende tähtede hõõguvat gaasilist keha ümbritseb väga kuum ja paks atmosfäär, milles on vesinikku ja heeliumi. Kiirgamiseaduste põhjal võib määrata nende tähtede pinna keskmist temperatuuri, mis on üle 9000° kõrge.

II. Kollased tähed, näit. Kapella, Arktuurus, Päike. Selliste tähtede spektri oluliseks omaduseks on metallide joonte rohkus; vesiniku ja heeliumi jooned on palju nõrgemad kui eelmise liigi tähtede spektris. Pinna temperatuur on valgete tähtedega võrreldes tunduvalt madalam (umbes 6000°); tähe atmosfääris ujub rohkesti metallide auru, milledest eriti tähtsad on raud ja kaltsium.

III. Punakad tähed, näit. Antares, Aldebaran, Betelgeuse; nende punakas värvus tuleb sellest, et spektri violetipoolse osa heledus on nõrk. Spektril on suur sarnasus Päikese laikude spektriga. Temas on rohkesti metallide jooni, milledest paljud on veel tumedamad ja laiemad kui kollastel tähtedel; peale selle paistavad silma laiad neeldumisvöö-

did: Temperatuur neil tähtedel on veelgi madalam (umbes 3000°) kui kollastel tähtedel; seetõttu nende atmosfäärides võivad tekkida koguni mõned keemilised ühendid, nagu näiteks titaanoksüüd, mis esineb ka Päikese laikudes. Ka on tõenäoline mõnede süsinikuühendite esinemine.

106. Hiidtähed ja kääbustähed. Hulga tähtede absoluutseid tähesuursusi või vastavalt nende valgusvõimsust üksteisega võrreldes tuli ilmsiks tõsiasi, et tähed jagunevad kahte liiki.



Joon. 97. Tähtede spektri liigid.

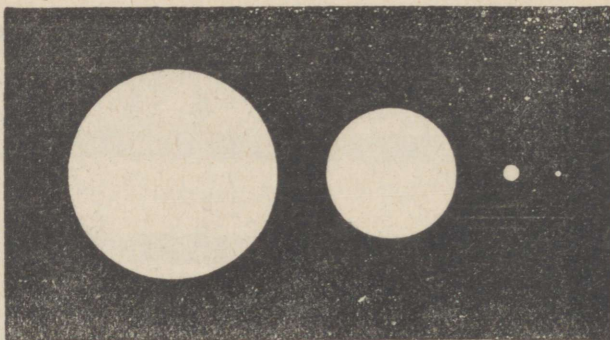
Uhe liigi tähed on meie Päikesest keskmiselt umbes sada korda heledamad ja neid kutsutakse hiidtähtedeks ehk hiiglasteks. Teise liigi tähed aga on heleduselt umbes meie Päikese sarnased või temast nõrgemad ja neid kutsutakse kääbustähtedeks ehk kääbusteks.

Võrreldes näiteks Kapellat meie Päikesega leiame, et mõlemad tähed kuuluvad kollaste tähtede liiki; ka nende spektrid on teineteisega väga sarnased. Kuid oma ehituselt erinevad samad tähed teineteisest põhjalikult. Kapella on Päikesest ligi 100 korda heledam, kuid aine, millest ta koosneb, on ligi 200 korda väiksema tihedusega kui Päikesel ja ainult 4 korda tihedam kui õhk. Kapella on teise spektriliigi täht ehk nn. „kollane hiiglane“, meie Päike aga — „kollane kääbustäht“.

Tähtede hiid- ja kääbusloomu oluliseks tunnuseks ei tule lugeda mitte niivõrra tähe aine hulka, s. o. massi, kui aine tihedust või tähe ruumala

suurust. Hiidtähtedena näeme väga mahukaid, kuid hõredaid kerakujulisi hõõguvaid gaaside masse. Nende liiki kuulub suurem hulk heledaid tähti meie taevavõlvil. Kääbustähed aga on hiidtähtede vastandid — rohkem tihendatud aine ja nõrgema valgusjõuga.

Tähtede hulgas esineb harva ka erakordselt heledaid, väga valgusvõimsaid tähti, nn. ülihiiglasti, nagu näit. Deneb, Betelgeuse, Rigel, Antares ja Kanopus; mõni neist on mitu tuhat korda Päikesest heledam ja ta hõõguv pind ulatuks Maani, kui selline kolossaalne täht asuks Päikese asemel (joon. 98).



Joon. 98. Betelgeuse, Antarese, Arktuuruse ja Päikese (kõige väiksem) võrdlevad suurused.

Uuemal ajal on avastatud veel liik kummalisi valgeid kääbustähti. Need nn. valged kääbused on kõrge temperatuuriga (umbes $10\,000^\circ$) väga tihedad tähed. Nõnda näiteks Siiriuse kaaslase tihedust hinnatakse vee tihedusest umbes 50 000 korda suuremaks. Niisugune aine olek on seetõttu võimalik, et aatomite perifeersed osad (elektronid) on nende tuumadest lahutatud; aatomid on purustatud, „ioniseeritud“ suure raskusrõhumise mõjul, mis valitseb tähe sees; aatomite tuumad on surutud üksteisele väga ligidale, millest siis ka tuleb aine suur tihedus. Selliste tähtede olemasolu seab huvitavaid küsimusi tähtede ehituse ja evolutsiooni teooria alal.

107. Kaksiktähed. Tähtede hulgas esineb palju niisuguseid, mis paljale silmale paistavad harilike tähtedena, kuid mille puhul läbi pikksilma vaadates on näha, et nad koosnevad kahest teineteise ligidal asetsevast tähest. Seesuguseid tähti kutsu-

takse kaksik- ehk paaristähtedeks. Mõnikord võivad kaks tähte perspektiivselt sattuda väga teineteise ligidale, olles tõeliselt aga väga kaugel teineteise taga. Need on nn. optilised paarid. Füüsilistes kaksiktähtedes aga on kaks tähte tõeliselt ligistikku ja tiirlevad Kepleri seaduste järgi teineteise ümber üldise külgetõmbe mõjul.

Kaksiktähtede uurimine on selle poolest eriti tähtis, et nende üksikosade ehk komponentide tiirlemise põhjal saab määrata tähtede masse juhul, kui tähtede kaugused on teada.



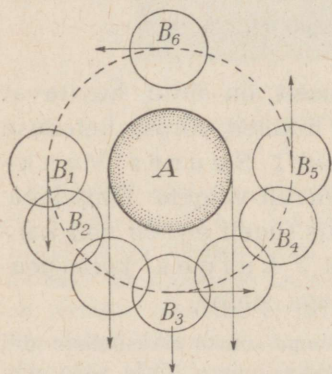
Joon. 99. W. Struve.

Kaksiktähti oma heleduselt ja värvuselt on mitu huvitavat tüüpi. Mõnikord on tähepaari mõlemad liikmed võrdse heleduse ja ühesuguse värvusega, nagu näit. tähel ζ Suures Vankris (Mizar), kus nad paistavad säravalt-valgete tähtedena. On aga üks liikmeist teisest heledam, siis sageli esineb neil kauneid värvide kontraste, nagu näit. tähel β Luiges, mille peamine täht on ruugjaskollane, kaaslane aga sinine.

Kaksiktähti avastas ja mõõtis suurel arvul oma suurte pikksilmade abil W. Herschel. Mõnedes kaksiktähtede paarides, mis ei tiirle väga aeglaselt, tõestas ta tähe üksikosade liikumist. Kuulsad on ka kaksiktähtede mõõtmised, mida toimetas Wilhelm Struve (joon. 99) Tartu tähetornis läinud sajandi algul Fraunhoferi 9-tollise pikksilma abil, mis on praegugi alles (joon. 14). Tuntud kaksiktähtede arv on praegu palju tuhandeid. Mõnes paaris on tähe liikmed sest ajast saadik, kui algasid täpsed mõõtmised, juba mitu korda teineteise ümber tiirelnud.

108. Muutlikud tähed. On tähti, mis perioodiselt muudavad oma heledust. Neidki on mitu eri liiki.

1) Katmismuutlikud. Selle liigi tähtede esindajaks on Algol ehk täht β Perseuse tähtkujus. Tähe heleduse muutumise periood on lühike, kestes ainult 69 tundi; 61 tunni vältel paistab ta muutumatu 2,3. suuruse tähena, siis hakkab ta korraga tumenema, jõudes 4 tunniga 3,5. suuruse tähe heleduseni; pärast seda jätkub 4 tunni jooksul valguse kasvamine ja viimaks on ta jälle konstantse heledusega 2,3. suuruse täht. Nagu näitasid täpsed spektroskoobilised uurimised, jääb tähe spekter heleduse võnkumise ajal kogu aeg muutumata, kuid tähe vaatesuunaline kiirus muutub korrapäraselt heledusperioodi vältel. Valguse muutumise põhjustajaks on tähe kaaslane, mis tiireldes tähe ümber aeg-ajalt läheb tähe ette (või taha), katab näiliselt osa selle pinnast ja kutsub nõnda esile tähe koguheleduse perioodse muutumise (joon. 100). Seesuguseid muutlikke tähti, mis õieti pole muud kui kaksiktähed, on teada õige suur hulk. Hüvitavamaid neist on β Lüüras ja ζ Veomehes.

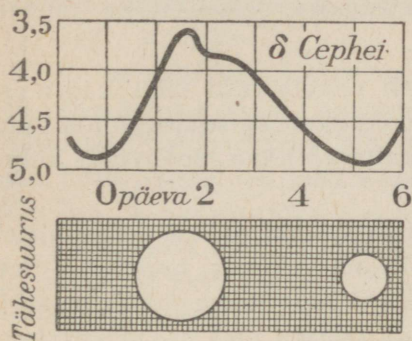


Joon. 100. Algoli tüüpi tähe heleduse muutumise skeem. A — peatäht, B — kaaslane, mis asendis B_3 katab peatähe, asendis B_6 aga on ise kattunud peatähega.

2) Tsefeiidid. Hüvitava ja väga tähtsa muutlike tähtede liigi moodustavad nn. tsefeiidid. Tüüpiliseks esindajaks on siin 4. suuruse täht δ Cepheuse tähtkujus. Tema heledus muutub väga korrapäraselt 5 päeva jooksul. — Tsefeiidide heleduse muutumise põhjuseks peetakse termodünaamilisi protsesse tähe sisemuses, mille mõjul tähe gaasiline keha perioodiliselt paisub ja kokku tõmbub („pulseerib“), järelikult ka tähe heledus muutub.

Tsefeiidide heleduse muutumise kõver on väga korrapärane (joon. 101); seda iseloomustab äkiline tõus ja pikaldasem langemine; perioodi valde on väga kindel, olgugi et siin pole tähe katmist kaaslase poolt. Nende tähtede valguse muutumise perioodi valde on kindlas vahekorras tähe

absoluutse heledusega. Mõnedel seesugustel tähtedel on muutumise periood ainult mõned tunnid. Järelikult on võimalik, teades seesugust tähtede valguse muutumise perioodi, määrata nende absoluutset suurust või heledust, samuti nende kaugust (vst. parallaksi).



Joon. 101. Tsefeidi heleduse muutumise kõver.

3) Pika perioodiga muutlikud tähed. Selle liigi esindajaks on täht α (omikron) Vaala tähtkujus, mida kutsutakse Mira'ks, s. o. imeilikuks. Heleduse muutuse periood kestab tal 11 kuud: kolme kuu jooksul muutub täht järjest heledamaks 2. suuruseni, siis kolme kuu jooksul ta jälle kahaneb, jäädes järgneva viie kuu vältel paljale silmale peaaegu nähtamatuks. Uhes heledusega muutub ka tähe spekter ja värvus, mis maksimumi ajal on kollane ja miinimumi ajal punakas.

Värvuse ja spektri muutumine tuleb protsessidest tähe atmosfääris, mis on seotud tähe heleduse muutumisega.

109. Uued tähed. Eri liigi muutlike tähtede rühmas moodustavad nn. uued tähed (ladina keeli: *nova*). Need ilmuvad taevas äkitselt, suurendavad kiiresti oma valgust ning jõuavad heleduse tipule, millele järgneb aeglasem valguse kahanemine, ja kaovad viimaks meie silmist.

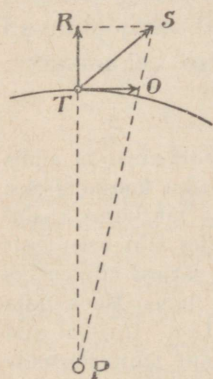
Üks selline hele täht ilmus 125 aastat enne meie ajaarvamist ja andis tõuke kreeka astronoomile Hipparch'ile tähtede nimestiku koostamiseks. Teist väga heledat ajutist tähte, mis lõkendas Kassiopeia tähtkujus aastal 1572, vaatlis Tycho Brahe. Oma maksimumi ajal võistles täht heleduselt Veenusega ja oli näha päevalgi. Pärast muutus ta heledus järjest nõrgemaks ja aasta pärast kadus ta paljale silmale. Aastal 1604 ilmus Maokandja (Ophiuchuse) jalas särav uus täht, mida kirjeldas Kepler. Uemal ajal ilmunud heledamaist ajutistest tähtedest võiks nimetada uut tähte Perseuse tähtkujus talvel 1901, Kotka tähtkujus suvel 1918 ja Herkulese tähtkujus talvel 1934.

Uute tähtede ilmumise põhjuste kohta on esitatud mitmesuguseid seletusi. Tõenäoliselt panevad neid loitma muutused tähesisemises ehituses, kusjuures erilistes tingimustes aatomituumade energia vabaneb. Sellele järgneb tähe keha suur paisumine koos aine laialipaisumisega kolossaalsete pursete kujul.

110. Tähtede liikumine. Sageli nimetatakse tähti kinnistähedeks, sest et nende asendid üksteise suhtes ei näi muutuvat; tähed oleksid just kui kinnitatud kõva taevavõlvi külge, mis ühtlaselt pöörleb ümber Maa.

Maa aastase liikumise kestel muudavad tähed perioodiliselt oma näivaid asendeid taevavõlvil (aberratsioon, parallaks). See-sugust nähtust võib aga seletada kui Maa enese liikumise mõju või vastupeegeldust, ilma et tähed tõeliselt oma asendit üksteise suhtes muudaksid.

Kuid üheks tähtsamaks teaduse poolt avastatud tõsiasiaks tuleb lugeda seda, et tähed tõeliselt üksteise suhtes taevafääril liiguvad. Sellist tähe nihkumist taevafääril teiste tähtede suhtes kutsutakse tähe omaliikumiseks. Esimene, kes mõnede heledamate tähtede (Siirius, Aldebaran) omaliikumist taevavõlvil tähele pani, oli inglise astronoom Halley XVIII sajandil.



Joon. 102.

Tähtede omaliikumine on üldiselt väga väike, ja et seda avastada, on tarvis tähtede väga täpselt määratud asendeid pikema aja tagant võrrelda.

Praegusajal on teada mitme tuhande tähe omaliikumine. Kõige suurem tähe praegu tuntud omaliikumine on ainult umbes $10''$ aastas. Harva on aga need suuremad kui $1''$.

Kuid omaliikumise väiksusest hoolimata muutuvad pika aja jooksul kõik meie tuttavad tähtkujud tundmatuseni. Et tähtede omaliikumine taevavõlvil on suunatud suuringi kaart mööda, siis on võimalik määrata mõne tuttava

tähtkuju, näit. Suure Vankri pilti mõnekümne tuhande aasta pärast või kuidas ta paistis meie esivanemaile kauges minevikus (joon. 103).

Kui on teada omaliikumise nurkkiirus ühes tähe kaugusega, siis võib kergesti arvutada tähe omaliikumise lineaarset kiirust. Kuidas?

Peale omaliikumise kiiruse on tähel veel kiirus *v* a a t e s u u n a s ehk nn. radiaalne kiirus, mis määratakse spektrograafiliselt Doppler-Fizeau' printsiibi põhjal. Radiaalne kiirus loetakse positiivseks, kui tähe kaugus kasvab, s. o. kui täht meist eemaldub, ja negatiivseks, kui täht meile ligineb.

Kui on teada tähe kaugus, omaliikumise ja radiaalne kiirus, siis on kerge määrata tähe tõelist kiirust ruumis päikesesüsteemi suhtes.

Olgu *P* päikesesüsteemi ja *T* tähe asend ruumis (joon. 102). Olgu *TO* ja *TR* vastavalt omaliikumise ja radiaalne kiirus, siis *TS*, kui komponentide *TO* ja *TR* summa, on tähe kiirus ruumis päikesesüsteemi suhtes.

Tähtede kiirused on harilikult mitukümmend kilomeetrit sekundis, kuid ei puudu ka juhud, mil nad on palju suuremad.

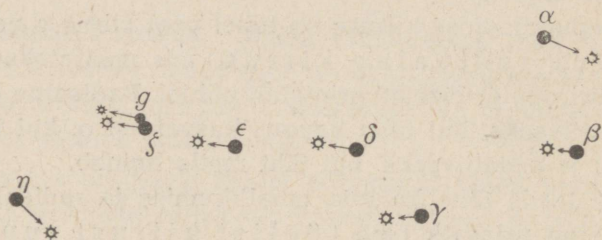
1. Arktuuruse omaliikumine taevavõlvil on 2'',3 aastas; tähe paralaks = 0'',1; radiaalne kiirus Päikese suhtes = $-5 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Mitu km sekundis on tähe omaliikumise lineaarne kiirus ruumis päikesesüsteemi suhtes?

2. Täht Veega ligineb meie poole kiirusega $14 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$; tähe paralaks = 0'',1. Millal jõuaks täht meie juurde, kui ta liiguks otse meie suunas?

111. Päikesesüsteemi edasiikumine ruumis. Eespool oli tähtede radiaalne ja omaliikumise kiirus võetud Päikese kui liikumatu punkti suhtes. Et Päike on harilik täht, siis on loomulik oletada, et ka Päike liigub tähtede keskel. Arvutame, kuidas Päikese liikumine tähtede liikumistes vastu peegeldub.

Vaatleme mitmesugustes kohtades taevavõlvil tähti *T*, *T*₂ jne. (joon. 104), lugedes neid lihtsuse pärast paigalolevaiks, Päike *P* aga liigub punkti *A* poole kiirusega *v*. Kujuteldud liikumise tagajärjel näib meile, kes me asume päikesesüsteemis, et tähed liiguvad võrdse kiirusega *v*, kuid vastupidises suunas Päikese liikumisele. Lahutame tähtede kiiruse *v*, mis pole muud

kui päikesesüsteemi kiiruse perspektiivne vastupeegeldus, kaheks komponendiks — radiaalkiiruseks, mis on asetatud vaatesuunas, ja omaliikumise kiiruseks, mis on asetatud taevavõlvil. Siis on võimalik tähele panna järgmisi liikumise korrapärasusi.

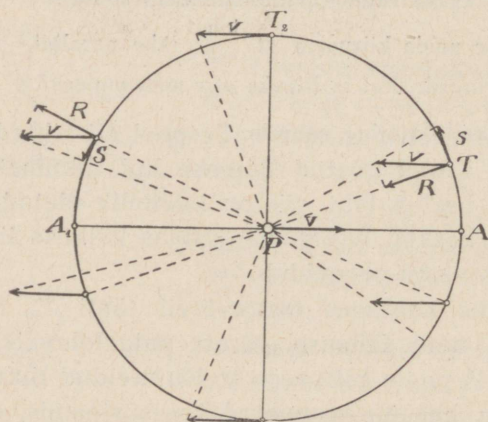


● praegu ○ 50000 aasta pärast

Joon. 103. Suure Vankri tähtede liikumine.

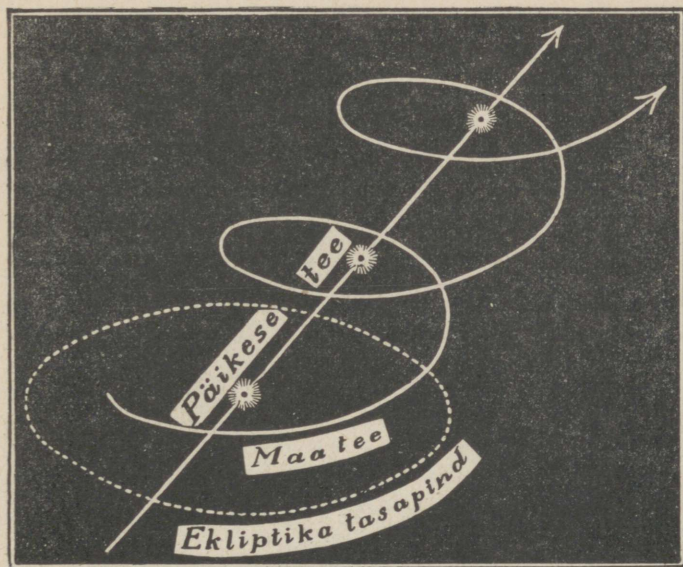
Sellel taeva poolkeral, mille pooluseks on punkt A , kuhu poole Päike liigub tähtede keskel, näivad tähed sellest punktist eemalduvat, laiali minevat, kuna aga vastaspoolkeral tähed näi-

vad vastaspoolusele A_1 lähenevat, koonduvat. Samalaadilist nähtust märkab jalutaja puies-tikus, kus talle näib, nagu lähetsid puud tema ees laiali ja koondusid tema selja taga. Tähtede liikumiste korrapärasusest järeldas kuulus astronoom William Herschel juba XVIII sajandi lõpupoolel, et Päike liigub tähtede



Joon. 104. Päikesesüsteemi liikumise mõju tähtede liikumisele.

keskel. Koht, kuhupoole liigub päikesesüsteem maailmaruumis, ehk nn. a p e k s, asetseb Herkulese tähtkujus. Tema koordinaadid on ümmarguselt: $\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$. Liikumiskiirus on umbes 20 km sekundis. Et Maa tiirleb ümber Päikese, siis võib kujutella Maa teed ruumis väljavenitatud spiraalina (joon. 105).



Joon. 105. Päikesesüsteemi liikumine ruumis.

Samale otsusele võib jõuda ka radiaalkiiruste vaatlemisel. Sealpool, kuhu Päike liigub, näivad tähed meile liginevat, teisel pool aga meist kaugenevat.

Tõeliselt on nähtus keerulisem, sest tähed ei püsi üksteise suhtes paigal.

XVIII. Maailma ehitus.

112. **Täheparved.** Mõnes kohas taevavõlvil on palju tähti üksteisele nii ligistikku, et silm ei suuda neid eraldada ja üksikult tajuda, vaid näeb neid üldise valkja laiguna. Pikksilmas

aga laguneb sageli niisugune laik üksikult nähtavate tähtede parveks ehk saraks.

Üks kõige tuttavamaid täheparvi on nn. Sõel ehk Plejaadid. Palja silmaga võib selles eraldi näha umbes 7 tähte, kuid võimsamate pikksilmade abil — mitusada. Samalaadilised nn. hajunud täheparved on ka Hüaadid, täheparved Perseuse tähtkujus, Vana Sõel ehk Praesepe (Sõim) jt. Selliseis parvedes tähed pole ühte sattunud

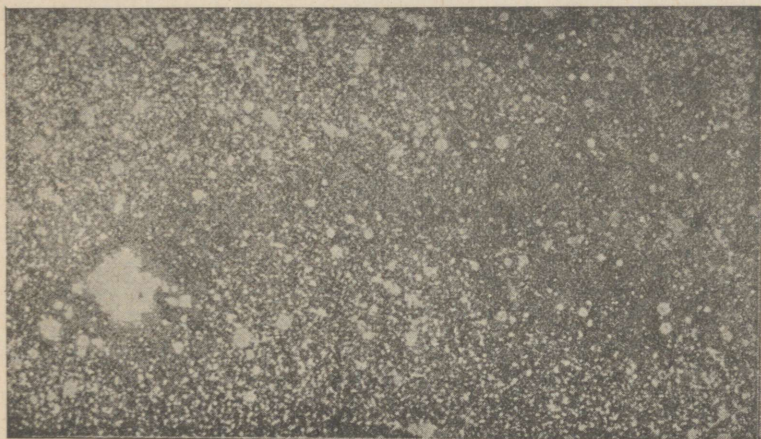


Joon. 106. Kerakujuline täheparv, nn. kerašparv.

juhuslikult, vaid nende vahel on olemas tõeline füüsiline ja kosmogooniline seos. Iseäranis selgelt ilmneb see nn. kerašparvede korrapärases ehituses (joon. 106), kus keskel tähed on kuhjunud väga tihedalt. Väiksemate pikksilmade läbi paistavad nad kettasarnaste valkjate udulaikudena, kuid tugevajõulises teleskoobis pakuvad nad kaunist ning suurepärašt vaadet, lagunedes tuhandeiks tähtedeks.

Kerasparvede kaugust võib määrata muutlikkude tähtede, nn. tsefeiidide abil (vt. lk. 140); osutus, et ka kõige ligemad kerasparved (nagu Kentauri ja Herkulese tähtkujus) on meilt paarkümmend tuhat valgusaastat kaugel, kuna nähtavad hajunud parved on meile võrdlemisi ligidal — mõnedsajad valgusaastad.

113. **Linnutee.** Kõige silmapaistvam ja laiaulatuslikum täheparv on L i n n u t e e. Ta paistab meile tuhmilt helendava hõbe-



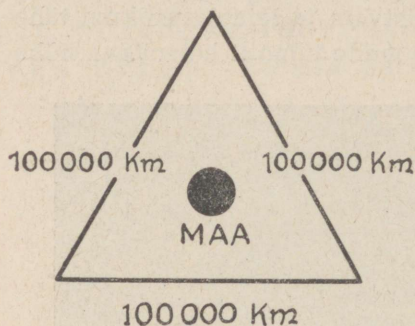
Joon. 107. Linnutee osa fotograafitult.

valkja udulise vööna ehk paelana, mis käib üle kogu taeva pea-aegu suurringina, jagades taevaskera kaheks võrdseks poolkeraks. Linnutee läbib järgmisi heledamaid tähtkujusid, mis on näha meie laiuses: Suur Peni, Sõnn, Veomees, Perseus, Kassiopeia. Luige tähtkujus jaguneb ta kaheks haruks, mis ühinevad uuesti lõuna-poolkeral.

Linnutee tähelist struktuuri eeldas juba vana-ajal Demokritos (umbes 400 a. e. m. a.). Suurte pikksilmade, kuid eriti fotograafia abil on võimalik näidata, et Linnutee tõeliselt koosneb väga paljudest tähtedest (joon. 107). See on keerulise ehitu-

sega väga laialdane tähtede süsteem, nn. galaktiline (*galaktis*, kreeka keeli, tähendab *piimateed*) süsteem, millesse hariliku tähena kuulub ka meie Päike.

114. Linnutee tähesüsteemi ehk Galaktika ehitusest. Valguskiir, mis levib kiirusega 300 000 km sekundis (vt. joon. 108), jõuab $8\frac{1}{3}$ minutiga läbida kauguse Päikeselt Maani. $5\frac{1}{2}$ tunni



Joon. 108. Üks „valgussekund“ — kolmnurga külgedest koosnev pikkus, s. o. teekond, mille valgus läbib ühe sekundi jooksul, võrrelduna Maa ekvaatori suurusega.

niga jõuab ta päikesesüsteemi senituntud rajani, kuid et saavutada kõige ligemat tähte, peab ta ligi 4 aastat teel viibima. Teiste kaugemate tähtede juurde jõudmiseks kulub aastakümneid, -sadu, -tuhandeid.

✓ Oma loomult on tähed, mis täidavad maailmaruumi, samasugused võimsad jõuallikad nagu meie valguse- ja soojuseandja — Päike. Seepärast on loomulik oletada, et paljud neist, samuti nagu meie Päike, on ümbritsetud tiirlevaist planeetidest, mida meie suure kauguse tõttu aga näha ei suuda. On olemas arvatavasti isegi palju elutatud „maailmu“, millest kõneles juba Giordano Bruno († 1600).

Nõnda on astronoomia ehk täheteaduse mõjul meie kujutus maailmast ja selle suurusest hoopis muutunud. Meie üle pole tõeliselt olemas mingit piiravat „kristallist sfääri“, vaid piiramatut ruum ehk avarus, mis on täidetud miljonite tähtedega. Neid vaadeldes tõuseb küsimus, kas on tähtede-maailm, universum ehk kosmos korrapärane ehitis nagu päikesesüsteem.

Sellele küsimusele püüdis vastust anda kuulus täheteadlane W. Herschel juba XVIII sajandi lõpul. Herschel juhtis oma suure teleskoobi mitmesugustele aladele taevavõlvil ja loendas kõik pikksilma vaateväljal nähtavad tähed. Nõnda selgus, et

üksikuis taevaosades loendatud tähtede arv on väga erinev. Kõige rohkem ja järelikult kõige tihedamalt on tähti Linnutee vöös ning selle lähedal. Vaatlusel Linnuteest eemale minekul kahaneb tähtede sagedus korrapäraselt, kuna kõige vähem tuleb tähti nähtavale 90° eemal ehk nn. Linnutee pooluste juures. Seda nähtust kutsutakse galaktiliseks koonduks ja ta hõlmab mitte ainult harilikke tähti, vaid ka teisi mitmesuguseid kosmilisi moodustisi, nagu näiteks täheparvi ja gaasilisi udukogusid.

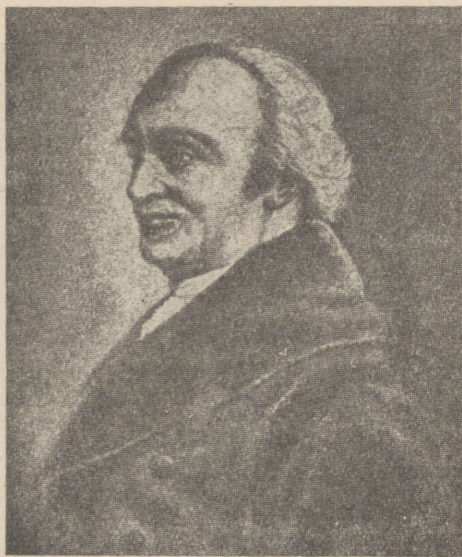
Oletades, et tähed oma päris- ehk absoluutse helleduse poolest on võrdsed ja et nad on ruumis paigutatud võrdse sagedusega, tegi Herschel tähe loenduste põhjal järelduse, et tähtede-maailm ulatub Linnutee kohal kaugemale avarusse kui mujal.



Joon. 109. Andromeda udukogu.

Kui P tähistab Päikese asukohta tähe-maailma sees (joon. 111), siis päikesesüsteemis asuvale vaatlejale paistavad taevavõlvi osas AA_1 tähed, mis on koonuse PAA_1 sees. Kui neid tähti on rohkem tähtedest, mis asetsevad niisama suure avausega koonuses PBB_1 ja mis projekteeruvad taevavõlvi osas BB_1 , siis järeldub sellest, et esimene koonus oli pikem kui teine ja et tähe-maailma ulatus koha A suunas on suurem kui koha B suunas. — Ümberpöörduvalt, kui oletada, et tähesüsteem Linnutee suunas ulatub kaugemale kui mujal, siis Linnutee nähtus on järeldus perspektiiviseadusest; ta on meie tähe-maailma kaugemate, näiliselt üksteisele lähemal asetsevate tähtede valguse liitumine ühiseks pilvetaoliseks helenduseks.

Nõnda jõudis Herschel otsusele, mida hiljem kinnitasid ka uuemad statistilised uurimised, et Linnutee tähtede parv, mille



Joon. 110. W. Herschel.

keskkoha lähedal hendlendab meie Päike, on ruumis piiratud ja et tal on lapergune sferoidiline kuju (joon. 111), mis meenutab taskukella, kumerat klaasi või spordiketast. Meie Päike ei asetse kolossaalse Linnutee tähesüsteemi keskuses, nagu esialgu oletati, vaid sellest eemal, umbes võrdses kauguses serva ja keskuse vahel.

Linnutee suurima telje läbimõõdu pikkust hinnatakse umbes 100 000 valgusaastat.

Linnutee keskkohast asub

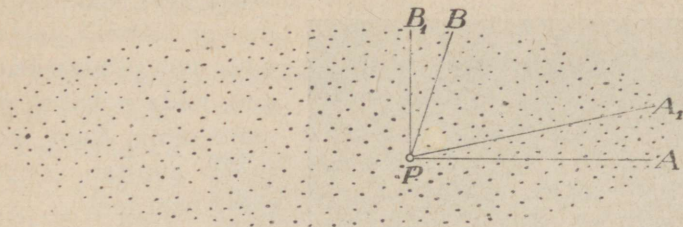
meilt vaadatuna Amburi ehk Sagittariuse tähtkujus taeva lõuna-poolkeral ja on meist ligi 30 000 valgusaastat kaugel.

Hoolimata sellest, et taevas näiliselt esitab meile suurt kooskõla ja rahu pilti, liiguvad seal tähed tõeliselt mitmekümne ja mitmesaja kilomeetri kiirusega sekundis, alistudes meie süsteemi külgetõmbe üldmõjule. Tähtede suurused, võrreldes neid üksteisest lahutava kaugusega, on väga väikesed (vrd.: kaks nõöpnõelapead teineteisest 30 km kaugusel). Seepärast on tähtede kohtumised üsna haruldased ja individuaalsed külgetõmbed tähtede vahel väga nõrgad.

Kuid peale erisuunalise liikumise on tähtedel veel ka üldine tiirlev liikumine Galaktika keskuse ümber (vrd. päikeselaiikude erisuunalisi liikumisi ja Päikese pöörlemist). Sellist nähtust kut-

sutakse Galaktika pöörlemiseks ehk rotatsiooniks. Kohas, kus asetseb meie Päike, on Galaktika pöörlemiskiirus umbes $300 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$ ja pöörlemisperiood ligi 200 miljonit aastat.

Nõnda on Linnutee tähesüsteem korrapärane omaette tervik nagu päikesesüsteem, kuigi võrratult keerulisem ja suurem.



Joon. 111. Tähesüsteemi läbilõike skeem W. Herscheli järgi.

Selles süsteemis hinnatakse umbes 100 miljardit (1 miljard = = 1000 miljonit) tähte ehk päikest. Kuid kõik Linnutee tähesüsteemi aine pole koondunud tähtedeks, vaid umbes pool osa sellest esineb gaasi- või tolmusarnaselt hajutatuna tähtedevahelises ruumis. See aine püsib peamiselt Linnutee tasapinnas ja selle lähedal ning võtab osa üldisest Linnutee täheparve pöörlemisest. Linnutee süsteemi kogumassi hinnatakse võrdseks umbes 200 miljardi Päikese massiga (Päikese mass = $2 \cdot 10^{33}$ grammi).

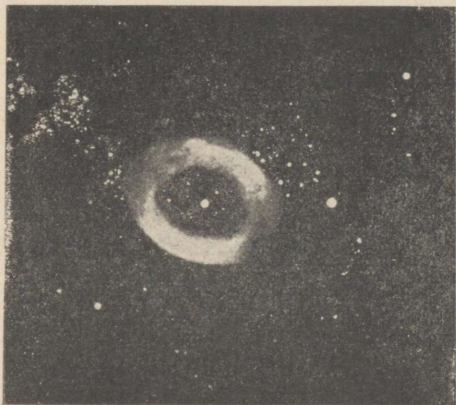
Hoolimata suurest massist on aga Galaktika aine keskmine tihedus niivõrd väike, et ühe kuupkilomeetri kohta tuleb ainult 0,00005 milligrammi ainet.

Tuleb lugeda tõenäoliseks, et Linnutee tähed pole esialgsest suurest udukogust tihenemise teel tekkinud üheaegselt, vaid on kujunenud erisugustel ajamomentidel. Väga pika aja jooksul tähtede sisemine ehitus, aine jaotus tähesüsteemis ja üksikute tähtede liikumisteede kujud muutuvad, mistõttu aja jooksul muutub ka tähesüsteemi üldine välimus.

1. Kui meie Päikest kujutella nõõpnõelapeana, läbimõõdus 1 mm, kui kaugele sellest, samas mõõtkavas võetud, tuleks asetada meie lähim täht α Centauri, umbes samasuguse nõõpnõelapeana nagu Päikegi? (Vastus: 27,5 km.)

2. Kujutelles päikesesüsteemi läbimõõtu (Pluto tee) ühe millimeetrina, kui suurena peaks samas mõõtkavas esinema linnutee süsteemi läbimõõti? (Vastus: ~ 80 km.)

115. Udukogud ja nende liigitus. Peale tähtede esinevad Maa- ilma avaruses veel nn. **udukogud** ehk **udud**. Taevavõlvil pais-



Joon. 112. Planetaarne rõngakujuline udukogu Lüüra tähttkujus.

tavad nad kui nõrga valgusega tuhmilt helendavad udu- või pilvetaolised lai- gud, mida nähakse pikksil- made abil. Kuid iseäranis palju avastati neid foto- graafilisel teel.

W. Herschel, kes oma suurte teleskoopidega avastas palju täheparvi, mis palja silma või nõrgajõulise pikk- silma abil vaadates paistsid udusarnaste laikudena, pidas esialgu võimalikuks, et kõik udukogud laguneksid tähtedeks, kui aga tarvitatava pikksilma optiline lahutusvõime oleks kül- lalt tugev. Kuid hiljem pidi ta

oma arvamust muutma, pannes tähele, et on olemas tähti, mis on ümbrit- setud udulise pärjaga. Niisugune tõsiasi viis Herscheli otsusele, et udu- sarnane aine tõeliselt esineb maailmaruumis ja et täht on selle uduga ühen- duses, millest ta arvatavasti koondumise teel on tekkinud.

Herscheli arvamus, et on olemas tõelisi udukogusid, tõestati alles pärast spektrilise analüüsi meetodi tarvituselevõtmist. Tuli ilmsiks, et paljude udukogude spekter on tüüpiline gaasiline spekter — üksikute heledate joontega. Spekter avastas ka tut- tavaid aineid (vesinik, hapnik, lämmastik) udukogudes.

Oma välise kuju ja ilme poolest võib udukogusid jaotada järg- misteks liikideks:

① Planetaarsed gaasilised udud korrapärase ringi või ellipsi kujuga, mis sarnaneb planeedi kettaga. Nende

liiki kuulub näiteks ka rõngakujuline udukogu Lüüra tähtkujus (joon. 112). Planetaarsete udukogude keskmises osas nähakse sagedasti udulisi tähti või tihendeid, millede mass Päikesega võrreldes on palju suurem ja temperatuur kõrge ($\sim 20\,000^\circ$). Nende udukogude välisnägu — tsentraalne tihend, mida ümbritsevad rõngad — tuletab meelde päikesesüsteemi sündimise pilti üldtuttava Kant-Laplace'i hüpoteesi järgi, olgugi et nad on palju suuremad kui päikesesüsteem.

2) Gaasiliste udu-
de liiki kuuluvad ka nn. korrapäratud udu-
d; need on laialipaisatud pilvesarnased helendavad gaasimassid, mis katavad sageli taevavõlvi laias ulatuses, nagu näiteks nn. kuul-
Orioni udukogu (joon. 113). Sellel udukogul on füüsiline ühendus temas paistvate tähtedega, mis arvatavasti tihene-
mise teel udust on kujunenud.

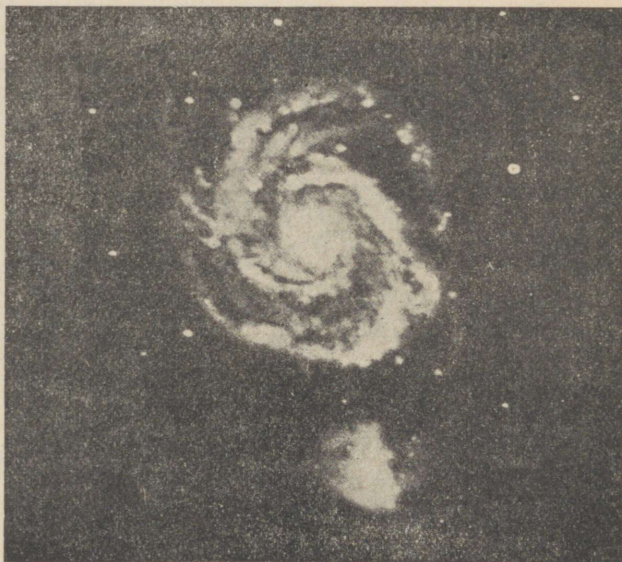


Joon. 113. Orioni udukogu.

3) Tumedad udu-
d, millede ole-
masolu võib järeldada sellest, et siin-seal täherikkail taeva-alädel esinevad kohad, kus tähtede arv võrreldes ümbrusega on silmapaistvalt väike. Sel juhul on tegemist tumedate, nn. kosmilise tolmu (meteooride) või ka gaasimassidega, mis ei lase läbi nende taga olevate tähtede valgust. On põhjust oletada, et tumedate udukogude määratu suured massid gravitatsioonilise tõmbumise

tulemusena eraldavad soojust ja muutuvad helendavaiks korrapäraseks udukogudeks, millest hiljem arenevad tähed.

4) Spiraalikujulised ehk spiraal-udukogud. Nende spekter on Päikese ja tähtede spektri sarnane, millest järeneb, et nad ei koosne hõredaist gaasidest nagu planeeditaolised ja korrapärase udud. Spiraal-udukogud on ainult näiliselt nebuloosse ehk udulise mateeria tombud. Tõeliselt aga on



Joon. 114. Spiraal-udukogu.

nad tohutult suured, väga kauged tähtede parved. Suure kauguse tõttu asetsevad tähed näiliselt üksteisele nii ligi, et pikksilm ei suuda neid üksteisest eraldada. Üks silmapaistvamaid ja meile võrdlemisi ligemaid on Andromeda udukogu (joon. 109), mille kaugus on ligi miljon valgusaastat. Spiraal-udukogude kosmiline asend ja tähtsus on hoopis teistsugune kui eelmistel liikidel. Nad esinevad Linnutee süsteemist väljaspool ning oma suuruselt ja ehituselt on nad umbes selle sarnased.

116. Välisgalaktilised tähesüsteemid. Linnutee on hiiglasuur täheparv korrapärase ehitusega, ruumis lõplikult piiratud füüsiline tervik. Nüüd tekib küsimus, kas on olemas veel teisi selletaolisi tähesüsteeme Maailma avaruses. Uuemad uurimised näitavad, et meie Linnutee tähesüsteem, s. o. Galaktika, ei ole ainuke selletaoline nähtus, vaid et miljonite valgusaastate kaugusel meist leidub palju teisi meie tähesüsteemiga sarnaseid miljardite tähtede peresid (joon. 115). Sellised tähesüsteemid asu-



Joon. 115. Üks välisgalaktilisi udukogusid, vaadatuna servalt. Niisugusena arvatavasti paistaks ka meie tähesüsteem, kui seda oleks võimalik vaadelda väljastpoolt mõne miljoni valgusaasta kaugusest.

vad kaugel väljaspool Linnutee täheparve ja neid kutsutakse seepärast välis- ehk ekstragalaktilisteks tähesüsteemideks. Meile paistavad nad nõrkade uduliste laikudena (udukogudena) tumedal taevavõlvi taustal. Neil on sfääriline või ellipsoidiline kuju, milles võib tähele panna rõngastest või spiraalidest koosnevat struktuuri. Need on nn. spiraal-udukogud. Pikksilmaga saab neist näha paljusid ja praegusaja suuremate teleskoopide abil fotograafides on võimalik neid avastada miljoneid.

Väärib märkimist, et välisgalaktilisi tähesüsteeme pole näha Linnutee vöös. Galaktilise tähesüsteemi tasapinnas hajutatud

gaasiline ja tolmusarnane aine neelab valguskiiri ja nõrgendab või ei lase üldse tajuda selle taga asetsevate tähtede valgust.

Üks tuntumaid välisgalaktilisi tähesüsteeme on *Andromeda* udukogu (joon. 109), mis udulise laiguna on näha ka palja silmaga. See tähesüsteem on oma suuruselt ja ehituselt umbes võrdne ja samaväärne Galaktikaga.

Samuti kui üksikud tähed rühmituvad täheparvedeks, nõnda ka üksikud tähesüsteemid ehk galaktikad rühmituvad suuremaiks koondisteks, kõrgema järgu süsteemideks. Niisuguseid galaktikate sagaraid on avastatud mitmes kohas taevavõlvil, näiteks *Veronika Juuste* ja *Neitsi ning Pegasuse* tähtkujus.

Kõik need tähtede süsteemid on meist kümneid ja sadasid miljoneid (!) valgusaastaid kaugel. Rakendades järjest valgusvõimsamaid pikksilmi Maailma uurimiseks, kasvab ühes sellega meie nägemisvõime ja avardub meie kujutus Maailmast kui kindlaile looduseadustele alistatud ning korrastatud tervikust. Selles muutuvad aine ja energia lakkamatult ühest vormist teise ja Maailm elab oma elu lõpmatus liikumises ning arengus.

XIX. Elu võimalikkusest taevakehadel.

Mõte elu võimalikkusest teistel taevakehadel tekkis järeldusena Kopernikuse õpetusest, mille järgi meie Maa on üks planeete, mis tiirleb ümber Päikese, ja Päike ise on üks miljoneist tähtedest piiramatus maailmaruumis. Kui elu on puhkenud ja esineb väga paljudes vormides Maa peal, siis paistab loomulikuna, et elunähtused võiksid ilmuda ka teistel Maa-taolistel taevakehadel.

Küsimusele, kas taevakehadel on elu, pole vaatlev teadus astronoomia suutnud anda otsest vastust, sest taevakehad on meist väga kaugel. Küll võime aga uurida, kas tingimused mõnel taevakehal on sellised, et elu, kui ta seal on tekkinud, võiks säilida ja edasi areneda. Et mõnel planeedil võiksid olelda elusolendid, peaksid selleks olema täidetud teatavad minimaal-

sed eeltingimused, mis on tarvilikud taimede kasvamiseks, mil-
ledest omakorda sõltub loomariigi elu. Selleks peab planeet
omama toiteaineid sisaldavat kindlat kamarat ehk kõva koort
nagu Maakeragi, pinnal vett vedelas olekus ja teda ümbritsevat
gaasilist atmosfääri. Planeedi pinnal peab valitsema teatava
kõrgusega temperatuur, mis võib kõikuda vaid kitsais piirides.
Tema paraja intensiivsusega valgustatud pinnal peavad pika aja
kestel muutumatult valitsema ühed ning samad looduslikud tin-
gimused.

Kuigi eluprotsessides väga rõhuvas enamikus ilmneb hapniku
suur tähtsus, pole nende eeltingimuste hulgas, mis on tarvilikud
elu säilitamiseks, mainitud hapnikku, sest et on avastatud ka
nn. väävli- ja rauabakterid, mis ilmtingimata ei vaja seda tähtsat
keemilist elementi.

Kui küsida, missugustel planeetidel meie päikesesüsteemis
nende looduslikud tingimused võimaldaksid elu edasikestmist,
siis jääb meile vaid kaks planeeti — Veenus ja Mars. Teiste
pinnal puudub kas vesi ning õhkkond (Kuu, asteroidid)
või valitseb liiga suur palavus (Merkuur) või külmus (Jupi-
ter jt.). Veenuse temperatuur, mis Maakera omast on tundu-
valt kõrgem, umbes nagu meil sauna leilis, ei tee elu arenemist
täitsa võimatuks. Veenusel on ka tihe ja ulatuslik õhkkond, mis
on seevõrd pilvedega täidetud, et need ei lase meie pilku tun-
gida selle planeedi pinnani. Sellepärast on meil võimata Vee-
nuse pinnal tajuda üksikasju peale helevalge pilveloori, mis
katab kõike Veenuse pinda. Kuid selles atmosfääris pole spekt-
roskoobiliselt avastatud hapnikku ja veeauru. Kuna Veenuse
pilvede kiht ulatub kõrgele, ligi 30 km planeedi pinnalt, siis vee-
auru puudumine nende pilvede kohal, ainult milledeni meie pilk
võib küündida, ei tähenda veel, et vesi Veenusel üldse puuduks.
Ümberpöörduvalt on koguni tõenäoline, et Veenuse pilved koosnevad
veeaurust tekkinud udust. Peale selle on Veenuse õhk-
konnas avastatud süsihappegaas. Niisugused olud, mis praegu
kehivad Veenusel, valitsesid kauges minevikus mitusada miljo-
nit aastat tagasi ka meie Maal. Kuigi hapnik Veenusel näib

puuduvat, võib teda vahest siiski esineda seal nii vähesel määral, et mõned ürgtaimed võiksid võrsuda. Planeedi edaspidises arengus pilved järjest rohkem haihtuvad ja päikesekiired pääsevad taimedeni, millede rohelised klorofülli-rakukesed valguskiirte kaasmõjul lahutavad õhkkonnast sissehingatud süsihappegaasi (CO_2) süsinikuks ja hapnikuks. Seejuures süsinik kulub taimerakkude ülesehitamiseks, kuna hapnik läheb vaba hapniku fondi suurendamiseks atmosfääri tagasi. Atmosfääri hapnik aga näib olevat kõrgema loomalise ja intelligentse elu väljakujunemise eelduseks.

Kuid kõigist planeetidest pinnaehituselt kõige rohkem sarnane Maaga näib planeet *M a r s s*. Marsil on kindel kamar, millel võib täheldada mitmesuguseid arvukaid üksikasju. Samuti on tal atmosfäär, kuigi see meie omast on palju hõredam. Atmosfääris ilmneb vahel pilvi ja selle koostises esineb nii hapnikku kui veeauru, kuigi palju vähemal hulgal kui Maa õhkkonnas. Pinna temperatuur on madalam kui meil, kuid mõnes kohas võib tõusta üle nulli. Seejärgi näib Marss üldiselt olevat kuiv ja külm kõrb, kus elu võimalikkus siiski ei puudu. Kui Veenus kujutab Maakera arenemisastet minevikus, siis Marss arvata-vasti manab meie silmade ette Maakera arenemise tuleviku pildi.

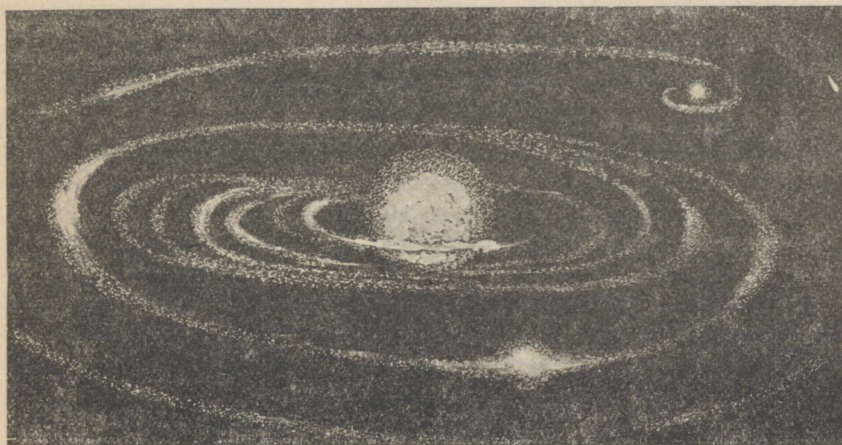
Olgugi elu esinemise võimalikkus teistel planeetidel üsna tagasihoidlik, võib siiski oma pinnal elusolendeid kandvate maailmade arv universumis olla õige suur, arvestades tähti kui teisi päikesi ühes nende ümber tiirlevate planeetidega.

Meie Linnutee tähtede süsteemis arvatakse olevat ligi 200 miljardit tähte. Kõige valgusvõimelisemaile pikksilmadele kättesaadavas ruumiulatuses loetakse umbes 75 miljonit sellist tähesüsteemi, nagu seda on meie Linnutee ehk Galaktika. Sellest järeldub, et meie uurimistele kättesaadavas maailmaruumi osas on $15 \cdot 10^{19}$ tähte-päikest. Kui seejuures mõnda, et neist päikestest ainult ühel miljondikul osal oleks olemas planeetide pered, milledele nad annavad energiat ja milledest vähemalt ühelainsal oleks puhkenud elu imepärane tuluke, siis saaksime tulemu-

senä arvu 15 000 miljardit eluga ehitud taevakeha. Kuid kõik need loendatud tähesüsteemid moodustavad vaid osakese suurest universumist, mille ulatus kasvab ühes meie optiliste riistade tehnikaga ja suurepärusus ühes meie uuriva mõistusega.

XX. Kosmoloogilisi hüpoteese.

117. Kant-Laplace'i nebulaarhüpotees ja teisi vaateid. Väga suure tõenäolisusega võib arvata, et korrapärusus, mis esineb päikesesüsteemi ehituses, ei võinud ilmuda juhuslikult. Selle korra-



Joon. 116. Päikesesüsteemi kujunemine nebulaarhüpoteesi järgi.

pärasuse seletamiseks avaldasid saksa filosoof Kant (1724—1804) ja prantsuse matemaatik Laplace (1749—1827) üldjoontes teineteise sarnaseid mõtteid, millede järgi päikesesüsteemi liikmed on aja jooksul tekkinud kosmilise tolmu ja meteoriitide (Kant) või gaasi (Laplace) pilvest, mis kord esines meie päikesesüsteemi asemel.

Laplace'i järgi arenes päikesesüsteem esialgselt udugust, mis oli hõõguvalt palav ja ulatus Päikesest vähemalt kuni kõige kaugemate planeetideni. Ta võis kujult sarnaneda kera-

kujuliste udukogudega, milliseid juba W. Herschel õige palju tundis. Selline udukogu oli pöörlevas liikumises; ta koosnes võrdlemisi tihedast tuumast, millest hiljem kujunes Päike, ja seda ümbritsevast hõredamast õhkkonnast, millest said oma alguse planeedid.

Jahtudes tõmbus udukogu aegamisi koomale. Mehaanika-seaduste põhjal liikumise hulk ei võinud seejuures muutuda, vaid udukogu aine tsentrile lähemale koondudes pidi aja jooksul kiiremini pöörlema hakkama, nii et udukogu, mis esialgu püsis kerakujulisena, muutus ikka lapikumaks. Tema teljelt kõige enam eemaldunud osades (ekvaatoril), mis liikusid suurima lineaarse kiirusega, omandas kesktõuketung viimaks suuruse, mis võrdus külgetõmbega. Siis sai uduline rõngakujuline mass iseisivsuse ja eraldus udukogu edasisel koondumisel viimasest täiesti. Ta tihenes hiljem keraliseks tombuks, millest kujunes planeet. Kuid udukogu jahtumisel koondus see ise ikka enam ja enam ning hakkas kiiremini pöörlema. See viis järjest uute rõngaste eraldumisele ja neist uute planeetide sündimisele. Kaaslased võisid tekkida planeedi udutombust umbes samal viisil.

Nõnda seletuks kooskõla päikesesüsteemi ehituses üldiselt õige rahuldavalt, kui mitte mõnede päikesesüsteemis esinevate iseärasuste seletamine ei tekitaks raskusi ega nõuaks uusi täiendusi. Näit. jääb arusaamatuks, miks planeetide liikumise keskmine tasapind, s. o. ligikaudu ekliptika, ei ühti Päikese ekvaatori tasapinnaga. Seepärast on uueal ajal tähelepanu äratanud hüpotees, mille esitas astrofüüsik J e a n s. Selle järgi päikesesüsteem tekkis väljastpoolt mõjuvate jõudude tegevusel. Mõne miljardi aasta eest läks meie Päikese ligidalt mööda üks teine päike (täht). Viimase tõmbetungi mõjul tekkisid meie Päikeses hiiglasuured tõusu- ja mõõnalained, mis paiskasid ainet Päikese kehast eemale ruumi. Paisatud aine osad tiirlesid ümber Päikese ja tihenesid vedelaks või kõvaks; edaspidiseil kokkupõrkeil, ühinemisel ja koondumisel arenesid neist aegamisi planeedid (joon. 117). — Kuna tähtede kohtumised neid eraldavate väga suurte kauguste tõttu on äärmiselt haruldased, siis peaks ka planeetide tek-

kimine tähtedel esinema ülimal määral haruldase sündmusena Uusimad vaatlused aga näivad osutavat vastupidist. Sellest järgneb, et ka J e a n s'i vaateisse nende autori poolt avaldatud kujul tuleb suhtuda tagasihoidlikkusega.

118. Linnutee ja teiste selletaoliste tähesüsteemide arenemisest. Mõnede teadlaste poolt nebulaarhüpoteesile tehtud täienduste järgi võisid planeedid tekkida esialgse u d u k o g u s e e s, mitte aga selle piiridel, nagu arvas Laplace. Sellisel kujul omab see hüpotees suuremat tähtsust ja tõenäolisust ning seda võib viljakalt rakendada ka väga suurte kosmiliste moodustiste arengu seletamiseks, nagu seda on Linnutee ja teised temasar-nased tähesüsteemid.

Tähtede-maailma arengu vaatlemisel lähtutakse harilikult seisukorrast, milles väga hõre nebulaarne (*nebula* = udu) aine kosmilise tolmu või gaasiosakeste näol täidab peaaegu ühtlaselt maailmaruumi määratu suurt osa. Et hajutatud kosmiline aine on gravitatsiooniliselt ebastabiilses tasakaalus, siis jaguneb ta üksikuiks suurteks pilvedeks, millede massid on umbes võrdsed meie Linnutee süsteemi massiga. Gravitatsioonilise külgetõmbe mõjul omandab tohutu suur mass keralise kuju, ja et osakeste liikumised selles massis pole tasakaalustatud, siis hakkab ta pika aja jooksul pöörlevalt liikuma. Seda liikumist võisid mõjutada või esile kutsuda ka lähemalasuvate samajärguliste suurte masside edasiliikumised ruumis. On aga udukogul pöörlemine ehk rotatsioon olemas, siis on paratamatu, et ta edasisel koondumisel järjest kiiremini pöörlema hakkab. Rööbiti sellise arengukäiguga muutub aga udukogu esialgne sfääriline kuju sferoidiliseks ja pöörlemise kiiruse kasvades järjest ikka lamedamaks. Sama protsessi käigul aga nebulaarne aine tiheneb ja koondub üksikuis kohtades tähtedeks. Need tähed jäljendavad oma edasisel liikumisel samasugust ruumilist jaotust, mis esines udukogu osakestel sel ajajärgul, kui neist tekkisid tähed.

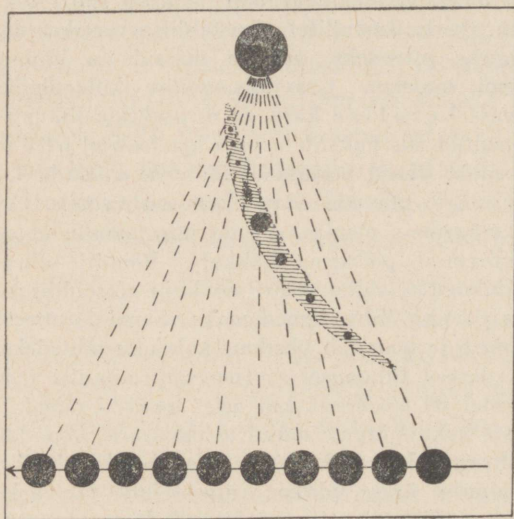
On tähelepanndav, et osakeste kokkupõrgete mõjul nebulaaraine koondus järjest Linnutee tasapinnale lähemale, kus tekkis selle aine tihendatud kiht. Praegusajal on umbes pool Linnutee ürgse udukogu ainest juba tähtedeks tihenendud, kuna aga muu osa kosmilise tolmaine näol püsib Linnutee tasapinnas võrdlemisi õhukese kihina. Analoogiline nähtus esineb meie päikesesüsteemis nn. zodiaagivalguse näol. Seda tekitavad väikesed kosmilise tolmaine osakesed, mis püsivad päikesesüsteemi tasapinnas ja hajutavad Päikese valgust. Vahe on vaid selles, et zodiaagivalgust põhjustav tolmaine moodustab suhteliselt väga väikese mürdosa kogu päikesesüsteemi massist.

Udukogu gaasi- ja tolmuosakesed kohtuvad üksteisega väga sagedasti, tähed aga äärmiselt harva. Sellest tuleb, et tähtede jaotus ruumis jääb kauaks püsima, sellal kui tolmaine osakeste jaotus muutub üha lamedamaks ja viimaks esineb peaaegu tasapinnalise kihina meie tähesüsteemi, s. o. Lin-

nutee tasapinna lähedal. Me võime niisugust nähtust tähele panna ka paljudes välisgalaktiilistes tähesüsteemides, kus nebulaarne aine esineb tumeda triibuna või vöödina (joon. 115).

Tähed, mis tekkisid niisugusest lamendatud ja ühtlasi tihedamast kihist, on nooremad ja keskmiselt suuremate massidega (valged ja heledad tähed nagu Siirius ja Veega) kui varemini sündinud tähed (kollased ja punased kääbustähed). Eelnevast järgneb ka, et esimeste tähtede liikumisteede tasapindade ja Linnutee tasapinna vahel peaksid olema vähemad nurgad kui kollastel ja punastel kääbustähtedel, mida üldiselt tõendavad ka vaatlused.

Seesuguste kosmogooniiliste vaadete tõepärasust kinnitavad tähtede ruumilise jaotuse ja liikumise uurimised ning aatomifüüsikal põhinev tähtede evolutsiooniteooria. Kõrvutades looduse tõelisi fakte esitatud kosmogooniiliste vaadetega, leiame nende vahel tähelepanuväärivalt rahuldava kooskõla.



Joon. 117. Plancetide tekkimise skeem
Jeansi järgi.

119. Maailma ehituse ja kosmogooniiliste hüpoteeside mõju maailma-vaatele. Astronoomia teaduse areng viis inimkonna mõtlevat osa sellele veendumusele, et maailm tervikuna ja oma osades on väga korrapärane ehitis ning et kõikjal valitsevad kindlad loodusseadused. Seesugune arusaamine loodusest, mis on kauase tähelepaneliku vaatluse ja sihikindla mõtlemise vilil, avaldas inim-

soo kultuurile otsustavat ja väga sügavale ulatuvat mõju. Esiaegsel inimesel, samuti ka varasemal kultuurrahvail nagu kaldealastel, egiptlastel, juutidel, hiljem osalt ka kreeklastel, araablastel ja teistel ei võinud maailma ehituse teadlikust tunnetamisest esiotsa veel aimugi olla. Lihtsameelne inimene, olles liiati oma vahetu mulje ja kujutelmade mõju all, pidas Maad kõige

oleva näitelavaks ja iseennast selle keskseks tegelaseks. Tema üle laotus pöörlev taevavõlv, mille külge olid kinnitatud Päike, Kuu, planeedid ja tähed ja mis mingisuguste poolmüüdliliste olen-ditena omasid tähtsust ainult inimese jaoks. Selle taevavõlvi ehk taevalaotuse taga aga asetseb empireum, taevane „paradiis“ või „õndsate eluase“, valitsetav vaimude ja jumalate poolt. Väga palju sellest legendide ja müütide ainekust esineb ka Piiblis ja on sellest hiljem siirdunud ristiusu kujutluste valda. Seesugu-seil naiivseil kujutlusil õitseb ebausik ja põhineb ebateadus — astroloogia. Need kujutlused, kuigi neil oli omal ajal suur võlu-vus hulkade jaoks, ei jätnud takistavat mõju avaldamata vabale, tõtt otsivale teaduslikule uurimisele ja maailmavaate kujunemi-sele loodusteaduslikul alusel. Eriti ilmnes see võitlus keskaegse kiriku usudogmade ja uusaja teaduslikest avastusist sündinud ideede kokkupõrkel, iseäranis Kopernikuse, Giordano Bruno ja Galilei ajal. Sellest võitlusest tuli võitjana välja täpsel loodusteaduslikul uurimisel põhinev maailmavaade. Viimase järgi on Päike harilik täht miljardite tähtede keskel ja inime-ne elab Maakeral kui ühel kaduv-väikesel saarekesel otsatus maailmaruumis (universumis), milles rangete seaduste järgi toi-mub alatasa aine liikumine ja energia ümbermuutumine. Nõnda on maailm korrapäraselt ehitatud tervik, mida on võimalik tun-netada täppisteaduste meetodite abil, nii et „üleloomulik“ ja nn. „ime“ on sellest kõrvaldatud. „Ime on selles, et imet ei sünni,“ ütles kuulus matemaatik H. Poincaré. Maailm ise oma kõik-suses on imepärane seega, et ta on kooskõlaline ja alistatud ran-geile loodusseadustele.

Kuid mitte ainult maailma ehitus ei saanud kättesaadavaks inimese mõistusele, vaid viimaks ka see protsess, mis viib maailma muutusele pika aja jooksul. See on maailma arengu, evolutsiooni ehk kosmogooniline probleem. Ka sellel alal tõi lihtsa-meelse inimese kujutus esile hulga vaateid, mis pole kooskõlas täpse loodusteadusliku seletusega, eriti nn. „maailma loomise“ legendide näol. Maailm nagu oleks loodud äkitselt mitte mil-lestki ühe antropomorfilise, inimesesarnase olendi mõjutusel.

Teaduslik kosmogoonia kui astronoomia teaduse noorem, hilisem osa, ei saaks edasi sellise oletusega, kuid ta loob „hüpoteese“, rakendades laialdast teaduslikku vaatlusmaterjali ühelt poolt ja täppisteaduste — matemaatika, füüsika, keemia seadusi ja arvu- lisi andmeid teiselt poolt. „Andke mulle mateeria ja ma ehitan teile sellest maailma,“ ütles juba I. K a n t oma 1755. a. ilmunud kosmogoonilises teoses, kuigi ta oma tuntud hüpoteesi puhul päikesesüsteemi tekkimisest ei saanud arvestada aine ja energia seadusi, mis alles pärast avastati; toetudes peamiselt Newton'i gravitatsiooniseadusele lõi ta juba viljaka kosmogoonilise sele- tuse, mille ideed järjest arenedes, teisenedes ja täienedes on suutnud meile tänini anda juba küllalt selge pildi tähistaeva evo- lutsioonist. Teadus töötab „hüpoteesidega“, üha peenendades ja täiendades neid, et nõndaviisi järjest läheneda konkreetse tõe- lisuse tunnetamisele. Eriti viimased aastakümned ja viimased aastad on meid viinud palju edasi ja meile avastanud enneaima- matuid, kauneid ja ühtlasi haaravaid perspektiive (tähtede evo- lutsioon, „uute“ tähtede teooria jm.) suurtest loodusjõududest, nende mõjumisviisidest ja seadustest.

Tabeleid.

1. Planeetide teede asend, kuju, suurus ja tiirlemisperioodid.

	Keskmine kaugus Päikesest		Tiirlemisperiood aastais ja keskm. päevades		Keskmine liikumise kiirus km/sek	Tee tasapinna kalle ekliptika suhtes
	Miljoneis km	Astron. ühikuis	Sideeriline	Sünoodiline		
Merkuur	57,85	0,387	87 ^d ,969	115 ^d ,88	47,8	7° 0'
Veenus	108,10	0,723	224 ^d ,701	583,92	35,0	3° 24'
Maa	149,45	1,000	365 ^d ,256	—	29,8	0° 0'
Marss	227,72	1,524	686 ^d ,980	779,94	24,1	1° 51'
Jupiter	777,6	5,203	11 ^a 315 ^d	398,88	13,3	1° 18'
Saturn	1425,6	9,539	29 ^a 167 ^d	378,09	9,6	2° 29'
Uuran	2868,1	19,191	84 ^a 7 ^d	369,66	6,8	0° 46'
Neptuun	4494,1	30,071	164 ^a 280 ^d	367,49	5,4	1° 47'
Pluto	5950	39,5	248 ^a	366,74	4,7	17° 9'

2. Päikesesüsteemi kehade ehitus.

	Pöörlemisperiood	Ekvaatoriline läbimõõt (Maa=1)	Ruumala (Maa=1)	M a s s (Maa=1)	Raskus pinnal	Tihedus		Albeedo
						Maa=1	Vesi=1	
Päike . .	25 ^d —27 ^d	109,1	1 300 000	331 950	27,89	0,256	1,41	—
Merkuur	88 ^d	0,39	0,06	0,04	0,27	0,70	3,8	0,07
Veenus .	?	0,973	0,92	0,81	0,85	0,88	4,86	0,59
Maa . .	23 ^h 56 ^m 4 ^s	1,000	1,00	1,000	1,00	1,00	5,52	0,45 ?
Marss . .	24 ^h 37 ^m 23 ^s	0,531	0,15	0,108	0,38	0,72	3,96	0,15
Jupiter .	9 ^h 50 ^m	10,95	1312	316,94	2,64	0,24	1,34	0,44
Saturn .	10 ^h 14 ^m	9,02	734	94,9	1,17	0,13	0,71	0,42
Uuran .	10 ^h ,7	4,00	64	14,66	0,92	0,23	1,27	0,45 ?
Neptuun	15 (?)	3,92	60	17,16	1,12	0,29	1,58	0,52
Kuu . .	27 ^d ₃	0,273	0,0203	$\frac{1}{84}$	0,17	0,60	3,33	0,07

Märkus: Pluto kohta vastavad täpsemad andmed veel puuduvad.

3. Heledamate tähtede asendid (1942. a.).

N i m i	Suurus	α	δ
α Andromedae	2,2	Ot 5,4m	+28° 46'
β Cassiopejæ	2,4	0 6,1	+58 50
α Cassiopejæ	2,5 muutuv)	0 37,2	+56 13
ϵ Eridani (Achernar)	0,6	1 35,6	-57 32
γ Andromedae	2,3 ja 5,1	2 0,3	+42 3
α Arietis	2,2	2 3,9	+23 11
β Persei (Algol)	2,3-3,8	3 4,4	+40 44
η Tauri (Alcyone)	3,0	3 44,0	+23 56
α Tauri (Aldebaran)	1,1	4 32,6	+16 24
β Orionis (Rigel)	0,3	5 11,7	- 8 16
α Aurigæ (Kapella)	0,2	5 12,4	+45 56
γ Orionis (Bellatrix)	1,7	5 22,0	+ 6 18
α Orionis (Betelgeuse)	0,9	5 51,5	+ 7 24
α Carinæ (Kanopus)	- ,09	6 22,7	-52 40
α Canis Majoris (Siirius)	-1,6	6 42,6	-16 38
α Geminorum (Castor)	1,6	7 30,9	+32 1
α Canis Min. (Procyon)	0,5	7 36,4	+ 5 23
β Geminorum (Pollux)	1,2	7 41,8	+28 10
α Hydrae (Alphard)	2,2	9 24,7	- 8 24
α Leonis (Regulus)	1,3	10 5,3	+12 15
β Ursæ Majoris	2,4	10 53,4	+56 42
α Ursæ Majoris	2,0	11 0,2	+62 4
β Leonis (Denebola)	2,2	11 46,1	+14 54
ϵ Ursæ Maj. (Alioth)	1,7	12 51,5	+56 16
α Virginis (Spica)	1,2	13 22,1	-10 52
α Bootis (Arktuurus)	0,2	14 13,0	+19 29
α Centauri	0,1	14 35,6	-60 36
α Cor. borealis (Gemma)	2,3	15 32,2	+26 55
α Scorpii (Antares)	1,2	16 25,8	-26 18
α Ophiuchi	2,1	17 32,2	+12 36
γ Draconis	2,4	17 55,3	+51 30
α Lyrae (Veega)	0,1	18 35,0	+38 44
α Aquilæ (Altair)	0,9	19 48,0	+ 8 43
α Cygni (Deneb)	1,3	20 39,5	+45 4
α Piscis Australis (Fomalhaut)	1,3	22 54,5	-29 56

4. Kõige heledamate tähtede kaugus valgusaastais.

Tähe nimi	Suurus	Kaugus	Tähe nimi	Suurus	Kaugus
Siirius	—1,6	9,0	β Centauri	0,9	82
Kanopus	—0,9	652	Betelgeuse	0,9	192
Veega	0,1	27	Aldebaran	1,1	59
Arktuurus	0,2	41	Spica	1,2	362
Kapella	0,2	49	Pollux	1,2	33
Rigel	0,3	543	Antares	1,2	125
α Centauri	0,1	4,3	Deneb	1,3	652
Procyon	0,5	10	Regulus	1,3	60
Achernar	0,6	61	Fomalhaut	1,4	23
Altaär	0,9	16			

5. Mõnede tähtsamate linnade geograafilised koordinaadid.

Pikkus Greenwich'ist ida poole arvatult 0^h—24^h.

Nimi	Geogr. laius	Geogr. pikkus		Nimi	Geogr. laius	Geogr. pikkus	
		h	m			h	m
Arhangelsk	+64 ^o 32'	2	41	Melbourne	—37 ^o 50'	9	39,9
Ašhabad	+37 45	3	53	Minsk	+53 54	1	50
Ateena	+37 38	1	34,9	Moskva	+55 45	2	30,3
Berliin	+52 24	0	52,4	New York	+40 45	19	4,1
Bombay	+18 54	4	51,3	Pariis	+48 50	0	9,3
Brüssel	+50 48	0	17,4	Riia	+56 54	1	36,5
Budapest	+47 29	1	16,2	Rio de Janeiro	—22 53	21	7,1
Capetown	—33 56	1	13,9	Rooma	+41 54	0	49,9
Genf	+45 12	0	24,6	San Francisco	+37 47	15	50,3
Helsingi	+60 10	1	39,8	Stokholm	+59 21	1	12,2
Kairo	+30 5	2	5,1	Taškent	+41 20	4	37
Kiiev	+50 27	2	2	Tbilisi	+41 43	2	59
Kopenhaagen	+55 41	0	50,3	Tokio	+35 40	9	18,2
La Plata	—34 55	20	8,2	Tomsk	+56 29	5	40
Leningrad	+59 56	2	1,2	Varssavi	+52 13	1	24,0
Lissabon	+38 43	23	23,3	Washington	+38 55	18	51,7
London (Greenwich)	+51 29	0	0	Verhojansk	+67 33	8	53
Madras	+13 4	5	21,0	Viin	+48 14	1	5,4
Madrid	+40 24	23	45,2	Vladivostok	+43 7	8	47

6. Eesti NSV linnade geograafilised koordinaadid.

N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist	N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist
Antsla	57° 50'	1 46,2	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

7. Tähtsamate tähtkujude ja tähtede nimed.

Peale teadusliku (ladinakeelse) nime on antud ka eestikeelne, kui see erineb esimesest; sulgudes on antud vanad rahvapärased nimed.

- | | |
|---|--|
| 1. Andromeda | 8. Canis Minor, Väike Peni |
| 2. Aquarius, Veevalaja | 9. Capricornus, Kaljukits |
| 3. Aquila, Kotkas (Vanad
Sauatähed, Jaani Kepp) | 10. Cassiopeia, Kassiopia
(Vardatähed) |
| 4. Aries, Jäär | 11. Centaurus, Kentaur |
| 5. Auriga, Veomees
Capella, Kapella | 12. Corona borealis, Põhja-
kroon (Kuhjalava, Taeva-
tahr) |
| 6. Bootes, Karjane
Arcturus, Arktuurus | 13. Cygnus, Luik (Suur Rist) |
| 7. Canis Major, Suur Peni
Sirius, Siirius (Orjatăht) | |

- | | |
|---|---|
| 14. Delphinus, Delfiin ehk Pääsukala (Väike Rist, Peetri Rist) | 24. Perseus (Küünlapäevatähed) |
| 15. Draco, Lohe ehk Lendmadu | 25. Pisces, Kalad |
| 16. Gemini, Kaksikud | 26. Praesepe, Sõim (Vana Sõel, Moosese Sõel) |
| 17. Hercules, Herkules | 27. Sagittarius, Ambur |
| 18. Leo, Lõvi | 28. Scorpius, Skorpion |
| 19. Libra, Kaalud | 29. Taurus, Sõnn |
| 20. Lyra, Lüüra ehk Kannel (Vanad Reinad) Vega, Veega | Pleiades, Plejaadid (Sõel) Hyades, Hüaadid ehk Vihmatähed |
| 21. Orion (Koot ja Reha, Sauatähed, Orjatähed) Betelgeuse Rigel, Riigel | 30. Ursa Major, Suur Karu (Suur Vanker) |
| 22. Ophiuchus, Maokandja | 31. Ursa Minor, Väike Karu (Väike Vanker) |
| 23. Pegasus | Polaris, Põhjanael |
| | 32. Virgo, Neitsi |

NIMEDE JA MÖISTETE JUHATAJA.

- Aastaajad 46
 Aatomituuma muutumine 112
 Adams 95
 Aeroliidid 129
 Aja mõõtmine 49
 Ajaarvamise algus 62
 Ajavõrrand 54
 Albeedo 115, 165
 Aldebaran 156
 Algol 140
 Ambur, tähtkuju 150
 Andromeda, udukogu 149
 Apeks 145
 Aristarchos 22
 Aristoteles 27
 Arktuurus 156
 Asimuut 15
 Asteroidid 98, 120
 Astrofotomeetria 95, 152
 Astrofüüsika 95
 Astronoomia 5
- Barnard 122
 Biela komeet 128
 Bode-Titiuse seadus 96
 Boliidid 129
 Bruno, Giordano 78, 165
- Daatumi raja 57
 Deferent 76
 Deklinatsioon 17
 Demokritos 147
 Donati komeet 126
- Ekliptika 40
 Ekvaatorilised koordinaadid 17
 Ekvatoriaal 18
 Elu võimalikkusest 156
 Encke komeet 128
 Epitsükkel 76
 Eratosthenes 52
- Fotosfäär 100
 Foucault' pendlikatse 25
 Fraunhoferi refraktor 19
- Galaktika 148
 Galaktika pöörlemine 151
 Galaktiline koondus 149
 Galaktiline süsteem 148
 Galilei 78, 163
 Galle 95
 Geograafiline laius 50
 Geograafiline pikkus 50
 Geogr. koordinaadid 29
 Geoid 57
 Gnoomon 16
 Gravitatsioonikonstant 89
 Gravitatsiooniseadus 88
 Gravitatsioonitug 86
- Hall 119
 Halley 142
 Halley komeet 127, 128
 Heledamate tähtede asendid 166
 Helmholtz 111
 Herschel 92, 125, 159, 144, 150
 Hiidtähed 157
 Hipparch 141
 Horisondilised koordinaadid 14
 Horisont, matemaatiline 4
 Horisont, nähtav 4
 Huygens 125
 Hüaadid 146
- Ida-Euroopa kellaeg 57
- Jeans 160, 162
 Jupiter 120
 Jupiteri süsteem 121
- Kaaslased 94
 Kaksiktähed 158

- Kalender, gregooriuse 60
 Kalender, juulise 60
 Kaljukitse pöörijoon 45
 Kant-Laplace'i nebulaarhüpotees 155,
 159
 Kapella 9, 156
 Kassiopeia 9
 Kepler 85, 85, 141
 Kepleri seadused 82
 Kerasparved 146
 Kesk-Euroopa kellaag 57
 Keskmine päikeseaeg 55
 Keskpäevajoon 15
 Kevadpunkt 17
 Kinnistähed 6
 Kivimeteoriit 129
 Kodanlik aasta 59
 Kohalik aeg 52, 56
 Komeetid 8, 94
 Komeetid, perioodilised 128
 Komeedi keemiline koostis 127
 Komeedi kuju ja ehitus 125
 Komeedi spekter 127
 Komeedi tee ja liikumine 124
 Kopernikus 22, 85
 Kopernikuse süsteem 77
 Koronograaf 106
 Kosmos 5, 148
 Kulminatsiooni moment 14
 Kuu 5
 Kuu faasid 68
 Kuu kaugus Maast 62
 Kuu kraatrid ja tsirkid 115
 Kuu omaliikumine 39, 67
 Kuu pinnaehitus 112
 Kuu pöörlemine 71
 Kuu suurus 65
 Kuu tiirlemine 67
 Kuuvarjutused 75
 Kuud 94
 Kõrgus 15
 Käabustähed 137
 Kääne 17
 Lapikus 36
 Lendtähed 7, 128
 Leoniidid 150
 Leverrier 95
 Lihtaasta 60
 Linnutee 8, 147, 161
 Lisapäeva-aasta 60
 Loomavöö 45
 Lowell 95, 119
 Lääne-Euroopa kellaag 57
 Maa 94
 Maa kui pöördellipsoid 56
 Maa kuju 26
 Maa mass 89
 Maa pöörlemine 20
 Maa suurus 52
 Maa tihedus 89
 Maailm 5
 Maailma telg 15
 Magalhães 59
 Manala 27
 Marsi kanalid 119
 Marsi laigud 118
 Marss 118
 Mayer 111
 Meridiaan 15
 Merkuur 116
 Meteoovid 95, 128
 Meteoovide kraatrid 129
 Meteoovide voolud 150
 Meteoriidid 129
 Mira 141
 Mizar 159
 Moskva kellaag 57
 Mõõn 91
 Nadiir 15
 Neptuun 125
 Neptuuni avastamine 92
 Newton 86
 Nullmeridiaan 52
 Nurkraadius 65
 Orbiit 82
 Orioni udukogu 155
 Otsetõus 17
 Parallaks 64
 Parallaks, Kuu 64
 Parallaks, Päikese 64
 Parsek 134
 Perseiidid 150
 Perseus 9
 Planeedid 7, 94
 Planeedid, hiigel- 98
 Planeedid, Maa-sarnased 97
 Planeetide iaotus 97
 Planeetide kaugused 96
 Planeetide suurus 97
 Planeetide teede elemendid 165
 Planeetide tihedus 98
 Planetaarsed udud 152
 Planetoidid 94
 Platon 27

- Plejaadid 9,
 Pluto 92, 125
 Pluto avastamine 92
 Ptolemaios 76
 Ptolemaiose süsteem 76
 Põhjanaan 8
 Päeva pikkus 41
 Päike 5, 99
 Päikese energia 107
 Päikese faklid 102
 Päikese granulaatsioon 101
 Päikese kaugus Maast 62
 Päikese keemiline koostis 109
 Päikesekell 56
 Päikese kiirguse hulk 109
 Päikesekonstant 108
 Päikese kromosfäär 104
 Päikese kroon 106
 Päikese laigud 102
 Päikese mass 90, 99
 Päikese omaliikumine 59
 Päikese protuberantsid 105
 Päikese pöörlemine 105
 Päikese soojuse allikaid 110
 Päikese spekter 109
 Päikese suurus 65
 Päikesesüsteem 95
 Päikesesüsteemi edasiliikumine 145
 Päikesesüsteemi koostis 95
 Päikesesüsteemi korrapärasus 95
 Päikese temperatuur 108
 Päikese tihedus 99
 Päikesevarjutused 75
 Päikese õhkkond 105
 Päikese ümberpööratav kiht 104
 Pöörjooned 45

 Radiatsioonipunkt 151
 Radioaktiivsed ained 111
 Raudmeteoriit 129
 Rändtähed 6, 75

 Sabatähed 8, 94
 Saturn 122
 Saturni rõngas 122, 125
 Schiaparelli 151
 Seleukos 22
 Seneca 126
 Seniidikaugus 15
 Seniit 5
 Sideeriline kuu 70
 Siirius 155, 156
 Siseplaneedid 81
 Spektroheliograafiline meetod 110

 Spiraal-udukogud 154
 Struve 159
 Suur Karu ehk Suur Vanker 8
 Suure Vankri tähtede liikumine 144
 Sõel 9
 Sõlmedejoon 75
 Sünoodiline kuu 70

 Taeva ekvaator 15
 Täevakehade liigitus 5
 Taeva meridiaan 15
 Taeva paralleelid ehk rööbikud 14
 Taeva poolused 15
 Täevaskera 12
 Täevaskera pöörlemine 11, 20, 44
 Täevavõlv 4
 Teodoliit 16
 Toonela 27
 Triangulatsioonimeetod 55
 Troopiline aasta 59
 Tsefiidid 140
 Tuhkvalgus 70
 Tõeline päikeseaeg 55
 Tõus ja mõõn 91
 Täheaeg 49
 Tähed, arv 135
 Tähed, katmismuutlikud 140
 Tähed, mittelojuvad 44
 Tähed, mittetõusvad 44
 Tähed, muutlikud 159
 Tähekell 50
 Täheparved 145
 Tähesajud 151
 Tähesuurus 151
 Tähesüsteemide arenemine 161
 Tähe öö-päev 12, 49
 Tähtede aastaparallaks 66
 Tähtede absol. suurused 155
 Tähtede heledus 151
 Tähtede kattumine 68
 Tähtede kaugused 155
 Tähtede liikumine 142
 Tähtede omaliikumine 142
 Tähtede radiaalne kiirus 144
 Tähtede spekter 156
 Tähtede temperatuur 156
 Tähtede värvus 156
 Tähtkujud 8, 168
 Tycho Brahe 82, 141

 Udukogud ehk udud 152
 Universum 148
 Uued tähed 141
 Uran 125

- Vaatepiir, nähtav 4
Valged kääbused 158
Valgusaasta 154
Valgussekund 148
Varjutused 71
Vastasseis 82, 97
Veega 155, 156
Veenus 117
Veomees 9
Vähi pöörijoon 45
Väikesed planeedid 94, 97
Väike Vanker 9
Välgatusspekter 104
- Välisgalaktilised tähesüsteemid 155
Välisplaneedid 81
- Weber-Fechneri seadus 152
- Ühtlusaeg 56
Ülemine ühendus 97
- Zeemani efekt 105
Zodiaagi tähtkujud 45
Zodiaagivalgus 161
Zodiaagivöö 45
-

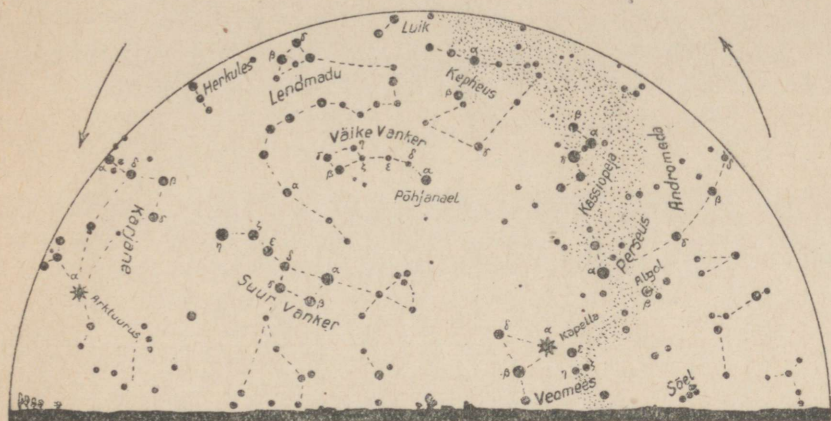
SISUKORD.

Lk.

I. Taevavõlv ja taevakehad.	5
1. Astronoomia ülesanne 3. — 2. Taevavõlv 4. — 3. Matemaatiline horisont 4. — 4. Taevakehade liigitus 5. — 5. Tähtkujud 8. — 6. Astronoomia tundmise tähtsus 9.	
II. Taevaskera pöörlemine ja taevakoordinaadid.	11
7. Taevaskera ööpäevane pöörlemine 11. — 8. Tähe ööpäev 12. — 9. Asendi määramine taevaskeral 15. — 10. Horisondilised koordinaadid 14. — 11. Ekvaatorilised koordinaadid 17. — 12. Side δ , z ja φ vahel kulminatsioonimomendil 19.	
III. Maa pöörlemine ümber telje.	20
15. Taevaskera pöörlemise seletamine 20. — 14. Üldisi argumente Maa pöörlemise kasuks 22. — 15. Maa pöörlemise tõestusi 25.	
IV. Maa kuju ja suurus.	26
16. Maa on tasane ketas 26. — 17. Maa on kerakujuline 27. — 18. Geograafilised koordinaadid 29. — 19. Geograafilise laiuse määramine 30. — 20. Geograafilise pikkuse määramine 32. — 21. Maa suurus. Eratosthenese meetod 32. — 22. Triangulatsioonimeetod 32. — 23. Maa suuruse määramiseks 32. — 22. Triangulatsioonimeetod kaarepikkuse mõõtmisel maapinnal 35. — 25. Maa kui pöördeellipsoid. Lapikus 36. — 24. Maa tõeline kuju. Geoid 37.	
V. Päikese näiv aastane liikumine.	39
25. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel. Ekliptika 39. — 26. Päikese koordinaatide muutumine 40. — 27. Päeva pikkuse sõltuvus Päikese deklinatsioonist 41. — 28. Zodiaagi tähtkujud. Pöörjooned 45. — 29. Tähistaeva välisilme muutumine aasta jooksul 45. — 30. Taevaskera pöörlemine erisugustel geograafilistel laiustel. Mittetõusvad ja mitteloovuvad tähed 44.	
VI. Maa tiirlemine ümber Päikese.	45
31. Päikese näiva aastase liikumise seletus 45. — 32. Aastajad 46.	

- VII. Aja mõõtmine. 49
 33. Täheaeg 49. — 34. Ligikaudne täheaaja määramine antud momendil 50. — 35. Seos täheaaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsioonimomendil. Aegnurk 51. — 36. Tõeline ja keskmine päikeseaeg 55. — 37. Ajavõrrand 54. — 38. Päikese kell 56. — 39. Kohalik ja ühtlusaeg 56. — 39-a. Daatumi raja 57. — 40. Troopiline ja kodanlik aasta. Kalender 59. — 41. Juulise ja gregooriuse kalender 60. — 41-a. Ajaarvamise algus 62.
- VIII. Taevakehade kauguse ja suuruse määramine. 62
 42. Kuu ja Päikese kaugus Maast 62. — 43. Kuu ja Päikese parallaks 64. — 44. Kuu ja Päikese suuruse määramine 65. — 45. Tähtede aastaparallaks 66.
- IX. Kuu tiirlemine ümber Maa. 67
 46. Kuu tiirlemine ümber Maa 67. — 47. Tähtede kattumine 68. — 48. Kuu faasid 68. — 49. Tuhkvalgus 70. — 50. Kuu pöörlemine 71. — 51. Varjutused 71. — 52. Kuuvarjutused 73. — 53. Päikesevarjutused 73. — 54. Kuu- ja päikesevarjutuste ennustamine ning sagedus 75.
- X. Ptolemaiuse ja Kopernikuse süsteem. Kepleri seadused. 75
 55. Rändtähed ja nende liikumised 75. — 56. Ptolemaiuse süsteem 76. — 57. Kopernikuse süsteem 77. — 58. Galilei ja Giordano Bruno võitlus katoliku kirikuga Kopernikuse ideede pärast 78. — 59. Siseplaneedid 81. — 60. Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletus 81. — 61. Kepleri seadused 82.
- XI. Gravitatsiooniseadus ja järeldusi sellest. 85
 62. Ajalooline ülevaade 85. — 63. Gravitatsioonitug 86. — 64. Gravitatsioonitugi ja raskustungi samasus 87. — 65. Üldine gravitatsiooniseadus 88. — 66. Maa mass ja tihedus 89. — 67. Päikese massi määramine 90. — 68. Tõus ja mõõn 91. — 69. Neptuuni ja Pluto avastamine 92.
- XII. Päikesesüsteemi ehitus. 95
 70. Astrofüüsika mõiste ja meetodid 95. — 71. Päikesesüsteem 95. — 72. Päikesesüsteemi korrapärasus 95. — 73. Päikesesüsteemi suuruse ja planeetide korrapärase järjestus 96. — 74. Planeetide jaotus 97.
- XIII. Päike. 99
 75. Üldandmeid Päikesest 99. — 76. Päikese pinna nähtused 100. — 77. Päikese pöörlemine ümber telje 103. — 78. Päikese õhkkond 103. — 79. Päikese protuberantsid 105. —

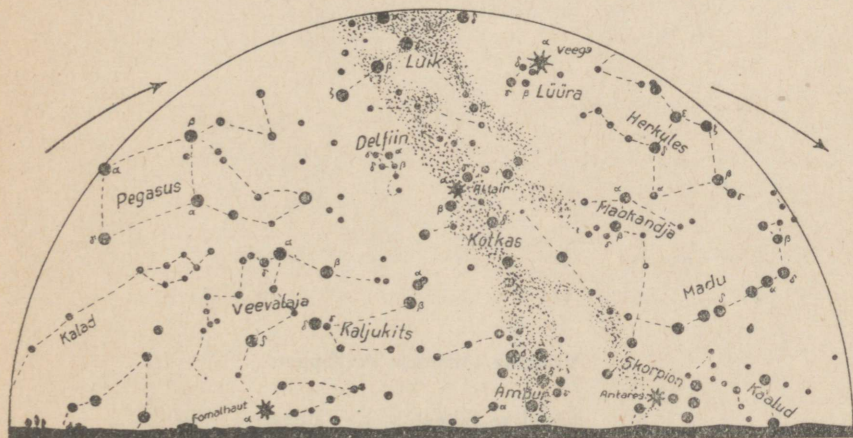
	80. Päikese kroon 106. — 81. Päikese nähtuste perioodsus ja nende seos maapealsete nähtustega 107. — 82. Päikese energia ja selle kasutamine 107. — 83. Päikese spekter ja keemiline koostis 109. — 84. Päikese soojuse allikaid 110.	
XIV. Kuu.		112
	85. Kuu pinnaehitus 112. — 86. Kuu pinna füüsikalised tingimused 114.	
XV. Planeedid.		116
	87. Merkuur 116. — 88. Veenus 117. — 89. Marss 118. — 90. Väikesed planeedid ehk asteroidid 120. — 91. Jupiter 120. — 92. Saturn 122. — 93. Uran, Neptuun ja Pluto 123.	
XVI. Komeedid ja meteorid.		124
	94. Komeedid, nende teed ja liikumine 124. — 95. Komeedi kuju ja ehitus 125. — 96. Komeedi spekter ja keemiline koostis 127. — 97. Perioodilised komeedid 128. — 98. Lendtähed ehk meteorid 128. — 99. Boliidid ja aeroliidid 129. — 100. Meteoride voolud ja nende seos komeetidega 130.	
XVII. Tähed.		151
	101. Tähtede heledus 151. — 102. Tähtede arv 153. — 103. Tähtede kaugused 153. — 104. Tähtede absoluutne suurus 155. — 105. Tähtede värvus, spekter ja temperatuur 156. — 106. Hiidtähed ja kääbustähed 157. — 107. Kaksiktähed 158. — 108. Muutlikud tähed 159. — 109. Uued tähed 141. — 110. Tähtede liikumine 142. — 111. Päikesesüsteemi edasilikumine ruumis 145.	
XVIII. Maailma ehitus.		145
	112. Täheparved 145. — 113. Linnutee 147. — 114. Linnutee tähesüsteemi ehk Galaktika ehitusest 148. — 115. Udukogud ja nende liigitus 152. — 116. Välisgalaktilised tähesüsteemid 155.	
XIX. Elu võimalikkusest taevakehadel.		156
XX. Kosmogoonilisi hüpoteese.		159
	117. Kant-Laplace'i nebulaarhüpotees ja teisi vaateid 159. — 118. Linnutee ja teiste selletaoliste tähesüsteemide arenemisest 161. — 119. Maailma ehituse ja kosmogooniliste hüpoteeside mõju maailmavaatele 162.	
Tabeleid.		165
Nimede ja mõistete juhataja.		170



V

O

Põhjataevas septembri õhtul põhja vaadates.



O

W

Põhjataevas septembri õhtul lõunasse vaadates.

Kaanejoonise valmistanud V. Tomassov.

Vastutav toimetaja A. Kipper.

Keeleline toimetaja E. Valdna.

Ladumisele antud 20. VIII 1947. Trükkimisele antud 7. X 1947. Trükiarv 6200.
Paber 61:86, $\frac{1}{16}$. Trükipoognaid $11\frac{1}{8}$ + 1 lisa. Trükitähti trükipoognas 42.180.
Arvutuspoognaid 11,8. MB-06060. Trükikoda „Tartu Kommunist“, Tartu, Üli-
kooli 21/23. Tellimise nr. 1568.

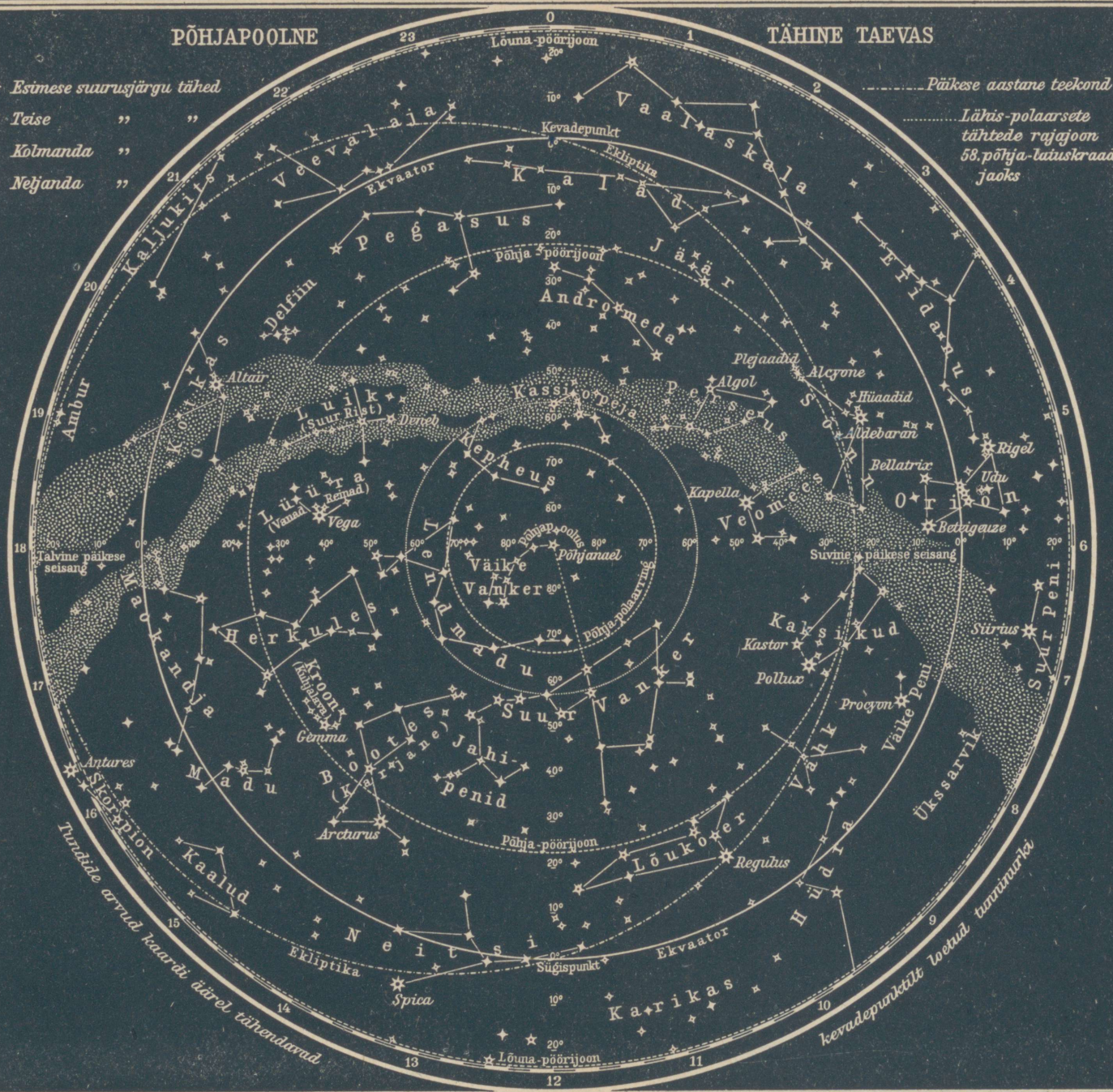
На эстонском языке.

Ю. Ланг и Т. Роотсмая. Астрономия для XI класса.

- ★ Esimese suurusjärgu tähed
- ★ Teise " "
- ★ Kolmanda " "
- ★ Neljanda " "

----- Päikese aastane teekond

..... Lähis-polaarse te
tähtede rajajoon
58. põhja-latuskraadi
jaoks



Tundide arvud kaardi äärel tähendavad

kevadepunktist loetud tunnideku

Rbl. 8.—

~~3976~~
1291⁰

A-16671

TÜ RAAMATUKOGU

1 0300 00496873 3