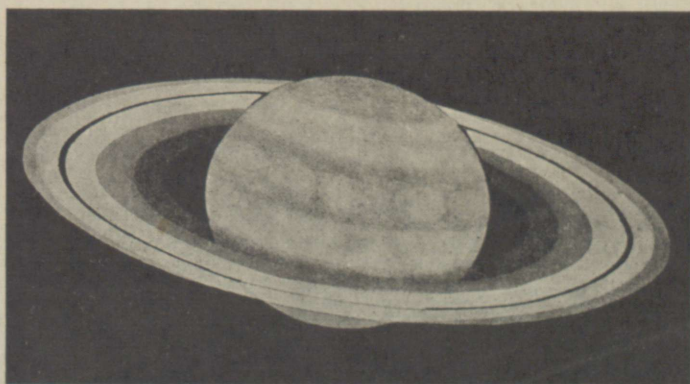


J. LANG JA T. ROOTSMÄE

KOSMOGRAAFIA

KOOLIDELE JA ISEÕPPIMISEKS

3. 1/2



TARTU EESTI KIRJASTUS



J. LANG JA T. ROOTSMÄE

KOSMOGRAAFIA

KOOLIDELE JA ISEÕPPIMISEKS

3. te.



TARTU EESTI KIRJASTUS

1942

Haridusdirektooriumi poolt koolidele tarvitamiseks lubatud

3., ümbertöötatud trükk

2



147577

Korrektor A. Tigane.

Trükitud Majandus- ja Transpordidirektooriumi trükikäitiste
(end. nats. „Noor-Eesti“) trükikojas, Tartu, 1942.

1. trüki eessõna.

Käesoleva töö kirjutamist põhjustas asjaolu, et meil praegu kosmograafia alal tarvitusel olevad raamatud nii keelelt kui sisult on mitmeti puudulikud ega vasta meie oludele.

Käsiteldava aine hulga poolest rahuldab käesolev „Kosmograafia“ täiel määral gümnaasiumi reaalaru tarvidusi, kui kosmograafiale on antud kaks nädalatundi. Autorite arvates on kogu materjali 2 nädalatunniga võimalik omandada reaalaru ainult hääl tingimusil. Kuid materjali rohkus ei tarvitse sugugi olla takistuseks raamatu kasutamisel. Õpetajal on alati vabadus teha antud materjalest oludekohast valikut. Selles mõttes on autorid arvamusel, et otstarbeka valiku puhul seda raamatut ka teistes, näiteks humanitaarharus, kasulikult võib tarvitada. Ka loodavad autorid, et raamat teed leiab algkoolide õpetajate raamatukogudesse, sest nii sagedasti leidub praeguses algkooli geograafiaõpperaamatuis ekslikke seletusi matemaatilise geograafia osas. Arvestades meie raamatute kitsast tarvitajaskonda, mis teeb võimatuks igaks eri-otstarbeks raamatu kirjastamise, on autorite arvates käesolevat raamatut võimalik kasutada ka iseõppijail.

Aine järjestusel on tarvitatud süsteemi, mis autorite arvates võimaldab kergelt ainekäsitlust. Kuid sama materjali on kahtlemata võimalik käsitleda ka teissuguses järjekorras, milleks õpetajaile vabadus jääb.

Autorid rõhutavad kõige kindlamalt, et kosmograafiat ei saa ainult palja raamatu järgi õppida, vaid tingimata peab käsiteldavaid objekte ja nähtusi *i s e v a a t l e m a*. Juhuseid ja võimalusi on meil selleks küllalt olemas. Raamat pakub meile ainult kokkuvõtteid ja seletusi materjalest, mis saadud vaatluste teel. Ei saa jätta rõhutamata, et taeva- (kosmose-) nähtuste tajumine pakub vaatlejale ka väga suurt esteetilist naudingut. Käsiteldud küsimustesse süvenemiseks on iga osa lõppu paigutatud rohkesti küsimusi ja ülesandeid, mis on soovitav lahendada, enne kui edasi minnakse.

Keeleliselt on autorid kinni pidanud „Eesti õigekeelsuse-sõnaraamatust“ ja oskussõnadest tarvitunud neid, mis autorite arvates juba üldiselt tarvitusel või tarvitusele tulevad.

3. trüki eessõna.

Käesolevas 3. trükis esineb „Kosmograafia koolidele ja iseõppimiseks“ täiesti ümbertöötatud kujul. Selle õpiku eelmised trükid olid kohandatud eeldusele, et kosmograafia õpetamiseks on kasutada 2 tundi nädalas. Valdavas enamikus meie gümnaasiumidest oli aga kosmograafiale määratud vaid 1 tund nädalas. Seetõttu, vastu tulles aineõpetajate poolt väljendatud soovidele, pidasid autorid otstarbekaks lähtuda nüüd ainehulga valikul ühest nädalatunnist ja täiendada seda mõningate lisaküsimustega asjast enam huvitatud õpilastele või selleks juhuks, kui koolil on kosmograafia käsitluseks kasutada enam kui 1 nädalatund. Need täiendavad küsimused on laotud erineva peenema kirjaga. Lisaküsimused tohiksid pakkuda huvi ka neile, kes kasutavad seda raamatut iseõppimise otstarbel. Ainevalikul on lähtutud 1938. a. õppekavade nõudeist, kusjuures üksikküsimuste sisustamisel, eriti ajajaotuse mõttes, on arvestatud nii Tallinna kui ka Tartu aineõpetajate kogemusi.

Raamatu põhjalikum ümbertöötamine võimaldas teha ka mõningaid ümberpaigutusi ainekäsitluse meetoodilise rakenduse seisukohalt, lootuses saavutada sel teel paremaid tulemusi töös.

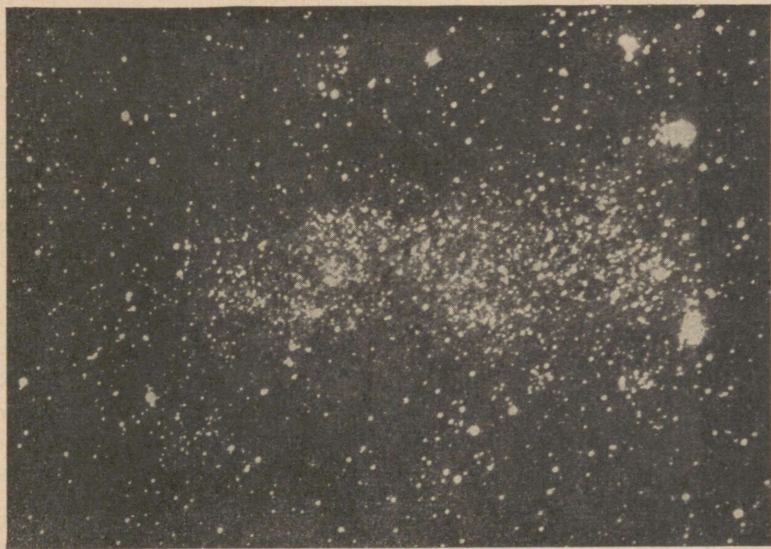
Lõpuks peavad autorid oma kohuseks rõhutada tasakaaluka ning ühtlase ainejaotuse tähtsust kogu õppeaasta jooksul. Selleks on vaja koostada õppeaasta alguses üksikasjaline töökava ning sellest võimalikult kinni pidada. Muidu võib kosmograafia lõpu-, s. o. füüsilise astronoomia osa ajanappuse tõttu kannatada.

Tartus, näärikuul 1942.

Autorid.

I. Taevavõlv ja taevakehad.

1. Kosmograafia ülesanne. Selgel ööl näeme taevas just nagu lugematu hulga tähti, mõnikord ka Kuud. Kõik need taevakehad ühes Päikese ja meie Maaga moodustavad korrapärase kogumiku, mida kutsutakse **M a a i l m a k s** ehk **K o s m o s e k s**.



1. joon. Tükk tähistaevast Linnutee piirkonnast.

Kosmograafia 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 võib-olla väikest osa sellest, 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 ühineb maaga, nimetatakse **nähtavaks vaatepiiriks** ehk **horisondiks**.

Taevavõlv paistab meile **igal pool** enam-vähem õõnsa poolkerana, mille keskpunktis asetseb 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 paistab taevavõlv meile kerakujulisena. Taevavõlv on meile ühtlasi selleks pinnaks, millele projekteerime kõik kauged asjad ja nähtused: Päikese, Kuu, tähed, meteorid, välgu jne.

Lähem tähelepanek näitab, et taevavõlv paistab püstsuunas meile lähemal kui rõhtsuunas, s. o. taevavõlv on **l a m e**. Taevavõlvi näiline lamedus tekib sellest, et rõhtsuunas näeb vaatleja palju mitmesuguseid esemeid (puid, maju jne.), mille tõttu meile **p a i s t a b** taevavõlv kaugemale nihkuvat, kuna püstsuunas on meil **vaatevõlv**.

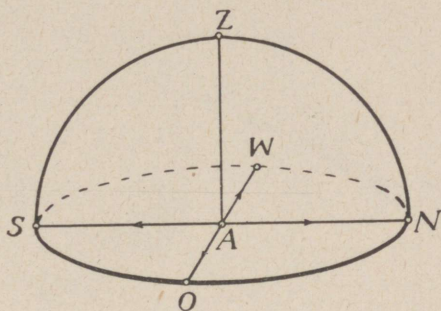
Puhas selge taevas paistab meile **helesinisena**. Taeva värvuse põhjuseks on õhuosakesed (-molekulid), mis kui väikesed peeglid hajutavad päikesevalgusest eriti siniseid kiiri, kuna teised enam-vähem vabalt läbi pääsevad. On aga õhus palju tolmu ja veeauru, siis hajutavad nende osakesed suurel määral ka teisi kiiri ja taevas paistab meile mitte puhassinisena, vaid mitmes teises värvuses — punasena, rohelisena, kollasena jne.

1. Mispärast ei näe me tähti päeval?
2. Mis värvi paistab meile taevas öösi?
3. Millest järeldame, et taeva värvus on päikesevalgusest, et taevaei ole niiõelda oma värvust?

3. Matemaatiline horisont. Lähtekohaks ruumis orienteerumisel on **vaatleja silm**, sest siin koonduvad valguskiired, mis toovad meile teateid kaugeist esemest. Tõmbame läbi vaatleja silma (A) püst- ehk vertikaalsihi (seda osutab niit, mille

otsas ripub koormis). Pikendame vaatleja silmast läbi minevat püstsiihi ülespoole lõikumiseni taevavõlviga punktis Z (2. joon.). Nimetame püstsiihi ja taevavõlvi lõikepunkti **seniidiks** (muidugi punkti A suhtes). Kujutleme läbi vaatleja silma tasapinna, mis on risti püstsiihiga AZ. Nime-tame selle tasapinna r õ h t - t a s a p i n n a k s ehk **mate-maatiliseks horisondiks** (jäl-legi punkti A suhtes).

Matemaatiline horisont jagab Maa ilma kaheks osaks: ülemiseks ja alumiseks. Me tarvitame sageli ka veel teisi jagamisviise, nagu lääne- ja idapoolseks, põhja- ja lõuna-poolseks osaks. Kuidas seda teha?

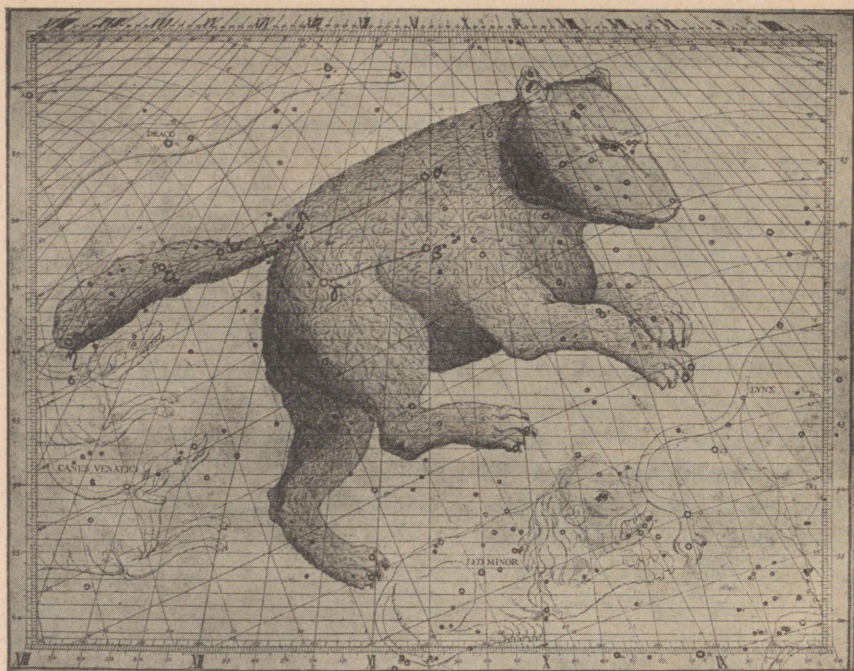


2. joon. Matemaatiline horisont.

4. Taevakehade liigitus. Selge ilmaga näeme taevavõlvil päeval Päikest, öösi 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 ta terve 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. Huvitav on tähele panna, et Kuu ei paista meile alati ühesugusena: vahel näeme täisketast, vahel kitsast sirpi; mõnikord on ta hoopis nähtamatu. Kuul ei ole oma valgust; ta on õieti p e e g l i k s, mis juhib meile öösiti vaatepiiri all oleva Päikese valgust.

Selgel ööl näeme taevas säravat suure hulga tähti, mis paistavad meile taevavõlvi külge kinnistatud helendavate täpikestena. Lähemal silmitsemisel võime tähele panna, et tähed



3. joon. Suur Karu.

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

Pikemaajalise võrdleva vaatluse abil võime kindlaks teha, et tähed jagunevad kahte liiki: kinnis- ja rändtähed. Kinnistähed on need, mis 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 suured tulised, hõõguvad kehad, mis maailmaruumis igale poole valgust ja soojust levitavad nagu meie Päikegi.



4. joon. Sabatäht ehk komeet.

Loetletud kinnistähtede tunnused on tingitud suurest kaugusest, mis meid kinnistähtedest lahutab. Kõige lähemalt kinnistähelt on valgus 4,3 aastat teel meie juurde. Peaaegu kõik tähed kuuluvad kinnistähtede liiki. Sageli tarvitame sõna „kinnistäht“ asemel lihtsalt „täht“.

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 korruga näha ainult mõned üksikud (Veenus, Marss, Jupiter, Saturn jt.). Kõik rändtähed ehk planeedid kuuluvad Päikese süsteemi, 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, helendavad ja viimaks ära põlevad.

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

Heleda vööna enam-vähem põhja—lõuna sihis käib üle taeva L i n n u t e e. See on suur tähtede parv, mille hulka kuulub ka meie Päike.

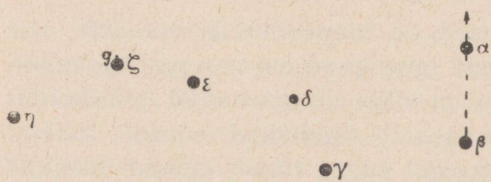
1. Mitu korda on Päikese pind- ja ruumala Maa omast suurem?
2. Mispärast paistab Kuu peaaegu niisama suure kettana kui Päikegi?
3. Väljenda lähema kinnistähe kaugus km-tes!
4. Missugused rändtähed on praegu palja silmaga nähtavad?

5. Tähtkujud. Taevaga tutvumiseks on kasulik ühendada üksikuid tähti kujudeks, mis meile hästi tuttavad, nagu kolmnurk, 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, nagu Kuhjalava, Reha, Koot jt. — Tähtkuju üksikute tähtede nimedena tarvitatakse kreeka keele tähti α , β , γ jne.; seejuures märgitakse kõige heledam harilikult α -ga, teised heleduse järjekorras β , γ jne.

Kõige kergem on alustada tähtkujude tundmaõppimist Suurest Vankrist ehk Karust, mille 5. joon. abil põhjataevas kergesti ära

tunneme. Rattad moodustavad nelinurga, kuna ais keskelt paremale poole kaarde on painutatud. (Tuleta meelde eesti muinasjuttu hundist ja peremees Peedust!) Tagumistest ratastest (α ja β) läbi

minevat sihti noole suunas pikendades jõuame kaunis heleda täheni, mis kannab Põhjanaela nime. Nagu varsti näeme, asetseb Põhjanael Maailma pooluse lähedal, seepärast paistab



5. joon. Suur Vanker.

Põhjanaan alati samas kohas; ta on kui helendav naelapea, mis löödud põhjataevasse. Põhjanaan 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 (γ) alates üle Põhjanaanla teisele poole vaadates jõuame Kassiopejani, mis kujult meenutab laialt kirjutatud W-tähte. Kassiopejast pisut ida poole ja madalamale vaadates näeme looklevat väiksemate tähtede rida, Perseust, mis lõpeb täheparve Plejaadide ehk Sõelaga. Perseusest ida pool asetseb Veomees, viisnurk, milles kõige heledamaks täheks on Kapella ehk Jõulutäht.

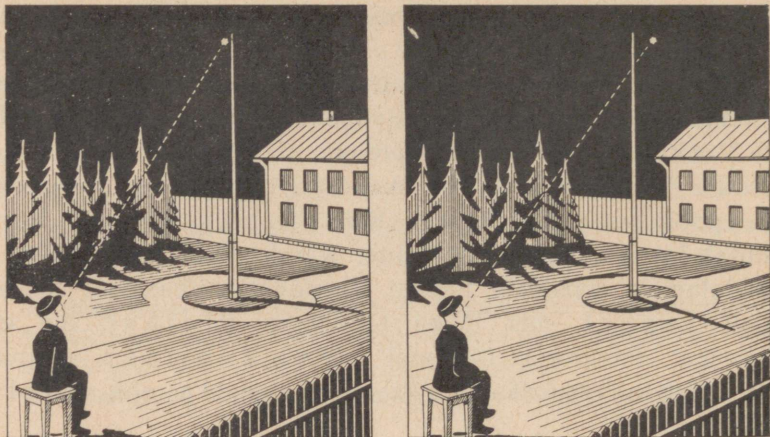
Sedaviisi kaardi abil taevast jälgides pole raske tutvuda kõigi meil nähtavate tähtkujudega. Et edaspidisest hõlpsamini aru saada, tuleb tähtkujude otseste vaatluste abil taevaga lähemalt tutvuda, kasutades selleks võimalikult iga selget õhtut juba õppetöö alguses.

1. Raamatu lõuna leiduva kaardi abil tutvu meil praegu õhtuti näha olevate tähtkujudega!
2. Paratähele, kuidas tähed, nagu Päike ja Kuugi, idast tõusevad ning läänes alla vaatavad!

II. Taevaskera pöörlemine ja taevakoordinaadid.

6. Taevaskera ööpöörlemine. Asetume selgel õhtul või ööl õue nõnda, et mõni lõunataeva hele täht paistaks just mõne lähedaloleva vaatepaistva asja (lipuvarda otsa, raadiomasti, korstna ääre) kohal. Sel viisil määrame kindlaks vaatesuuna, millel asetseb täht vaatluse alguses, sest kaks punkti (vaatleja silm ja antud asi) 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.

Tee see vaatlus tingimata esimesel võimalusel!



6. joon. Tähed nihkuvad idast lääne poole.

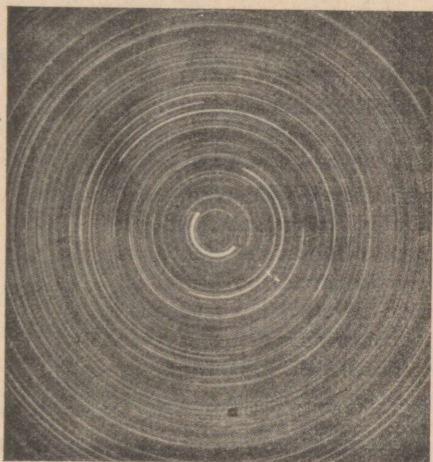
Samalaadilisi vaatlusi ka teiste tähtedega korrates näeme, et taevavõlv ühes kõigi tema pinnal nähtavate taevakehadega ei seisa paigal, vaid pöörleb **idast läände**. Samuti nagu Päike ja Kuu, tõusevad ka tähed idast, saavutavad kõrgeima asendi lõunas ja vajuvad alla vaatepiirile läänes. Meie ei ole kahjuks harjunud seda tähele panema. Tähtede vastastikuseid asendeid üksteise suhtes tähele pannes näeme, et need jäävad kogu aja samadeks. Järelikult võime rääkida taevavõlvist kui tervikust, mis pöörleb idast läände.

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

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

7. Tähe öö-päev. Paneme tähele, mis kella ajal läheb mõni täht üle kindla vaatesuuna täna; olgu see näiteks kl. 8 õhtul. Sama 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 täistiiru taevaskera. Nimetame ajavahemiku, mille jooksul taevaskera teeb ühe täistiiru, **tähe ööks-päevaks.**

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



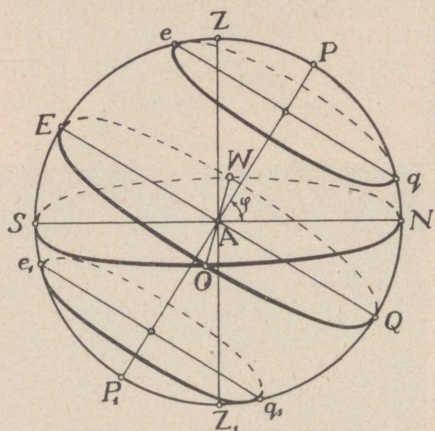
8. Asendi määramine taevaskeral. Taevaskera keskpunktiks (A) on alati vaatleja silm. Sellest järeldame, et meil

on siin tegemist nähtusega, mis oleneb meie silma ehitusest. Taevaskeral asendi määramiseks anname erilised nimed mõnele joonele, punktile ja tasapinnale.

Sirget PP_1 (8. joon.), mille ümber pöörleb taevaskera, nimet. **maailma-teljeks.** Maailma-telg lõikub taevaskeraga kahes punktis (P ja P_1), mida nimet. **taeva poolusteks.** Meie horisondi kohal on **põhjapoolus** (P), temale otse vastas asetseb **lõunapoolus** (P_1). Nagu definitsioonist näha, on poolused geomeetriliselt defineeritud punktid. Praegusajal asetseb põhjapooluse läheduses ($\sim 1\frac{1}{4}^\circ$ kaugusel) võrdlemisi hele täht — Põhjanael, mille abil on kerge põhjapooluse ligikaudset asendit määrata. — Vaatleja

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

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



8. joon. Taevaskera.

on **taeva meridiaani-tasapind**, mis lõikudes taevaskeraga annab ringjoone (ZPP_1), mida kutsutakse **meridiaaniks**. Meridiaani-tasapind jagab taevaskera kaheks pooleks — ida- ja lääne-pool. Horisondi-tasapinnaga ($NOSW$) lõikub meridiaani-tasapind mööda sirget SN , mida nimet. **keskpäeva-jooneks**. Keskpäeva-joone üks ots (N) näitab põhja, teine (S) lõunasse. 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 ($EWQO$), mida nimet. **taeva-ekvaatoriks**. Taeva-ekvaator jagab taevaskera kaheks poolkeraks — põhja- ja lõuna-poolkera. Horisondi ja taeva-ekvaatori tasapinnad lõikuvad mööda sirget OW , mis on risti keskpäeva-joonega (tõesta 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 vaatleja silma. Siis saame lõikejoonena nn. **taevaparalleelid** ehk **-rööbikud** (eq, e_1q_1 jne.), mille tasapinnad on risti maailma-teljega. Kõik tähed liiguvad oma ööpäevases liikumises paralleelselt ekvaatoriga, moodustades 24 tähetunni jooksul taevaskerale ringid — taevaparalleelid ehk -rööbikud.

Ühes taevaskeraga ümber maailma-telje ringi käies jõuavad tähed kõige kõrgemasse (vst. madalamasse) asendisse horisondi suhtes siis, kui nad läbivad meridiaani-tasapinna. Nimetame tähe

meridiaanist läbimineku momenti tema **kulminatsioonimomendi**. Neid on kaks: ülemise (kõrgeim asend) ja alumise (madalaim asend) kulminatsiooni moment.

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

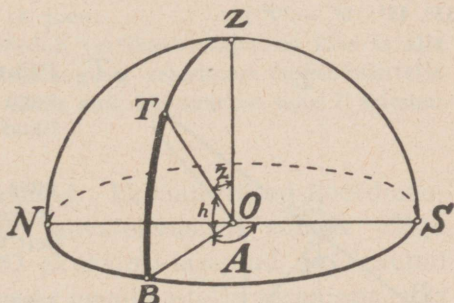
2. Tähe ülemise kulminatsiooni moment on kl. 9 õhtul. Millal on see täht alumises kulminatsioonis?

3. Ehita 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?

9. Horisondilised koordinaadid. Koordinaatide all üldse mõistetakse suurusi, mille abil määratakse punkti asend kas mingil pinnal, joonel või ruumis. Taevakoordinaatide abil määrame taevakeha täpse asendi taevaskeral. Lihtsamaks taevakoordinaatide süsteemiks on nn. **horisondilised koordinaadid**: asimuut ja kõrgus. 9. joon. on kujutatud taevavõlv. Vaatleja asetseb punktis O , SZN on meridiaani- ja SBN matemaat. horisondi tasapind, Z — seniit. Oletame, et vaatleja tahab määrata tähe T asendi 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 , mille nimetame asimuudiks. Niisiis **asimuut** (A) on nurk meridiaani-tasapinna ja antud punkti läbi-va vertikaal-tasapinna vahel. Asimuudi suurust mõõdab joonnurk SOB ehk temale vastav kaar SB , kusjuures nullpunktiks on lõunapunkt S . Asimuuti mõõdetakse lõunapunktist (0°) alates lääne suunas üle põhjapunkti (180°) kuni lõunapunktini (360°). Niisiis on läänepunkti asimuut 90° , idapunkti asimuut 270° jne.



9. joon. Horisondilised koordinaadid.

Meresõidul mõõdetakse sageli asimuuti ka põhjapunkti alates ida suunas.

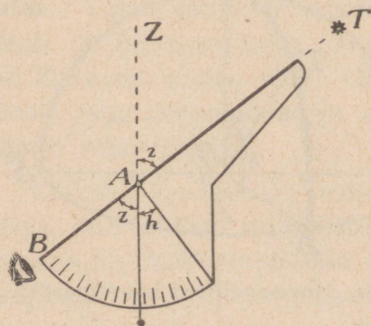
Lähemalt järele mõeldes näeme, et asimuut määrab küll vertikaal-tasapinna, milles asetseb täht, kuid ei näita veel, **mis suunas** paistab täht selles tasapinnas. Selleks on tarvis mõõta nurk TOB , s. o. nurk vaatesuuna OT ja selle projekt-siooni OB vahel. Nimetame nurga TOB , mis mõõdab tähe kau-gust horisondilt, **kõrguseks** (h). Nurga TOB asemel võime mui-dugi mõõta ka temale vastava kaare suurust (BT). Kõrgust loe-takse horisondi-tasapinnalt alates kahele poole: üles (+) ja alla (—); järelikult on seniidi kõrgus 90^0 , nadiiri kõrgus — 90^0 .

Sageli tarvitatakse kõrguse täiendust 90^0 -ni, s. o. tähe kau-gust seniidist ehk nn. **seniidikaugust** (z). Seniidikaugus on alati positiivne. On selge, et

$$h + z = 90^0.$$

Peame meeles, et pooluse kõrgus (φ) Tartu horisondi suhtes on $58^0 23'$, Tallinna horisondi suhtes aga $59^0 26'$.

Näidata ligikaudselt (käega näidates) taevavõlvi kohad, mille asimuudi ja kõrguse suurused vastavalt on: $0^0, 0^0$; $90^0, 45^0$; $270^0, 60^0$; $180^0, 60^0$; $135^0, 45^0$; $0^0, -30^0$ jne.



10. joon. Riist kõrguse mõõtmiseks.

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

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

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

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

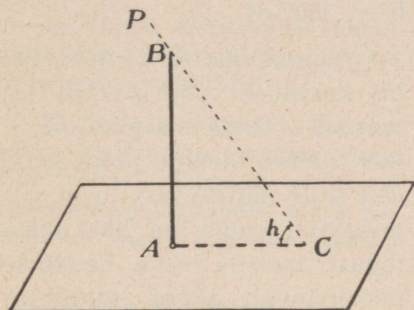
5. Kas kinnistähtede tõusu asimuut ja kulm. kõrgus muutuvad päevast päeva?

6. Tee papist või lauaticist (häda korral paberist) 10. joon. kujutatud riist kõrguse või seniidikauguse mõõtmiseks ning mõõda sellega Päikese

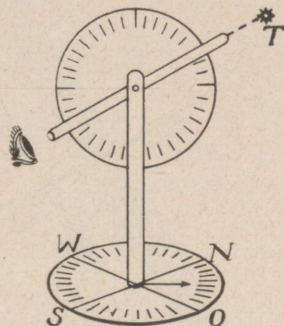
kulminatsiooni kõrgus, pooluse kõrgus jne. Kuhu tuleb teha 0^0 -punkt, et skaala näitaks z (vst. h) suurust? Harjutuseks mõõda lähedalolevate esemete kõrgusi (vst. seniidikaugusi)!

7. Vanad kreeklased ja egiptlased tarvitasid Päikese kõrguse mõõtmiseks gnoomonit (11. joon.), 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?



11. joon. Gnoomon.



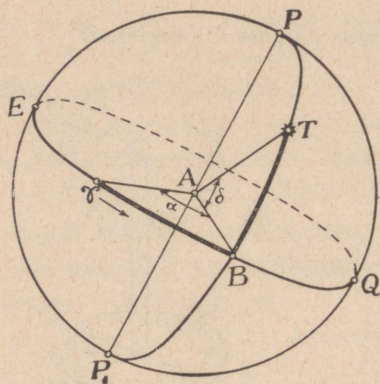
12. joon. Teodoliit.

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

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

10. Ekvaatorilised koordinaadid. Ekvaatorilised koordinaadid määravad taevakeha asendi taeva-ekvaatori suhtes. Olgu 13. joon. 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 **deklinatsooniks** (δ). Deklinatsiooni mõõdame ekvaatorilt alates nurga BAT ehk sellele vastava kaare BT abil 0^0 -st (ekvaator) 90^0 -ni (poolus). Ekvaatorist põhja poole loetakse deklinatsioon positiivseks (+), lõuna poole negatiivseks (—). Seega on siis põhjapooluse $\delta = +90^0$, lõunapooluse $\delta = -90^0$ jne.

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** (a), mis näitab deklinatsiooni poolringi ($PTBP_1$) ja ekvaatori (EQ) löikepunkti B kaugust nn. **kevadpunktist** (Υ). Otsetõusu mõõdetakse mööda ekvaatorit **vasstupäeva** (lääne—ida) suunas 0^0 -st 360^0 -ni.



Kevadpunktis asetseb Päike kevadisel pöörpäeval (21. märtsil). Tema märgiks on Υ , mis tuletab meelde jäära sarvi, sest selle mõiste tarvituselevõtmise ajal, enam kui 2000 aastat tagasi, asetses Päike kevadisel pöörpäeval Jäära tähtkujus.

13. joon. Ekvaatorilised koordinaadid. Nüüd asetseb kevadpunkt Kallade tähtkujus.

Otsetõusu võime mõõta kaare- või nurgakraadides, kuid sageli on kasulik mõõta otsetõusu ka ajas, s. o. ajaühikute abil. Teame, et taevaskera pöörub ümber maailmatelje 360^0 ehk täistiiru võrra ühe tähe ööpäeva jooksul. Järelikult

taevaskera pöördumisele 360^0 vastab täheajas 24^h				
"	"	1^0	"	4^m
"	"	$1'$	"	4^s
"	"	$1''$	"	$\frac{1}{15}^s$

Ümberpöörduvalt,

1^h -le täheajas vastab taevaskera pöördumine 15^0
1^m -le " " " " $15'$
1^s -le " " " " $15''$

Selle vastavuse põhjal võime, näiteks, öelda, et tähe otsetõus on 2^h ehk 30^0 , sest kahe tähetunni jooksul pöörub taevaskera 30^0 võrra; 5^h ehk 75^0 jne.

Märkida taevaskeral punktid, mille 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 seisneb ainult selles, et asimuuti loetakse lõunapunktist lääne, otsetõusu aga kevadpunktist (γ) ida poole (kui vaadata lõunasse). Kirjeldatud põhimõtteil ehitatud eriline riist on kujutatud 14. joon. ja nimetatakse **ekvaatorialiks**.

1) Võrdle horisondilisi koordinaate ekvaatorilistega! Nimeta mõlemate head ja halvad küljed!

2) Joonesta taevaskera ühes kohaliku horisondiga (pooluse kõrgus õieti võtta!). Oletame, et kevadpunkt asetseb idapunktis. Märki taevaskeral õieti järgmiste tähtede asendid:

Kapella (Jõulutäht):

$$\alpha = 5^{\text{h}} 11^{\text{m}}, \delta = + 45^{\circ} 55'$$

Siirius (Orjapäht):

$$\alpha = 6^{\text{h}} 42^{\text{m}}, \delta = - 16^{\circ} 37'$$

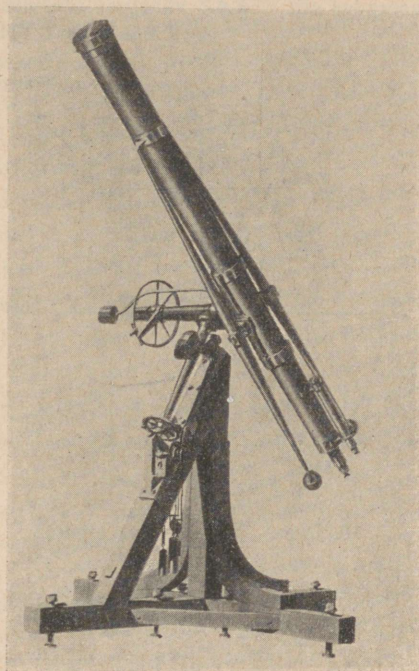
Veega (*a Lyrae*):

$$\alpha = 18^{\text{h}} 34^{\text{m}}, \delta = + 38^{\circ} 43'$$

Hinda joonise põhjal ligikaudu nende horisondilised koordinaadid!

11. Side δ , z ja φ vahel kulminatsioonimomendil. Taevakeha (tähe) horisondilisi koordinaate võime teodoliidi abil otseselt määrata. Ekvaatoriliste koordinaatide määramine toimub kaudselt: δ — seniidikauguse (z) ja pooluse kõrguse (φ) ning α — täheaja (t) kaudu. Vaatame lähemalt, kuidas toimub δ määramine. 15. joon. 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 , keskpäeva-joon SN , ekvaatori- ja meridiaani-tasapinna lõikejoon EQ ja vertikaaljoon AZ .



14. joon. Tartu ülikooli tähetorni Fraunhoferi refraktor, üles seatud a. 1824. Objektiivivi läbimõõt 24 cm, fookuse kaugus 450 cm. Omal ajal oli suurim ja parim refraktor maailmas.

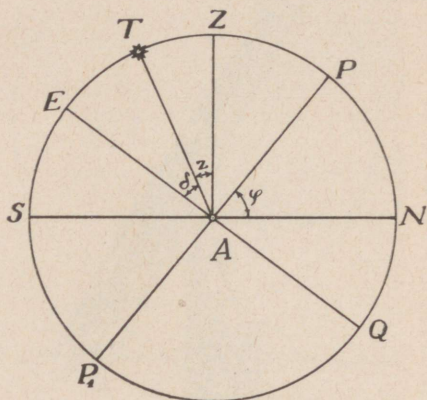
Tähe T deklinatsiooni (δ) mõõdab nurk TAE , seniidikaugust (z) nurk TAZ ja pooluse kõrgust (φ) nurk PAN . Joonisest selgub, et

$$\angle EAZ = \angle PAN \dots (1)$$

kui vastastikku risti olevate külgedega; edasi $\angle EAZ = \angle EAT + \angle TAZ$; asetades siit $\angle EAZ$ väärtuse võrdsuse (1), saame:

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

$$\delta + z = \varphi.$$



15. joon. Side δ , z ja φ vahel.

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

Valem $\delta + z = \varphi$ on tuletatud juhul, kui täht kulmineerub lõuna pool seniiti. Ta on õige ka negatiivse δ puhul. Kui täht kulmineerub põhja pool seniiti, siis kehtib valem

$$\delta - z = \varphi.$$

Alumise kulminatsiooni puhul aga

$$\delta + z + \varphi = 180^\circ.$$

Tõesta seda!

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

Näiteid. a) Kui kõrgel kulmineerub Tartus ($\varphi = 58^\circ 23'$) Kapella ($\delta = +45^\circ 55'$)?

$$\delta + z = \varphi; z = \varphi - \delta = 58^\circ 23' - 45^\circ 55' = 12^\circ 28';$$

$$h = 90^\circ - z = 90^\circ - 12^\circ 28' = 77^\circ 32'.$$

b) Tallinnas ($\varphi = 59^\circ 26'$) kulmineerub Siirius $13^\circ 57'$ kõrgusel. Määrata Siiriusse δ .

$$z = 90^\circ - h = 90^\circ - 13^\circ 57' = 76^\circ 3'; \delta + z = \varphi;$$

$$\delta = \varphi - z = 59^\circ 26' - 76^\circ 3' = -16^\circ 37'.$$

c) Määrata pooluse kõrgus Võrus, kus 22. juunil on Päikese ($\delta = +23^\circ 27'$) ülemise kulminatsiooni kõrgus $h = 55^\circ 36'$.

$$z = 90^\circ - h = 34^\circ 24'; \varphi = \delta + z = 23^\circ 27' + 34^\circ 24' = 57^\circ 51'.$$

1. Kui kõrgel kulmineerub Päike Tallinnas (Helsingis, Riias, Berliinis, Roomas) 22. juunil ($\delta = +23^\circ 27'$) ja 22. detsembril ($\delta = -23^\circ 27'$)?

2. Määrata Tähetorni kalendri abil praegu näha olevate planeetide kulm. kõrgus oma kodukohas (Tallinnas, Tartus)!

3. Missugused tähed kulmineeruvad seniidis Tartus (Tallinnas, su kodukohas)?

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

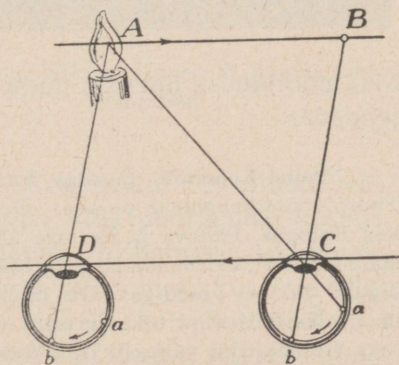
III. Maa pöörlemine ümber telje.

12. **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. Nüüd tõuseb küsimus, kas tõepoolest taevaskera ühes kõigi taevakehadega pöörleb idast läände või toimub looduses tõeliselt midagi muud, mille tõttu meile ainult paistab, nagu pöörleks taevaskera. Kas pole taevaskera pöörlemine maailma-telje ümber suurepärane looduse illusioon, mis kõiki Maa elanikke ühteviisi valdab? Tunneme ju igapäevasest elust nii mõndki liikumisillusiooni ehk -meelepetet. Näiteks jaamas seisavad kaks rongi. Naaberrong hakkab liikuma, meie jääme paigale. Seejuures paistab sageli, nagu liiguksime meie ning naaberrong seisaks paigal. Ainult lähedal seisvate esemete (majad, telegraafituled 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 tee järgmine katse. Laua ääres istudes toeta käsi küünarnukil lauale, pigista silmad kinni, pane sõrmeots otsaesisele ja pööra pead nõnda, et sõrmeots mööda otsaesist ühelt poolt teisele nihkuks. Kas on tunda vahet võrreldes selle juhuga, kui pea seisab paigal ja sõrmeots liigub?

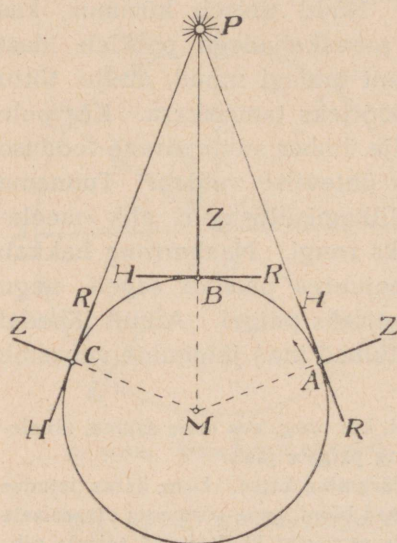
Liikumisillusioonid on kergesti võimalikud meie silma ehituse tõttu. Nagu 16. joon. näha, võib silm saada asjast (küünal) kahel isesugusel juhul täiesti sama liikumise ergukilel: kas asi nihkub A-st B-sse ja silm on paigal C-s või asi on paigal A-s ja silm nihkub paralleelselt AB-ga niisama palju vastassuunas, 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 liiku-



16. joon. Liikumisillusiooni tekkimine.

mise põhjuseks. Tahame selgusele jõuda, siis tuleb otsustamiseks teisi nähtusi appi võtta.

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 17. joon. näha, saame Maa pöörlemise abil



17. joon. Taevaskera pöörlemise seletamine.

läänest itta kergesti seletada Päikese päevast teekonda taevavõlvil üle meie vaatepiiri. Nii näiteks kohas A Päike tõuseb, kohas B — kulmineerub ja kohas C — loojub.

13. Uldisi argumente Maa pöörlemise kasuks. Juba üksikud Vana-Kreeka astronoomid (Aristarchos Samoselt, III s. e. Kr., Seleukos, II s. e. Kr.) avaldasid arvamust, et taevaskera pöörlemist ümber maailma-telje võib seletada Maa pöörlemisega ümber oma telje. Kuid need mõtted ei suutnud leida pinda tolleaaja teaduste laiemais ringkonnis ja jäid seetõttu unustusse. Alles uue aja alguses tõi Kopernik (1473—1543)

Maa pöörlemise õpetuse uuesti päevakorrale, seda lähemalt põhjendades.

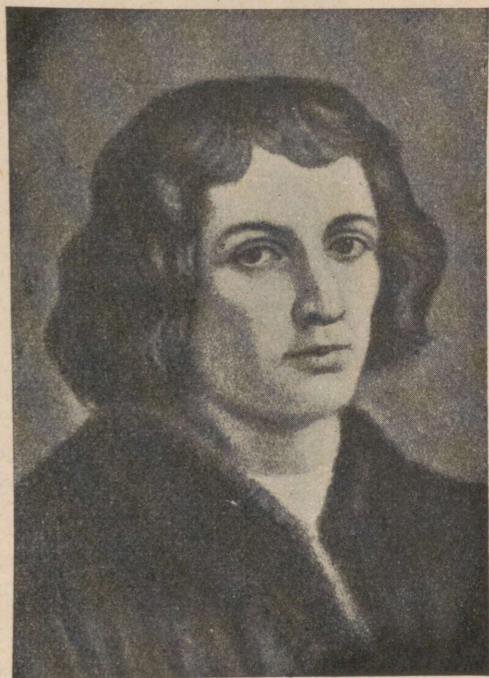
Nikolai Kopernik, moodsa astronoomia isa, sündis 19. veebr. 1473. a. Thornis suurkaupmehe pojana. Oppis esiti Krakovi ülikoolis, pärast Itaalias Bologna, Padova ja Ferrara ülikoolis õigus- ja arstiteadust, ühtlasi ka matemaatikat, astronoomiat ja kreeka keelt. Lõpetas õppimise a. 1503 kirikuõiguse doktori kraadiga. Oli lühikest aega oma onu, piiskop Watzelrode ihuarstiks, hiljemini oma surmani (24. veebr. 1543) Frauenburgis toomhäraks (toomkiriku vaimulik). Pühendas kogu oma vaba aja täheteadusele. Tema elutöö „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ („Taevasfääride pöörlemisest“) ilmus trükist pisut aega enne ta surma.

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

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 kinnistäh-
tede pöörlemisperiood on ühepikkune, hoolimata mitmesugusest kaugusest maailma-
teljest. See oleks liiga kunstlik korraldus kauguse ja aja suhtes.

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



18. joon. Nikolai Kopernik, kuulus saksa astronom.

14. Maa pöörlemise tõestusi. Kopernikul ei olnud võimalik esitada ühtegi katselist tõestust Maa pöörlemise kasuks, sest need olid tol ajal veel tundmatud. Koperniku suuremaks argumendiks oli tema seletuse lihtsus ja loomulikkus. — Alles hulk aega hiljem avastati looduses kui ka katselisel teel rida nähtusi, mis end ainult Maa pöörlemise abil lihtsalt seletada annavad ja seetõttu on tõestuseks, et Maa pöörleb. Toome siin mõned Maa pöörlemise tõestustest.



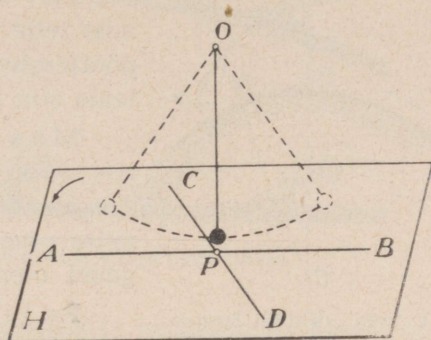
19. joon. Foucault' pendlikatse Pariisi Panthéonis a. 1851.

a) Foucault' katse. Katse näitab, et vabalt võnkuval tasapendliil on omadus säilitada oma võnkumistasapinda ka siis, kui pendli niidi kinnituspunkt ruumis edasi nihkub või niit ühes pendli massiga on pandud keerlema.

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 võrdlemisi suure massiga (28 kg). Pendlimassi alumine terav ots puudutas võnkudes liivakorraga kaetud tasast põrandat, jättes järele jäljed, mis näitasid võnkumise sihti. Juba varsti pärast võnkumise algust võis tähele panna, et pendli võn-

kumistasapind ei püsi paigal, vaid pöördub päripäeva (lõunaotsidast läände). Seda nähtust võime hõlpsasti seletada Maa pöörlemise abil läänest itta.

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



20. joon. Pendli võnkumine poolusel.

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

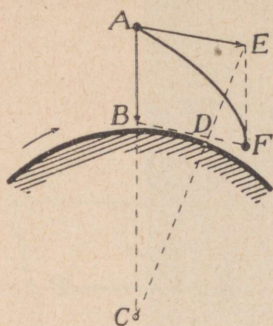
Poolusele vastandina ei pöördu horisondi-tasapind ekvaatoril pendli-tasapinna suhtes mitte, seepärast ei ole ka ekvaatoril märgata pendli võnkumistasapinna kõrvalekaldumist horisondi suhtes. Üldjuhul laiusel φ^0 pöördub pendli-tasapind 1 tunni jooksul $15^\circ \sin \varphi$.

1. Eritle valemit $\alpha = 15^\circ \sin \varphi$ laiuse φ muutudes 0° -st 90° -ni.
2. Leida α Tallinna ja Tartu jaoks!

M ä r k u s. Foucault' katset võib teha ka päris lühikese (~ 2 m) pendliga klassiruumis. Vt. Zeitschr. f. den physik. u. chem. Unterricht, 1921, nr. 4.

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

c) **Mitmesugused nähtused, mis tõestavad Maa pöörlemist.**



21. joon. Vabalt langev keha kaldub ida poole.

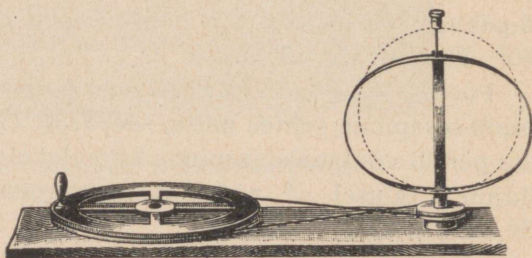
voolu kõrvalekaldumisest põhja—lõuna sihist Maa pöörlemise mõjul.

Tuule suund tsüklonis ja antitsüklonis, mis Maa põhja-poolkeral alati paremale poole pöörduv, lõuna-poolkeral ümberpöörduvalt; parempoolse jõekaldahutumine põhja-poolkeral jne.

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

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

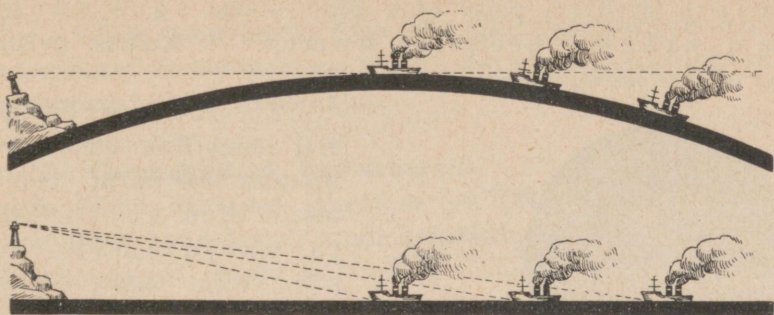
Passaattuuled, mis puhuvad põhja-poolkeral kirde—edela, lõunapoolkeral kagu—loode suunas, tekivad õhuvoolu



22. joon. Vetrurõngas muutub pöörlemise mõjul lapikuks.

IV. Maa kuju ja suurus.

15. **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 lagedal kohal ja alati; eriti tuletab meelde tasast ketast peegelsile merepind. Need üksikud kohalikud tähelepanekud olid aluseks esimese kujutelmaloomisel Maast kui tervikust. See-



23. joon. Laeva lähenedes näeme kõige esiti suitsu.

pärast on loomulik, et inimese esimeseks kujutelmaks Maast on tasane ketas.

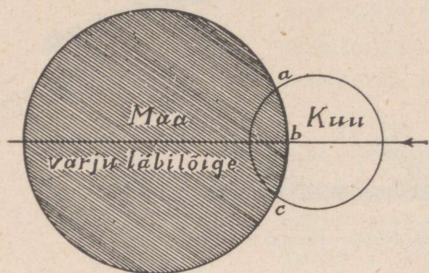
Kujutelm Maast kui tasasest, enam-vähem ümmargusest kettast oli välja kujunenud kreeklastel juba Homerose päevil (~ 800 a. e. Kr.). Maad ümbritses määratu suur jõgi — Ookean, mille välisele äärele toetus taevavõlv. Tähed tõusevad idast ja laskuvad läänes, kustudes Ookeani voo-gudes.

16. Maa on kerakujuline. Maa kerasust õpetasid esimes-tena pütaagorlased juba umbes 500 a. e. Kr. Nende arvates pidi Maa olema kerakujuline, sest kera on oma kujult kõigist keha-dest kõige täiuslikum. Nagu näeme, ei olnud Maa kerasuse õpetuse aluseks esialgu tähelepanekud loodusest, vaid puht-spekulatiivsed (teoreetilised) mõttekujutused. Pütaagorlaste algatatud õpetuse Maa kerasusest võtsid omaks pärastised suu-red kreeka mõttetargad Platon ja Aristoteles. Viimane toob oma töös „Taevast“ rea nähtusi, mis räägivad Maa kerasuse kasuks. Sellega oli küsimuse spekulatiivsest käsitlesest üle mindud loodusteaduslikule käsitlesele — vaatluste abil.

Meile üldiselt tuttavad Maa kerasuse tõestused olid peaaegu kõik tuntud 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 kaldale näeme kõige esiti suitsu, siis masti otsi, korstnaid, laeva lage ja viimaks keret; l a e v a k a u g e n e d e s kaovad laevaosad vastupidises järjekorras sil-mist. See nähtus kordub Maa pinnal igal pool ja igas

suunas, järelikult peab Maa pind olema igas suunas enam-vähem ühteviisi kumer. — Kuidas paistaks sama nähtus tasapinnalise Maa puhul?

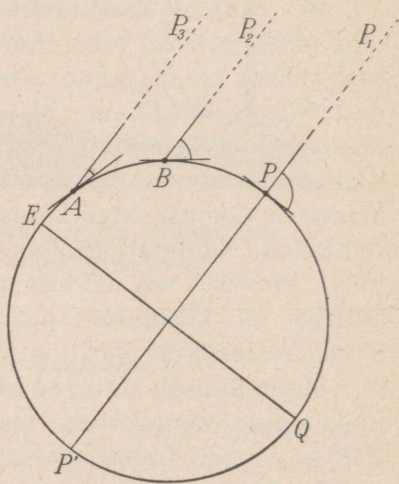


24. joon. Varju piirjoon on ringjooneline.

keras, järelikult peab Maa olema kerakujuline.

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

3. Kui reisida lõuna (ekvaatori) poolt põhja poole, siis võime tähele panna, et Põhjanael (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 25. joon. nähtub, tõuseb Maa kerasuse puhul poolus järjest kõrgemale, kui liikuda lõuna poolt põhja poole. Tasapinnalise Maa puhul paistaks Põhjanael meile alati samas kõrguses.



25. joon. Ekvaatorilt põhja poole minnes tõuseb põhjapoolus järjest kõrgemale.

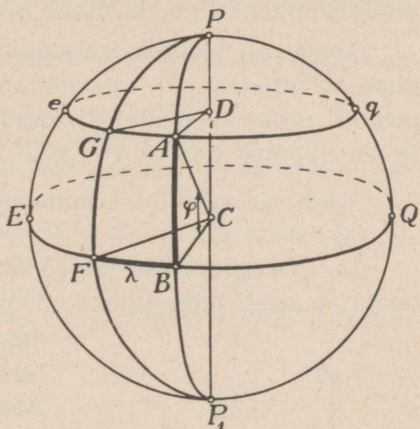
4. Kõige veenvamaks Maa kerasuse tõestuseks on muidugi igasuunalised ümber maailma reisud, sest tasapinnal poleks säärased nähtused üldse võimalikud.

17. Geograafilised koordinaadid. Nagu nägime, võime lugeda Maad esimeses lähenduses kerakujuliseks. Seepärast võime antud koha asendi kindlaksmääramisel Maa pinnal tarvitada samasugust joonte ja pindade süsteemi, nagu seda tegime varemini asendi määramisel taevaskeral (§ 10). Kordame siin lühidalt juba geograafiast tuntud mõisteid (26. joon.).

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.

Antud koha (A) geograafiliseks laiuks (φ) nimetatakse selle koha kaugust ekvaatorist (\widehat{AB}), mõõdetud kaaremõõdetudes mööda meridiaani, mis läbib antud koha. 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).



26. joon. Geogr. koordinaadid.

Vahetegemiseks tuleb iga kord ära tähendada, mis suunas on laius mõõdetud. Põhjalaius loetakse positiivseks (+), lõunalaius negatiivseks (—).

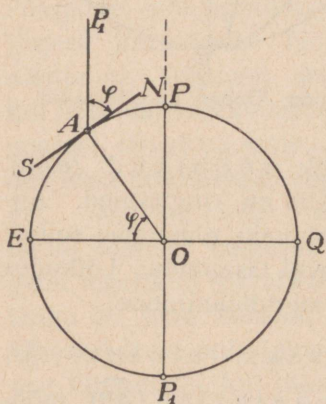
Geogr. pikkuseks (λ) nimet. antud koha (A) meridiaani kaugust nn. nullmeridiaanist, mõõdetud ekvaatori (\widehat{BF}) või mõne rööbiku (\widehat{AG}) kaare abil. Muidugi võime kaare asemel tarvitada ka vastavat kesknurka ($\angle BCF$). Nullmeridiaaniks (PGP_1) võime võtta iga meridiaani. Otstarbekus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

Sageli on kasulik väljendada kahe koha geograafiliste pikkuste vahet ajas (λ^h), mis näitab, palju aega kulub Maa pöörlemiseks pikkuste vahele vastava nurga võrra. Nagu varemini (§ 10) nägime, vastab 1^h 15^0 -le, 2^h 30^0 -le jne.

Võrdle geograafilisi koordinaate ekvaatoriliste koordinaatidega!

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

maailma-telje. Täheleb, maailma-telje siht ongi õieti maatelje siht. Asendi vahetamine maapinnal ei muuda meil maailma-telje sihti, sest maapinna punktide kaugus maateljest on niivõrra väike võrreldes taevakehade kaugusega, et meile igal pool maapinnal maailma-telje siht jääb paralleelseks maateljega. — Selle maailma-telje sihi omaduse põhjal on kerge määrata astronoomilisel teel antud koha geograafilist laiust. Olgu (27. joon.) antud koha A geogr. laius $\varphi = \angle AOE$; maailma-telje siht antud kohas moodustab horisondiga SN nurga P_1AN , mille nimetasime pooluse kõrguseks antud kohas.



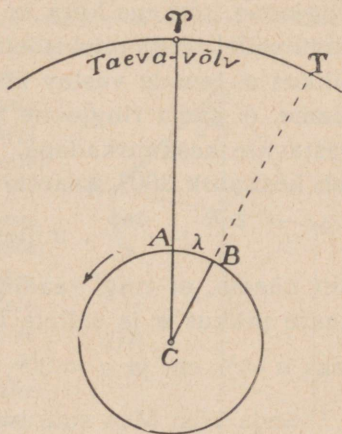
27. joon. Geogr. laius võrduib pooluse kõrgusega.

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.

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 kulmineerub Kapella Tallinnas ja Tartus? Missugusel laiusel kulmineerub ta seniidis?
2. Kui kõrgel kulmineerub Arktuurus Roomas?
3. Leia 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 laius t määrata?

19. Geograafilise pikkuse määramine. Olgu 28. joon. kujutatud Maa ja taevaskera läbilõige ekvaatori tasapinnal. Määrame, näiteks, ekvaatoril asetsevate punktide A ja B geogr. pikkuste vahe. Oletame, et antud momendil kulmineerub kevadpunkt (γ) 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 kulmineerub 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.



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

Sama füüsilise momendi kindlaksmääramiseks on meil kasutada mitmesuguseid võimalusi: telegraafi, radio, telefoni signaalid, kuuvarjutuste

algus- ning lõppmomentid 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.

20. Maa suurus. Eratosthenese meetod Maa suuruse määramiseks. Nagu teame, oli vanal ajal 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 vanal ajal tuntud Maa ulatus esialgu ainult Gibraltarist Kaspia mereni, s. o. umbes 4000 km, ei olnud tol ajal nii suurte kauguste mõõtmine võimalik.

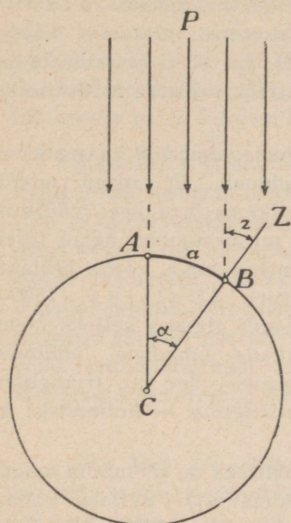
Hõlpsamaks muutus Maa suuruse mõõtmine, lähtudes kera kujust, sest kera suuruse kohta on võimalik otsustada selle pinna võrdlemisi väikese osa põhjal. Kera on täielikult määratud, kui teame tema raadiuse. Vaatame, kuidas on võimalik Maa raadiust mõõta. Kujutame läbi antud koha ja Maa keskpunkti tasapinna 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:

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

Siit näeme, et ringi raadiuse mõõtmiseks on küllalt, kui mõõta kaare pikkus a ja sellele kaarele vastav kesknurk α . Olgu näiteks $a = 1$ cm ja $\alpha = 30^\circ$, siis saame $R = \frac{180 \cdot 1}{\pi \cdot 30} = \sim 2$ (cm).

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. Kr.). Eratosthenese meetod on järgmine. Oletades, et Aleksandria ja Süene (nüüdne Assuan Ulem-Egiptuses) asetsevad samal meridiaanil, määras Eratosthenes nende kohtade kauguse (suure ringi kaare a) ja sellele vastava kesknurga (α). Kau-

guse määramiseks tarvitas Eratosthenes karavanide liikumise põhjal saadud andmeid, mille järgi Süene kaugus Aleksandriast



29. joon. Eratosthenese meetod.

nese mõõtmise täpsust. Võttes staadiumi pikkuseks 300 egiptuse küünart ehk 157,5 m, saame Maa meridiaani pikkuseks Eratosthenese järgi ~ 39 700 km, mis erineb ainult 300 km võrra selle tõelisest pikkusest (40 000 km).

Kuigi Eratosthenes nii täpselt Maa meridiaani pikkuse oleks määranud, siis tuleks seda kahtlemata 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 ~ 3° ida pool, ei ole ka nende geogr. laiuste vahe 70° 12', vaid 70° 7'. Muidugi kõige vähem täpselt oli mõõdetud Aleksandria ja Süene vaheline kaugus.

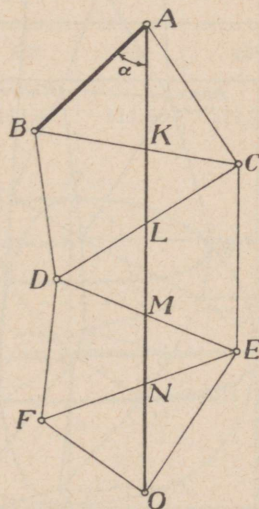
Oligugi Eratosthenese saadud arvud Maa suuruse kohta ekslikud, õige on siiski meetod, mida ta selle juures tarvitas. Eratosthenese meetodit on tarvitanud kõik pärastised Maa suuruse määrajad meie päevini. Ka ei ole Eratosthenese

oli 5000 staadiumi. Kesknurga α määras Eratosthenes astronoomiliselt. Oli teada, et Süenes suvisel pöörpäeval (22. juunil) paistab Päike keskpäeval seniidis, kuna samal ajal Aleksandrias on Päike seniidist 7° 12' eemal. Nagu 29. joon. näha, võrdub niisugusel juhul Päikese seniidikaugus (z) kesknurgaga (α), sest suure kauguse tõttu võime lugeda Päikese kiiri rööpseiks. Asetades saadud andmed valemisse (1), saame:

$$R = \frac{180 \cdot 5000}{\pi \cdot 7\frac{1}{2}} = 40\,000 \text{ (staadiumi).}$$

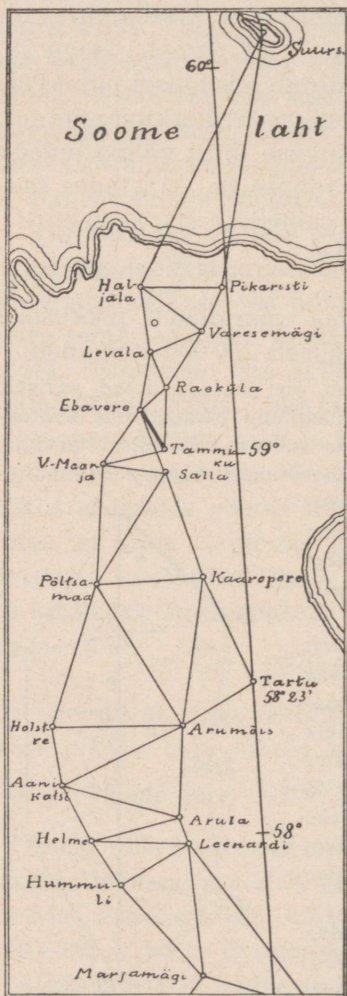
Siit saame Maa meridiaani pikkuseks ($2\pi R$) ümarguselt 250 000 staadiumi.

Kahjuks ei ole seni suudetud päriselt kindlaks teha staadiumi pikkust, mis Eratosthenes oma Maa suuruse mõõtmisel tarvitas. Seetõttu pole ka võimalik hinnata Eratosthe-



30. joon. Triangulatsioonivõrk.

järeletulijad umbes 1800 aasta jooksul suutnud leida uusi teid tema poolt avastatud meetodi rakendamisel. Kuigi geogr. laiuste vahe mõõtmine toimus enam-vähem täpselt, valmistas äravõitmatuid raskusi otsene meridiaani kaarepikkuse mõõtmine mööda maad suuremas ulatuses. Täpsemad resultaadid Maa suuruse kohta saadi alles siis, kui võeti tarvitusele nn. triangulatsioon- ehk kolmnurkade meetod Maa meridiaanikaare mõõtmiseks.



31. joon. Triangulatsioonivõrk Eestis.

21. Triangulatsioonimeetod kaarepikkuse mõõtmisel maapinnal. Et maad mööda samas suunas pikema kauguse mõõtmist takistavad väga mitmesugused asjad (met-sad, veekogud, mäed jne.), võttis hollandi õpetlane Villebrord Snellius (1580—1626) XVII sajandi alguses selleks tarvitusele kolmnurkade omadusel põhineva kaudse mõõtmisviisi. See nn. triangulatsioonimeetod (*triangulus* — kolmnurk) on järgmine.

Olgu meil näiteks tarvit mõõta mööda maad kaare pikkus AO . Selleks valime mõlemal pool sihti AO punktid (B, C, D, E, F, \dots) nõnda, et igapähest neist oleksid näha kõik teised, nii-öelda naaberpunktid, näiteks punktist D on näha punktid B, C, E ning F , jne. See asjaolu võimaldab igas punktis ära mõõta kõik nurgad, mis moodustavad vaatesuunad sellest punktist teistesse naaberpunktidesse. Ühendades 30. joon. tähendatud viisil punktid sirgetega, saame kolmnurkade võrgu ($\triangle ABC, BCD, CDE$ 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 .

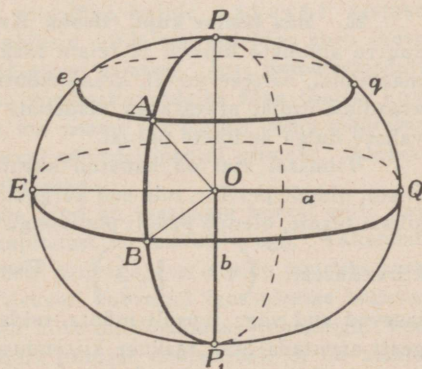
Nagu näha, on pikkuse AO leidmiseks tarvis täpselt mõõta ainult üks kolmnurga külg, mida sel puhul nimetatakse aluseks ehk baasiks. Baasi võime aga alati nõnda valida (näiteks tasasel kättesaadaval kohal), et selle mõõtmine oleks võimalik suure täpsusega. Nii näiteks on praegusajal võimalik mõõta 10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

Suuremate triangulatsioonimõõtmiste hulka kuuluvad XVIII sajandi lõpul Prantsusmaal toimetatud meridiaanikaare mõõtmised meetermõõdukuse 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 läbiminevat meridiaanikaart mõõdeti ja selle tõttu vastav osa kolmnurkade võrgust asetseb Eesti pinnal, nagu 31. joon. näha. Ka oli selle suurema kraadimõõtmise algatajaks ja juhatajaks tolleaegne Tartu ülikooli täheteaduse-professor Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793—1864).

22. Maa kui pöördellipsoid. Lapikus. Meridiaanikaare mõõtmistest saadud andmete läbitöötamisel selgus huvitav tõsiasi: meridiaanikaare raadius suureneb ekvaatorilt 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

Siit järeldub, et Maa pole mitte päris kerakujuline, vaid pisut kokku surutud ehk lapik pöörlemistelje sihis. Geomeetristest kujunditest vastab sellele Maa kujule kõige rohkem nn. pöördellipsoid, mille lühem ja ühtlasi pöörlemistelje vastaks Maa teljele. 32. joonis kujutab tublisti liialdatud Maad pöördellipsoidina. Selle järgi oleksid kõik meridiaanid ellipsid, ekvaator ja rööbikud ringjooned. Praegusel ajal loetakse kõige täpsemaiks Maa ellipsoidi suuruse andmeiks Hayfordi



32. joon. Ellipsoid.

omi (1906), mis 1911. a. täheteadlaste rahvusvahelise konverentsi poolt vastu võetud. Selle järgi on

Maa ellipsoidi ekvaatoripooltelg $a = 6378,4$ km

„ „ poolusepooltelg $b = 6356,9$ „

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

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

Sageli tarvitatakse Maa, samuti ka teiste taevakehade kuju iseloomustamiseks l a p i k u s e (α) mõistet, mille all mõeldakse pooltelgede pikkuste vahe ($a-b$) suhet suurema poolteljega (a). Lapikus näitab, kuivõrra 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. Joonesta papitükile niidi abil ellips, lõika välja, pista telje sihis sukavarras läbi ja pane papitükk kiiresti pöörlema! Pöörlemisel tekib pöördellipsoid. Tekita sedaviisi pöördellipsoid pikema ja lühema pöörlemisteljega!

2. Võrdle pöördellipsoidi (Maad) apelsini (õuna) ja sidruniga!

3. Kui suur on kera lapikus?

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

Kas oleks võimalik palja silmaga seda vahet märgata?

23. **Maa tõeline kuju. Geoid.** Kraadimõõtmiste korraldamine on seotud suurte ainelistel kulude ja teiste raskustega. Ka ei ole võimalik igal pool maapinnal, näiteks merel, kraadimõõtmist ette võtta. Seepärast tuleb ainult kraadimõõtmist arvestades otsustada Maa kui terviku kuju üle võrdlemisi vähese hulga andmete põhjal.

Viimasel ajal on hakatud kasutama Maa kuju uurimisel väga lihtsat riista, nimelt pendlit, mis end kergesti igal pool rakendada laseb. Nagu füüsikast teame, oleneb pendli poolvõngu vältus pendli pikkusest ja Maa raskuse

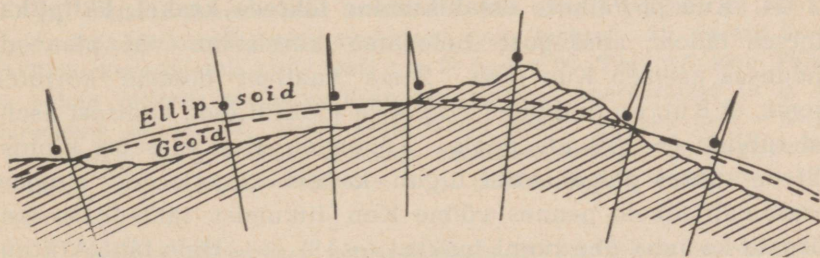
kiirendusest $\left(t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \right)$. Pendli pikkus (l) ja poolvõngu vältus (t)

lasevad end väga täpselt mõõta, mida teades võime pendli valemi abil kergesti arvutada Maa raskuse kiirenduse (g). Gravitatsiooniseadusest teame, et raskuskiirendus oleneb kaugusest Maa keskpunktist (õigemini raskuspunktist). Tähenab, antud koha raskuskiirenduse (g) suuruse põhjal

võime otsustada selle koha kauguse üle Maa keskpunktist. Mis pendli tarvitamise eriti väärtuslikuks teeb, on tema suur tundlikkus.

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 mandri tihedusest, oleks võinud oodata pendlikatsetest hoopis vastupidiseid tulemusi.

Suurest hulgast vaatlusist pendli abil on jõutud otsusele, et pöördellipsoid ei vasta mitte täiesti Maa tõelisele kujule, vaid Maa tõeline pind asetseb kohati kõrgemal, kohati madalamal pöördellipsoidi pinnast. Tõsi küll, erinevus ei ole kuigi suur, umbes ± 100 m, kuid ta on olemas. Seega tuleb üldse loobuda katsest leida lihtsat geomeetrilist kujundit, mis vastaks Maa



33. joon. Geoid.

tõelisele kujule, samuti ka võttest ainult kraadimõõtmiste abil määrata Maa tõelist kuju. Iga geomeetriline 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 tõelise 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. Täheandab, ka merepind on igal pool risti raskustungi suunaga, sest muidu puuduks tasakaal. Kujutleme nüüd, et mandril oleksid kaevatud igas suunas sügavad merepinna alla ulatuvad kanalid ja nad kõik on ühenduses ookeaniga. Vee-pind kanalis asetseb loomulikult mandri pinnast madalamal, ta on samuti risti raskustungiga ning merepinna otseseks jätkuks. Merepind ühes sel viisil saadud laiendusega mandrile moodustab pideva kinnise pinna, mis

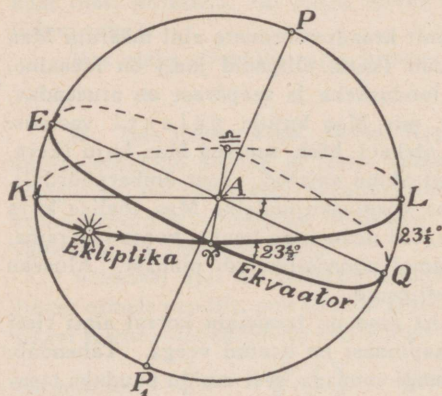
Maad igalt poolt ümbritseb ja geoidi nime kannab. Geoidi põhiomaduseks on see, et ta igas punktis on risti raskustungiga, tähendab, geoid on õieti nivooipind. 33. joon. püüab selgitada geoidi ja ellipsoidi käiku. Nagu näha, asetseb geoidi mere kohal olev osa ellipsoidist madalamal, kuna mandri kohal on lugu ümberpööratud. 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 kuski leitud.

V. Päikese näiv aastane liikumine.

24. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel. Ekliptika.

Paneme tähele, missuguse heledama kinnistähe või planeedi läheduses asetseb 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 kinnistähtede 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 lääne-taevas. Oktoobri lõpul kaob ta ehavalgusse. Novembris aga võime Arktuurust juba näha hommikuti koidu ajal. Seega on Päike tema suhtes nihkunud vasemale. — 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 vasemale (ida) poole, tehes aasta

jooksul täie ringi. Täpsemalt võime kindlaks teha Päikese liikumise taevaskeral koordinaatide määramise abil päevast päeva.



34. joon. Ekliptika.

jooksul täie ringi. Täpsemalt võime kindlaks teha Päikese liikumise taevaskeral koordinaatide määramise abil päevast päeva.

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** moodustab suure ringjoone $K\Upsilon L$ (34. joon.), mis lõikub ekvaatoriga (EQ) $23\frac{1}{2}^{\circ}$ nurgi. Päikese liikumine ekliptikal toimub vastupidises suunas taevaskera pöörlemise suunale (vastupäeva, läänest itta). Kevadisel pöörpäeval (21. märtsil) asetseb Päike ekliptika ja ekvaatori lõikepunktis, nn. kevadpunktis (Υ), jätkates sealt liikumist ida suunas. Tagasi kevadpunkti jõuab Päike järgmise aasta kevadiseks pöörpäevaks (21. III).

25. Päikese koordinaatide muutumine. 34. joon. põhjal on kerge jälgida Päikese koordinaatide muutumist aasta jooksul. 21. märtsil asetseb Päike kevadpunktis (Υ); tema $\alpha = 0^h$ ja $\delta = 0^{\circ}$. Tee ΥL käib Päike ära 3 kuu jooksul; seejuures 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 --- (sügispunkt, 23. sept.) on Päikese $\alpha = 12^h$, $\delta = 0^{\circ}$ ja punktis K (22. detš.): $\alpha = 18^h$, $\delta = -23\frac{1}{2}^{\circ}$.

1. 34. joon. põhjal katsu 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? Vasta sama küsimus käände kohta!

3. Joonesta ekliptika ja ekvaator ning tähista, kus kohal (ligikaudu) asetseb Päike täna (vst. 21. apr., 6. mail, 20. juunil, 10. okt., 25. jaan.)! Leia joonise abil nende päevadele vastavad Päikese koordinaatide suurused!

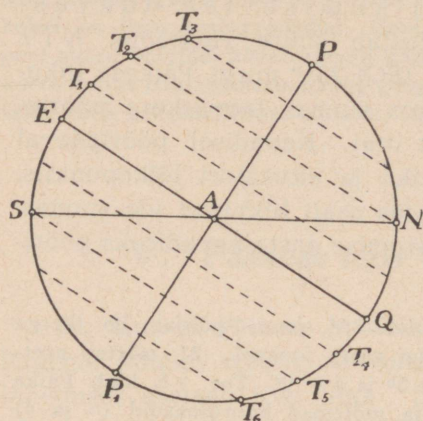
4. Millal veereb Päike otse läänes ja tõuseb idas?

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

6. Missuguse joone moodustab Päikese aastane tee ümber maailmatelje?

26. Päeva pikkuse olenevus Päikese deklinatsioonist. Suure ringina lõikab horisont taeva-ekvaatori pooleks (35. joon.). Järelikult on kõik taevakehad, mis asetsevad ekvaatoril ($\delta = 0^{\circ}$), ööpäeval ümber maailmatelje 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 $\delta = 0^{\circ}$.

Ka selgub 35. joonisest, et deklinatsiooni suurenedes pikeneb taevakeha horisondi kohal olemise aeg, deklinatsiooni vähenedes toimub vastupidine nähtus. Nii näiteks täht T_1 , mille kääne



35. joon. Päeva pikkuse olenevus käändest.

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.

Küsimust Päikese kohta otsustades näeme, et päev on seda pikem, mida suurem on Päikese deklinatsioon, ja ümberpöörduvalt. Järelikult on päev kõige pikem 22. juunil, sest siis on δ maks., ja kõige lühem 22. dets., sest siis on δ miin.

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

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

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

2. Jälgi kalendris päeva pikkuse muutumist suvise ja talvise, kevadise ja sügisese pööripäeva aegu! Nimeta muutuse suurus päevas minutites! Millal muutub päeva pikkus kõige kiiremini, millal kõige aeglasemalt?

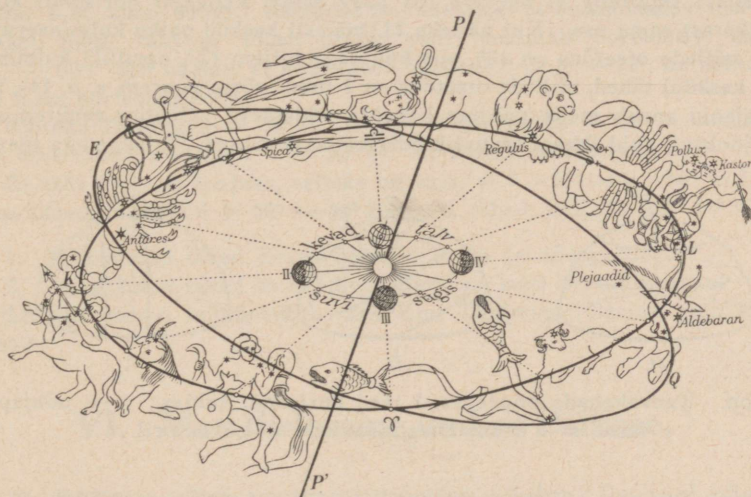
3. Rahvakalendri järgi „seisab“ Päike suvise ja talvise pööripäeva paiku 2 nädalat. Millega on see arvamus põhjendatud?

27. Zodiaagi tähtkujud. Pöörijooned. Liikudes taevaskeral mööda ekliptikat läheb Päike aasta jooksul läbi järgmiste tähtkujude, peatudes igaühes neist umbes kuu aega: Jäär, Sõnn,

Kaksikud, Vähk, Lõvi, Neitsi, Kaalud, Skorpion, Ambur, Kaljukits, Veevalaja, Kalad.

Neid tähtkujusid on kerge meeles pidada järgmise ladinakeelse salmiku abil:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.



36. joon. Zodiaagi tähtkujud.

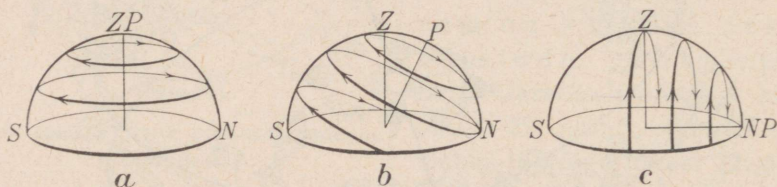
Et ekliptika läheduses olevad tähtkujud kannavad suuremalt jaolt loomade nimesid, siis nimetatakse neist tähtkujudest moodustatud võõd taevaskeral looma- ehk zodiaagivõõks.

Taevaparalleeli, millel asetseb Päike 22. juunil (δ on siis maks.), nimetatakse Vähi pöörijooneks; paralleeljoont, millel asetseb Päike 22. dets. (δ on siis miin.), nimetatakse Kaljukitse pöörijooneks. Need on äärmised ehk ekvaatorist kõige kaugemad ($23\frac{1}{2}^0$) rööbikud, millel liigub Päike.

1. Nimeta tähtkujud, milles asetseb Päike üksikuil kuuldel, märtsist alates, teades, et sel kuul Päike asetseb Kalade tähtkujus!
2. Missugused tähtkujud kulmineeruvad täna kesköööl?

28. Tähistaeva välisilme muutumine aasta jooksul. Kinnistähtede vastastikune asend taevaskeral ei muutu. Seepärast ei muutu taevaskeral ka tähtkujude välisilme aasta jooksul. Suur Vanker või Orion paistab meile alati ühesugusena, vaatleme teda sügisel või kevadel, õhtul või südaööl. Ja et kõigi kinnistähtede 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 püsi tähtede keskel paigal, vaid liigub mööda ekliptikat, siis sellest tingituna ei näe me iga päev samal kellaajal horisondi kohal taevaskerast sama osa. Kui näiteks 21. märtsil kesköö paiku kulmineeruvad tähed, millede otsetõus on 12^h , siis kuu aega hiljem (21. aprillil) kulmineeruvad keskööl tähed, millede otsetõus on 2 tunni võrra suurem, s. o. 14^h , jne. See asjaolu annab meile põhjust kõnelda tähistaeva välisilme muutumisest aasta jooksul, kuid ikkagi teatud kindla kellaaaja suhtes. Tahame aga taevast



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

näha samasugusena, siis peame muutma vaatluse kellaaega. 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.

29. Taevaskera pöörlemine erisugustel geograafilistel laiustel. Mittetõusvad ja mitteloojuvad tähed. Põhjapoolusel on horisondi tasapind risti maailma-teljega ja seetõttu ta ühtib taevaekvaatoriga. Kõik taevareöbikud on asetatud rööbiti horisondiga ning tähed oma ööpäevasel liikumisel ei muuda oma kõrgust horisondi suhtes (37. joon., *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 öö.

Keskmistes laiustes toimub taevakehade ööpäevane pöörlemine nõnda, nagu see meile kõigile tuntud (37. joon., *b*).

Ekvaatoril on maailma-telg horisondi-tasapinnas ($\varphi = 0$), seega on taevareöbikute tasapinnad asetatud horisondiga risti. Tähed tõusevad horisondil püsti üles, samuti loojuvad püsti horisondi alla (37. joon., *c*). Nad kõik on niisama palju aega horisondi kohal kui horisondi all.

Nagu 37. joon. nähtub, on põhjapoolusel nähtavad kõik taeva põhjapoolkera tähed ($\delta \geq 0$), ekvaatoril aga kõik põhja- kui ka lõunapoolkera tähed. Põhjapooluse ja ekvaatori vahel on nähtavad kõik põhjapoolkera tähed ja osa lõunapoolkera tähti, olenedes koha geograafilisest laiusest. 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.

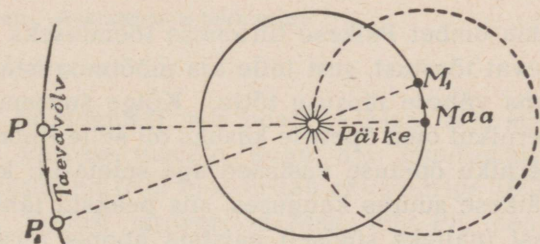
Näiteks Tallinna $\varphi = 59^\circ 26'$, ja $\varphi - 90^\circ = 59^\circ 26' - 90^\circ = -30^\circ 34'$. Seega kõik tähed, millede $\delta > -30^\circ 34'$, on Tallinnas nähtavad.

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 $\delta > 31^\circ 37'$.

1. Missugused tähed Eestis üldse ei looju (ei tõuse)?
2. Missugused tähed on nähtavad Roomas, kuid Berliinis mitte?
3. Kui kõrgel kulmineerub täna Kuu Tallinnas (Tartus, sinu kodukohas)?

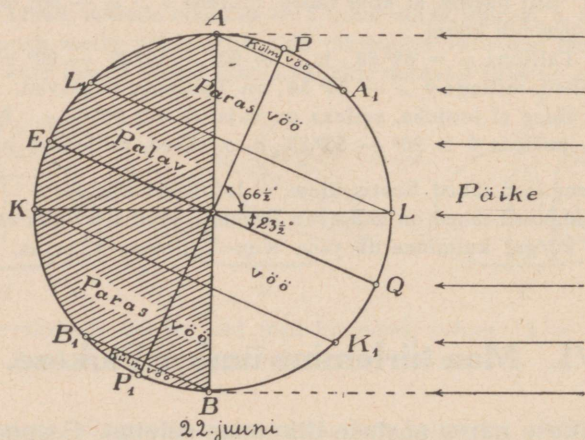
VI. Maa tiirlemine ümber Päikese.

30. Päikese näiva aastase liikumise seletus. Eespool nägime (§ 24), et Päike liigub taevaskeral tähtede keskel mööda ekliptikat, tehes täisringi ühe aasta jooksul. Päikese mööda ekliptikat liikumist võime seletada oletades, et Maa (M) seisab paigal ja Päike (P) tiirleb ümber Maa (punkttiirring) ning seetõttu paistab 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 $e n e s e$ asen-



38. joon. Päikese näiv liikumine seletub Maa tiirlemisega.

dit, näeme Päikest taevaskeral järjest uutes asendites. Nagu 38. joonisest näha, on mõlemal juhul Päikese liikumissuund taevavõlvil ühesugune. Esimest oletust tarvitasid vanaaja astronoomid (Ptolemaios), teise seletusviisi põhjendajaks oli Kopernik. 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 ümberpöördult. Kopernikul ei olnud võimalik esitada

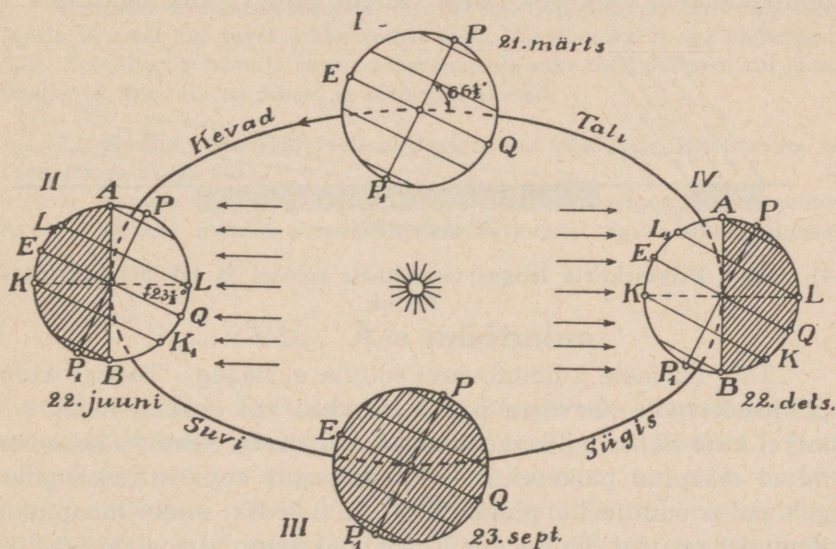


39. joon. Maa telg moodustab ekliptikaga nurga $66\frac{1}{2}^{\circ}$.

Maa ümber Päikese tiirlemise tõenduseks ühtegi vaatlustel põhinevat tõestust, sest tolle aja mõttmisriistad ei võimaldanud seda oma vähese täpsuse tõttu. Kõige suuremaks argumendiks Kopernikul oma õpetuse kasuks oli selle lihtsus ja loomulikkus. Koperniku õpetuse vastased aga seletasid: kui Maa liiguks ümber Päikese suures kauguses, siis peaksid tähtkujud poole aasta pärast (näiteks sügisel) paistma hoopis teissugustena kui praegu (näiteks kevadel), sest poole aasta pärast asetseb Maa endisest asendist umbes 300 000 000 km (Maa tee läbimõõt) võrra eemal. Kopernik ja tema õpetuse pooldajad seletasid tähtkujude välimuse muutumatust nende suure kaugusega Maast, kus isegi 300 000 000-km-ne edasinihkumine ruumis osutub liiga väikeseks.

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

31. Aastajaad. Taevaskera ööpäevase pöörlemise seletami-
sel nägime, et maailma-telje siht pole õieti muud midagi kui
Maa pöörlemistelje siht. Et aga maailma-telg oma sihti ruumis



40. joon. Aastajaegade tekkimine.

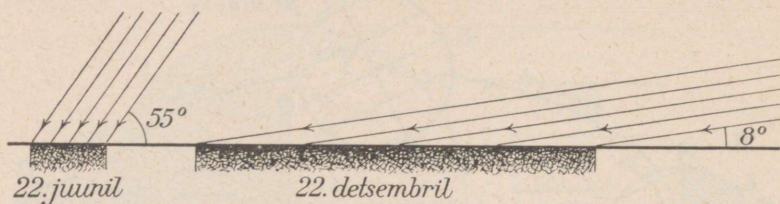
ei muuda (millest seda järelname?), siis peab ka Maa telje siht
Maa tiirlemisel ümber Päikese püsima kogu aja muutumatu.
Ekliptika ehk Maa tee tasapind (KL) moodustab ekvaatoriga (EQ)
nurga $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (39. joon.). Sellest järgneb, et Maa telg PP_1 peab
moodustama ekliptikaga nurga $66\frac{1}{2}^{\circ}$. Vaatame nüüd, kuidas on
võimalik Maa ümber Päikese tiirlemise abil seletada aastajaegade
tekkimist (40. joon.).

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

ning soojendab täiesti ühteviisi 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 põhjapolaarvöös kestab päev üle 24^h, lõunapolaarvöös aga on öö. Päike asetseb 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 talv.



41. joon. Päikesekiirte langus maapinnale suvisel ja talvisel pööripäeval Tartus.

Talv on meie külmim, suvi soojim aasta-aeg. Talvise külma põhjuseks pole seevõrra 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. Selle nähtuse põhjus peitub asjaolus, et 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 aastaagadeks on võetud aluseks Päikese käände muutumine, nimelt: kevadeks nimetame aastaaega, mille jooksul Päikese kääne muutub 0° -st maksimumini ($+ 23\frac{1}{2}^{\circ}$), suveks aastaaega, mille jooksul Päikese δ muutub 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 Maa ei asetse Päikesele kõige lähemal mitte talvisel pööripäeval, vaid hiljemini (3. jaan.), seepärast pole ülaldefineeritud aastaajad oma vältuse poolest võrdsed. Põhjapoolkeral on kõige pikem aastaaeg suvi — 93 p. 14 t., siis kevad — 92 p. 21 t., sügis — 89 p. 18 t. ja talv — 89 p. 1 t.

Ka pole huvitusega märkida, et meil (põhjapoolkeral) on Päike talvel Maale lähemal kui suvel (vahe umbes 3%), lõunapoolkeral aga ümberpöörduvalt. Seetõttu on talve ja suve temperatuuride vahe meil väiksem kui lõunapoolkeral, kus talv on pikem ja külmem kui meil.

1. Kuidas toimuksid meil aastaajad, kui Maa telg moodustaks tee tasapinnaga nurga 90° ?

2. Nimeta Maa vööde erinevusi Päikese kulminatsioonikõrguse suhtes! Arvuta Päikese kulminatsioonikõrgus pöörijoontel iga aastaaja alguses!

VII. Aja mõõtmine.

32. Täheaeg. Me teame, et tähe öö-päevaks nimetatakse aja vahemikku, mille jooksul taevaskera teeb ühe täistiiru. Peale selle teame veel, et tähe öö-päev oma konstantsuse tõttu on sünnis ajamõõtmise põhiühikuks. Tahame nüüd tähe öö-päevadega aega mõõta, siis peame valima teatud momendi, millest antud kohas tähe öö-päevi lugema hakkame, s. o. null- ehk algusmomendi. Harilikke ehk nn. kodanlikke öid-päevi loeme keskööst, s. o. kl. 12 öösi. Tähe öö-päeva alguseks antud kohas võetakse kevadpunkti ülemise kulminatsioonimoment selles kohas. Siit järgneb, et täheaeg on ühesugune ainult kõigil neil kohtadel, mis asetsevad sama keskpäeva-joone (meridiaani) sihis, sest kõigil neil kohtadel on kevadpunkt samal momendil ülemises kulminatsioonis. Antud kohast ida pool algab tähe öö-päev varemini, lääne pool hiljemini, sest taevaskera pöörleb idast läände ja seetõttu kulmineerub kevadpunkt idapoolsetes kohtades varemini 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 15⁰ võrra; 2 tähetunni pärast näitab tähekell 2^h ning taevaskera on pöördunud 30⁰ 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. tä h e k e l l a k s. 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 tä h e k e l l a n u m b r i l a u d a, mis 24 tähetunni jooksul korra maailma-telje ümber pöörduv. Selle numbrilaua raoks (osutiks) võime lugeda sirget, mis läheb läbi Põhjvanaela, Kassiopeja 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 15⁰ võrra lääne poole, näitab tähekell 1^h jne.

33. Ligikaudne täheaja määramine antud momendil. Ligikaudselt võime määrata täheaega antud momendil järgmiselt. Nagu juba teame, asetseb Päike kevadisel pööripäeval (21. märtsil) kevadpunktis. Järelikult kulmineeruvad 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 kulmineerub 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 täheaja 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
— — — — —	— — — — —
21. okt. kl. 12 l. on täheaeg	14 ^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 tabelleid.

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. $1/26$ hommil!
4. Mis näitas tähekell sinu sündimise momendil?

34. Side täheaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsioonimomendil. Aegnurk. Olgu meil taevakeha T 13. joon. tähendatud asendis. Tema otsetõusu möödab $\widehat{\gamma B}$, deklinatsiooni \widehat{BT} . Kaar $\widehat{\gamma BQE}$ möödab täheaega, mis on möödunud kevadpunkti eelmisest ülemisest kulminatsioonist, s. o. täheaega (t) praegusel momendil. \widehat{BQE} möödab aega, mis on möödunud antud taevakeha (T) eelmisest ülemisest kulminatsioonist. Nimetame selle ajavahemiku taevakeha T aegnurgaks (H) antud momendil. Joonisest saame:

$$\widehat{\gamma BQE} = \widehat{\gamma B} + \widehat{BQE} \quad (1)$$

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

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

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

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

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

s. o. tähe (üldsetaevakeha) kulminatsioonimomendil antud kohas võrdub täheaeg selles kohas kulmineeruva tähe otsetõusuga.

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

a) Missugused tähed kulmineeruvad antud kohas antud momendil?

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

Antud kohas kulmineeruvad antud momendil kõik need tähed, mille otsetõus (ajas) võrdub selle koha täheajaga samal momendil.

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

Leiame antud 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 öhtul aga $(12 + 6)^h 16^m$ ehk $18^h 16^m$. Järelikult kulmineeruvad kõik need tähed, mille otsetõus on $18^h 16^m$ (vt. järele kaardilt või tabelist).

b) Millal kulmineerub antud kohas antud täht?

Valemist (3) sarnaselt eelmise reegluga järgneb:

Antud täht (taevakeha) kulmineerub antud kohas siis, kui täheaeg selles kohas võrdub antud tähe otsetõusuga.

Näide. Millal kulmineerub Algol ($\alpha = 3^h 18^m$) 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 $10^h 36^m$. Võrreldes täheajaga lõunal ($10^h 36^m$) Algoli otsetõusuga ($3^h 18^m$) näeme, et esimene on suurem viimasest $10^h 36^m - 3^h 18^m$, s. o. $7^h 18^m$ võrra. Tähendab, $7^h 18^m$ enne kl. 12 l., s. o. kl. 4.42 min. homm. võrdub täheaeg Algoli otsetõusuga, järelikult Algol kulmineerub kl. 4.42 min. hommikul.

1. Missugused tähed kulmineeruvad, kui täheaeg on: $4^h 30^m$; $10^h 45^m$; $17^h 20^m$; $22^h 0^m$?
2. Missugused tähed kulmineerusid sinu sündimise momendil?
3. Missugused tähtkujud asetsevad praegu meridiaanil?
4. Missugune on täheaeg, kui kulmineeruvad tähed Vega, Siirius, α Andromedae?
5. Mis kella ajal kulmineerub täna Siirius, Algol, Betelgeuse, Kuu, Jupiter, Veenus, Marss ja Saturn?
6. Millal kulmineerub täna kevadpunkt?

35. Tõeline ja keskmine päikeseaeg. Hoolimata sellest, et tähe öö-päev ideaalselt konstantse ajavahemikuna on meile kergesti kättesaadav, ei ole täheaeg siiski tarvitamist leidnud igapäevases (kodanlikus) elus. Selle põhjuseks on asjaolu, et meie töö- ja puhkusaeg on ligidalt seotud päeva ning ööga, mis oleneb Päikese ööpäevasest liikumisest. Seetõttu on otstarbekas võtta tarvitusele igapäevases elus päikeseaeg.

Nimetame **tõeliseks päikese ööks-päevaks** ajavahemikku Päikese kahe teineteisele järgneva samanimelise kulminatsiooni

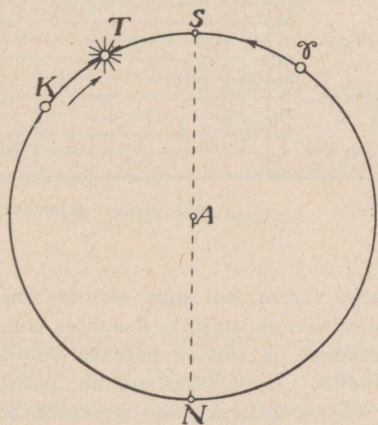
vahel, s. o. näiteks ajavahemikku Päikese ülem. kulminatsioonist järgmise ülem. kulminatsioonini. Kahjuks ei ole kõik tõelised päikese ööd-päevad võrdsed. Selle põhjuseks on asjaolu, et Päike ei liigu mööda ekliptikat ühtlaselt ja ekliptika ei ole ekvaatoriga paralleelne. Seepärast ei kõlba tõeline päikese öö-päev 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.

Päikese kulminatsioonist kõneldes mõeldakse alati Päikese ketta tsentri kulminatsioonimomenti.

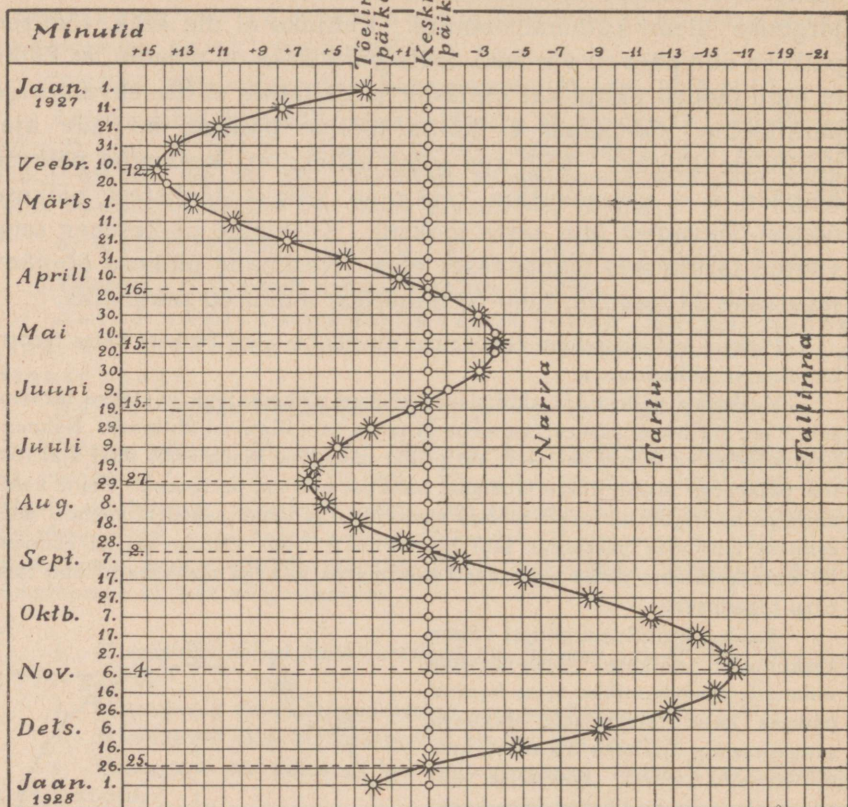
Keskmise päikeseaja sidumiseks tõelise päikeseajaga võetakse tarvitusele 2 nn. fiktiivset päikest, esimene ja teine, mis liiguvad ühtlaselt. Esimene keskmine päike liigub ühtlaselt ekliptikat mööda ja läheb välja ühel ajal tõelise päikeseaga Maale kõige lähemast punktist ehk nn. perigeest. Teine keskmine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

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

36. Ajavõrrand. Tõelise ja keskmise (teise) päikese otsetõusid iga päeva kohta kogu aasta jooksul arvutades näeme, et vahel on suurem tõelise päikese otsetõus, vahel ümberpöörduvalt. Sellest järgneb, et tõeline päike ei kulmineeru mitte alati kl. 12 l., nagu keskmine päike, vaid vahel varemini, vahel hiljemini. Muidugi enne kulmineerub see päike (täht), mis asetseb kevadpunktile lähemal, s. o. mille otsetõus on väiksem, ja nimelt nii-



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



43. joon. Ajavõrrandi muutumise graafik.

palju varem, kui suur on otsetõusude vahe ajas (42. joon.). Antud juhul kulmineerub vaatleja *A* suhtes enne täht *T*, siis hiljemini *K*. Ajavahemikku keskmise ja tõelise päikese kulminatsioonimomentide vahel nimet. ajavõrrandiks. Ajavõrrand näitab, palju tuleb tõelisele ajale juurde panna (kas + või -ga), et saada keskmist aega.

Ülaltoodud graafik (43. joon.) näitab ajavõrrandi muutumist kogu aasta jooksul. Siit võime iga päeva kohta määrata ajavõrrandi ligikaudse suuruse. Ühtlasi selgub siit, millal kulmineerub tõeline päike ühes keskmisega (leida lõikepunkt!) ja millal ta asetseb kõige kaugemal sellest. Kui aga tarvitusel pole mitte kohalik keskmine aeg (kell näitab 12, kui keskmine päike kulmineerub), vaid mõne teise koha aeg, näiteks nn. Ida-Euroopa kella-

aeg, siis sellele vastavalt erineb ka tõelise päikese kulminatsioonimoment keskpäevast. Graafikul tõmmatud jämedad püstjooned näitavadki tõelise päikese kulminatsioonimomendi ja Ida-Euroopa aja keskpäeva vahet Narvas, Tartus ja Tallinnas. Siit selgub, et Ida-Euroopa aja järgi näiteks Tallinnas tõeline päike ei kulmineeru kunagi kl. 12 lõunal, vaid hiljemini, 12. veebruaril koguni 35 min. hiljem.

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

2. Kumb kulmineerub täna enne ja mitu minutit: kas keskmine või tõeline päike?

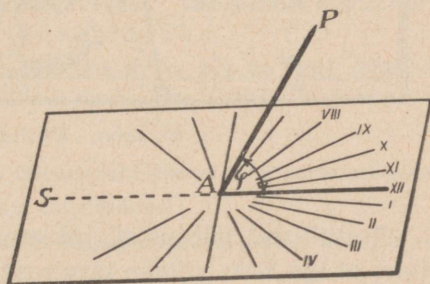
3. Millal paistab Päike Narvas (Tartus, Tallinnas, Kuressaares) kl. 12 otse lõunas?

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

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

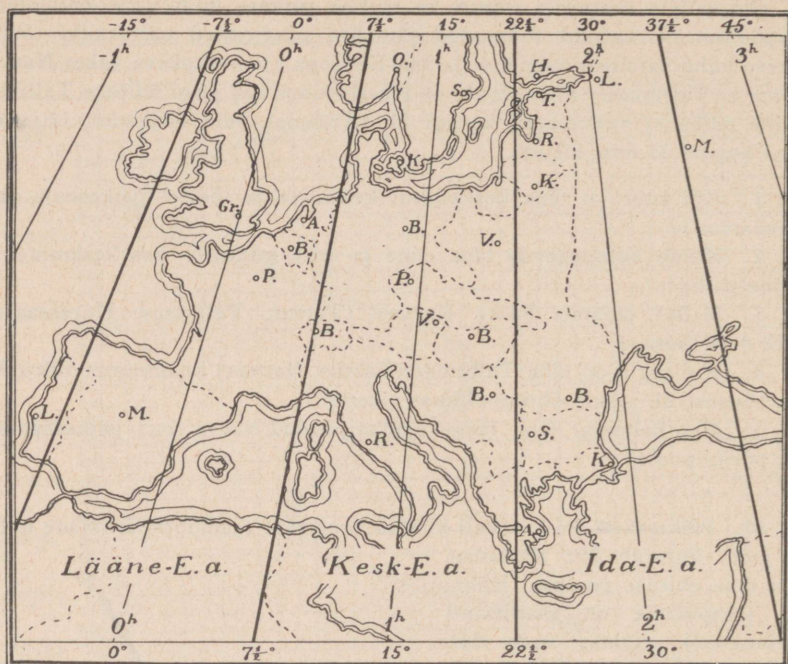
37. Päikese kell. Päikese kell kuulub vanemate ajamõõtmisriistade hulka.

44. joon. kujutab üht lihtsamat neist oma ehituse poolest. Röntsale tasapinnale on kinnitatud maailma-telje suunas varb AP . Kulminatsioonimomendil langeb AP vari keskpäeva-joone SA suunas. Märgime ära varju suuna iga tunni tagant enne ja pärast kulminatsioonimomenti. Sedaviisi saame numbrilaua, mis näitab tõelist päikeseaega. Keskmise päikeseaja saamiseks peame arvestama ajavõrrandit ja kohaliku ning ametliku kellaaja vahet (§§ 36 ja 38).



44. joon. Päikese kell.

38. Kohalik ja ühtlusaeg. Me teame, et öö-päeva alguseks on keskmise päikese alumise kulminatsiooni moment. Kl. 12 öösi on seega keskmine päike selles kohas alumises kulminatsioonis. Sedaviisi mõõdetud aega nimetatakse kohalikuks ajaks. Ainult samal meridiaanil asetsevail punktidel on sama kohalik aeg. Et taevaskera pöörleb idast läände, siis on näiteks Tartu kohalik aeg Tallinna kohalikust ajast ees, Narva kohalikust ajast taga jne.



45. joon. Ühtlusaegade ribad.

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, mille 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 7½° ida ja niisama palju lääne poole (45. joon.). See on nn. Lääne-Euroopa kellaeg.

Järgmises ribas ida poole on maksev nn. Kesk-Euroopa kellaeg, mis on Greenwichi ajast 1^h võrra ees. Veel järgmises ribas

on tarvitusel nn. Ida-Euroopa kellaaeg, mis on Gr-i ajast 2^h ees, jne.

Meil on praegu tarvitusel Ida-Euroopa kellaaeg. Ta on Tartu kohalikust ajast 13 min., Tallinna kohalikust ajast 21 min. võrra ees (vt. 43. joon.).

D a a t u m i r a j a. Kujutleme, et kaks maailmarändurit, Westman ja Eastman, väljusid reisule Londonist 15. okt. Esimene neist läks teele lääne, teine ida suunas. Westman peab igale uuele ühtlusaja ribale jõudes oma kella ühe tunni võrra taha, Eastman aga vastavalt ette lükkama. Mõlemad maailmarändurid kohtusid Greenwichi vastasmeridiaanil. Selleni oli Westman oma kella 12 tunni võrra taha, Eastman aga 12 tunni võrra ette lükanud, seega oli mõlema ränduri kellaaegade vahe muutunud 24 tunni ehk terve öö-päeva võrra. Kuidas nüüd lugeda kuupäevi? Westman tõendab, et on 5. nov., Eastman aga, et on 6. nov. Ja mõlemal on omast kohast õigus. Sääraste sekelduste ärahoidmiseks 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 vastavalt 1 päeva võrra suurendada. Sel teel säilitatakse kokkukõla reisijate ja kohalike elanikkude nädala- ning kuupäevade vahel. Greenwichi vastasmeridiaani aga nimetatakse seetõttu **d a a t u m i r a j a k s**.

Et lääne poole startiv rändur kaotab ühe päeva, siis on tema „päevad“ seetõttu pikemad kui 24^h, ida poole startiv rändur aga võidab ühe päeva ning tema „päevad“ on lühemad kui 24^h.

1. Missuguseid maakohti läbib Greenwichi vastas- ehk antimeridiaan?
2. Nimeta hõlbustused ühtlusaja tarvitamisel!
3. Leia, kui palju on Eesti ida- ja läänepoolseima punkti kohalik aeg Ida-Euroopa kellaajast taga!
4. Kui palju erineb meie kodumaa linnades kohalik aeg seaduslikust (ametlikust) ajast?
5. 45. joon. põhjal jälgi, missuguses ühtlusaja ribas asetsevad tähtsamad Euroopa riigid.

39. Troopiline ja kodanlik aasta. Kalender. Ööst-päevast suurem loomulik ajavahemik, mille järgi loodus ja inimene oma elu korraldab, 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 ja sellest, nagu teame, oleneb 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 kokkukõlas troopilise aastaga, kui looduse elu loomuliku perioodiga. Ka on praktilisil põhjusil tarvilik, et kodanliku aasta algus langeks ühte kodanliku öö-päeva algusega (kl. 12 öösi). Mispärast? Need praktilised nõuded teevad kodanliku aasta korraldamise kaunis raskeks. Kodanliku ajaarvamise ehk kalendri korraldamiseks on tehtud väga palju ettepanekuid, millest suuremal määral tarvitamist on leidnud kaks: juuliuse ja gregooriuse kalender.

40. 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 kaunis lähedal. Selleks lahutame troopilise aasta pikkuse päevades reaks järgmiselt:

$$\begin{aligned}
 365,2422 &= 365 + 0,24 && + 0,0022 \\
 &&& + 0,01 - 0,01 + 0,0003 - 0,0003 \\
 \hline
 365,2422 &= 365 + 0,25 - 0,01 + 0,0025 - 0,0003 \\
 &= 365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} - 0,0003
 \end{aligned}$$

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 ($-\frac{3}{400} - 0,0003$) 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 järge-

mööda 365-päevased ehk **lihtaastad**, kuna neljas aasta on 366-päevane ehk **lisapäeva-aasta**.

Juuliuse kalendri pani kehtima Rooma riigi valitseja Julius Caesar a. 45 e. Kr. Selle järgi olid lisapäeva-aastateks 45., 41., 37., ... 9., 5. ja 1. aasta enne Kr. Järelikult pärast Kr. olid **l i s a p ä e v a - a a s t a d** 4., 8., 12. jne., s. o. **k õ i k a a s t a d**, mille **a r v j a g u b n e l j a g a**. Saadud lihtsa juhise abil on alati kerge määrata, kas on antud aasta juuliuse kalendri järgi liht- või lisapäeva-aasta. Lisapäev lisatakse juurde veebruarikuu lõppu, millel on selle tõttu 29 päeva.

Juuliuse kalender on väga lihtne, kuid vähe täpne. Nagu arendusreast näha, ei arvestanud me rea kolmandat liiget ($-\frac{3}{400}$), mis annab 400 aasta jooksul 3 päeva. Et kodanlik aasta troopilisest ei erineks, tuleks juuliuse 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 juuliuse kalendrist 3 päeva järgmisel viisil välja jätta. Vana vea äraparandamise tõttu võis juuliuse 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 väljajätavad päevad 400 aasta kohta enam-vähem ühtlaselt ära jaotada. Lihtsa reegli saamiseks otsustati **v ä l j a j ä t t a l i s a p ä e v a d** (366-es) **n e i s t t ä i s - a a s t a s a d a d e s t** (**1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300, 2500** jne.), **k u s s a d a d e a r v e i j a g u n e l j a g a**, **k u n a n e e d t ä i s a a s t a s a j a d** (**1600, 2000, 2400** jne.), **k u s s a d a d e a r v j a g u b n e l j a g a**, endiselt **l i s a p ä e v a - a a s t a i k s j ä ä v a d**. Sellega saavutati enam-vähem ühtlane 3 päeva väljajätmine juuliuse kalendrist iga 400 aasta kohta ja reegli lihtsus.

Lühidalt võime kõike eelöeldut kokku võtta järgmiselt: gregooriuse kalender on parandatud juuliuse kalender. Parandus seisab ainult selles, et loetakse lihtaastaiks kõik need täis-aastasajad (aastate arv lõpeb 2 nulliga), mille sadade arv ei jagu neljaga (1700, 1800, 2500 jne.), kuna nad juuliuse kalendri

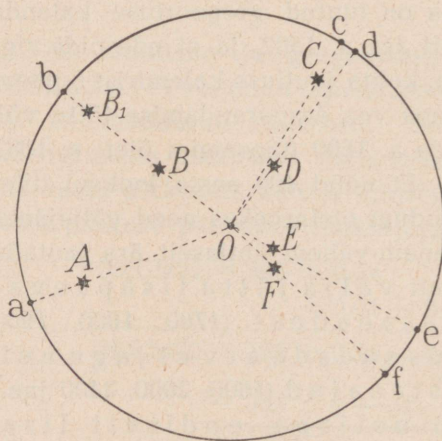
järgi on lisapäeva-aastad. Kõigi teiste aastate päevade arv on juuliuse ja gregooriuse kalendri järgi ühesugune.

Määrata järgmiste aastate päevade arv gregooriuse ja juuliuse kalendri järgi: 2756, 4006, 3500, 6040, 4800, 8020, 2900, 8026, 8400, 3524!

Ka gregooriuse kalender pole päris täpne. Siin on võetud kodanliku aasta pikkuseks keskmiselt 365,2425 päeva, kuna troopilise aasta pikkus on 365,242 216 päeva, s. o. 0,000 284 päeva võrra lühem. Selle tõttu tekib ühepäevane viga gregooriuse kalendri järgi alles 1 : 0,000 284, s. o. 3500 aasta pärast.

VIII. Taevakehade kauguse ja suuruse määramine.

41. Kuu ja Päikese kaugus Maast. Taevakoordinaatide (otsetõus, kääne; asimuut, kõrgus) abil on meil võimalik määrata, mis suunas paistab antud taevakeha. Kuid vaatesuuna



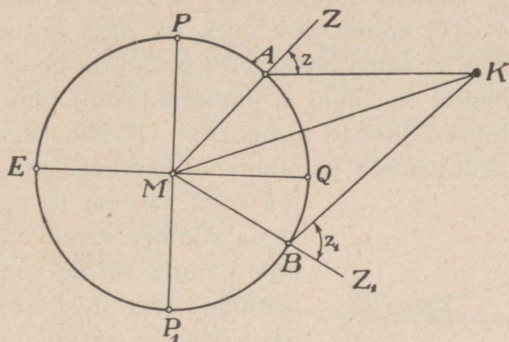
46. joon. Tähtede projektioon taevaskerale.

teadmine ei anna veel võimalust kindlaks määrata taevakeha asendit ruumis, sest samal vaatesuunal võib asetseda palju taevakehi, nagu näha 46. joon. Täpseks taevakeha koha määramiseks ruumis tuleb kindlaks teha peale vaatesuuna veel taevakeha kauguse vaatelejast. — On selge, et taevakehade kauguse määramisel Maast ei või juttugi olla otsesest mõõtmisest (mõõtühiku mahutamisest mõõdetavasse pikkusse), vaid

tuleb leppida ainult kaudsete mõõtmisviisidega.

Vaatame, kuidas oleks võimalik määrata meile kõige lähema taevakeha — Kuu — kaugust. Kaks vaatelejat, A ja B, asetsevad samal meridiaanil, teineteisest võimalikult kaugel (näiteks A Berliinis ja B Kaplinnas); oletame, et kulminatsioonimomendil Kuu

keskpunkt asetseb punktis K . Nüüd on kõik neli punkti (A , B , M , K) samas tasapinnas. Vaatlejad A ja B mõõdavad Kuu (K) seniidikaugused z ja z_1 kulminatsioonimomendil; peale selle on



47. joon. Kuu kauguse määramine.

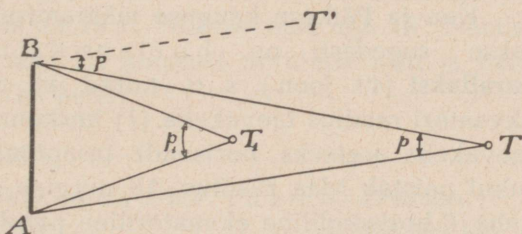
veel teada A ja B geograafilised laiused. Neist andmeist on võimalik arvutada Kuu kaugust Maast (MK). Tõepoolest, nelinurgas $AKBM$ on teada: $\angle MAK$ ($= 180^\circ - z$), $\angle MBK$ ($= 180^\circ - z_1$), $\angle AMB$ (geogr. laiuste vahe), AM ja BM (Maa raadiused). Siit on võimalik arvutada kõik 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.

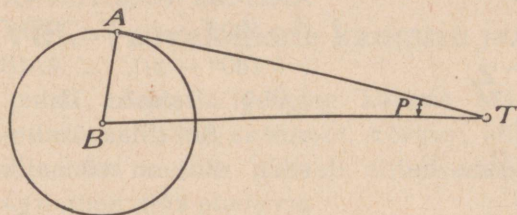


48. joon. Parallaks.

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

42. Kuu ja Päikese parallaks. Taevakehade kauguste määramisel ja võrdlemisel tarvitatakse sagedasti nn. **parallaksi**. Üldse nimetatakse parallaksiks nurka, mis näitab vaatesuuna kõrvale-

kaldumist juhul, kui sama keha (T) vaadelda kahest isesugusest punktist (A ja B). Nii näiteks (48. joon.) paistab keha T punktist A suunas AT , punktist 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**. On selge, et sama baasi (AB) puhul on parallaks seda suurem, mida lähemal on keha, ja ümberpöörduvalt (muidugi kui kõik teised tingimused jäävad samadeks). Tõesta seda sõrme (pliiatsit) silmadest kaugemale ja lähemale asetades ning



49. joon. Horisondiline parallaks.

iga kord parema ja vasema silmaga eraldi tähele pannes sõrme vaatesuuna nihkumist seinäl. Mis on antud juhul baasiks? Kuidas muutuks parallaks, kui saaksime asetada sõrme lõpmata kaugemale?

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** (49. joon.), s. o. nurka (p), mille all paistaks Maa ekvaatori raadius taevakeha (T) keskpunkti vaadatuna siis, kui taevakeha asetseks horisondi tasapinnas. 49. joon. kujutatud juhul paistab Maa raadius AB nurgi p , sellega on siis p taevakeha T horisondiline ekvaatoriline parallaks. Täisnurksest kolmnurgast ABT on kerge siduda kaugust BT parallaksi ja raadiusega, nimelt

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

$$\left. \begin{aligned} BT &= \frac{AB}{\sin p} \\ \sin p &= \frac{AB}{BT} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

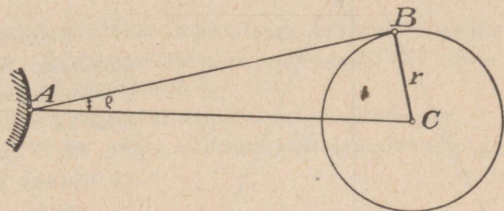
Valemitest (1) näeme, et teades parallaksi (p) on võimalik leida kaugust (BT) ja ümberpöörduvalt. Nii on

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

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

43. Kuu ja Päikese suuruse määramine. Kuu ja Päike paistavad meile ligikaudu ühesuuruste ketastena, kuid tõepoolest on Päike Kuust väga palju suurem. Ainult suure kauguse tõttu paistab Päikese ketas Kuu omaga umbes ühesuurusena.

Kuu (Päikese) raadiuse määramiseks tuleb mõõta nn. nurkraadius (50. joon.), s. o. nurk (ϱ), mille all paistab Kuu (Päikese) raadius (BC , r) Maa pealt (A) vaadatuna. Täisnurksest $\triangle ABC$ saame:



50. joon. Nurkraadius.

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

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. Tee seda!

Tulemused on järgmised:

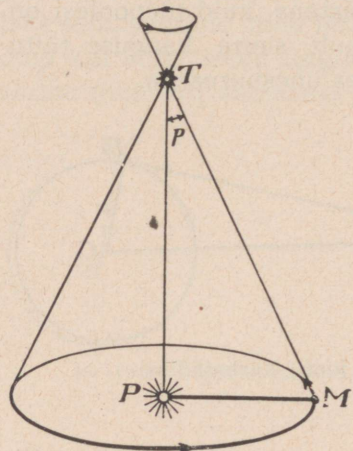
Kuu raadius = $0,27$ Maa ekv. raad. = 1740 km;
 Päikese " = 109 " " " = $696\ 000$ km.

Geomeetriast teame, et kerade pinnad suhtuvad 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. Võrdle 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?

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



51. joon. 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 Fr. W. Struvel Pulkovos korda Vega (α Lyrae) parallaktilist nihkumist mõõta.

Üldse on tähtede parallaksid väga väikesed — alla $1''$, järelikult tähtede kaugused meist väga suured, nagu Kopernik ja ta õpetuse pooldajad arvasid. Kõige suurem senimõõdetud parallaks ($0'',75$) on tähel α Centauri, mis asetseb taeva lõunapoolkeral.

Ainult võrdlemisi väikese osa tähtede kohta on suudetud seni kindlaks teha nende parallaktiline nihkumine Maa tiirlemise mõjul. Suurem osa tähti on niivõrra kaugel, et seni pole suudetud neil mingisugust parallaktilist nihkumist tähele panna.

1. Määra α Centauri kaugus Maast valgusaastais!
2. Võrdle tähe aastaparallaksi Päikese ja Kuu ekvaat. hor. parallaksiga!

IX. Kuu tiirlemine ümber Maa.

45. Kuu tiirlemine ümber Maa. Vaatlustest (§ 24) teame, et Kuu ei püsi tähtede keskel paigal, vaid liigub läänest itta sarnaselt Päikesega. See Kuu nn. omaliikumine on seevõrra kiire, et teda palja silmaga juba ühe tunni jooksul võib tähele panna ($\sim \frac{1}{2}^\circ$). Kuu omaliikumise seletamiseks oletatakse, et Kuu tiirleb ümber Maa vastupäeva-suunas. Me projektme Kuu asen-

did taevavõlvile ja seetõttu paistab meile, et Kuu liigub tähtede keskel läänest itta.

Vaatlused näitavad, et Kuu liigub alati ekliptika läheduses. Tahame täpsemalt Kuu teed ära määrata, siis mõõdame Kuu koordinaadid päevast päeva ja märgime nende abil Kuu asendid taevagloobusel. Ühendades saadud Kuu asendid pideva joonega näeme, et Kuu tee taevagloobusel on suuring, mis moodustab ekliptikaga 5⁰-se nurga. Muidugi mõista, Kuu tee taevavõlvil on ainult Kuu tõelise tee (orbiidi) projektsioon Maa pealt vaadatuna.

1. Võrdle Kuu omaliikumist Päikese liikumisega mööda ekliptikat!
2. Mõõtmised näitavad, et Kuu nurk-läbimõõt muutub 29' 24" (miin.) kuni 33' 31" (maks.). Mis võime sellest järeldada?
3. Mispärast kulmineerub täiskuu suvel madalal ja talvel kõrgel?
4. Leia Kuu kõige suurem ja kõige väiksem kulminatsioonikõrgus Tartus ja Tallinnas!

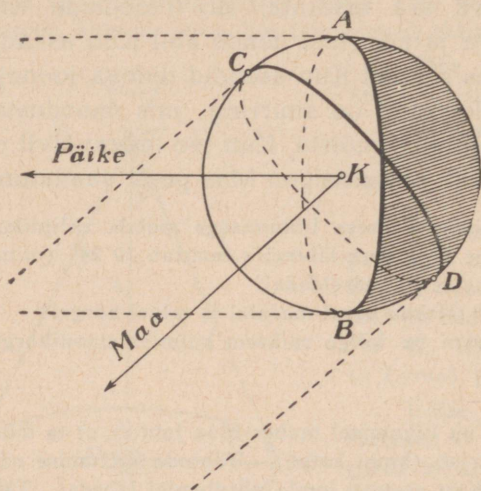
46. Tähtede kattumine. Kuu liikumisel ümber Maa juhtub, et ta mõne tähe meie eest ajutiselt ära varjab (kinni katab). Tähtede kattumise nähtus on selgeks tõenduseks, et Kuu asetseb meile võrdlemisi lähedal. Tähe kadumine Kuu ketta taha, samuti ka uuesti-ilmumine toimub silmapilkselt, mis tõendab, et 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?

47. Kuu faasid. Kuu paistab meile vahel täiskettana, vahel kitsa sirbina jne.; vahel on ta hoopis nähtamatu. Nimetame Kuu mitmesuguseid nähteid („nägusid“) tema faasideks. Vaatame lähemalt, kuidas tekivad Kuu faasid.

Nagu teame, ei ole Kuul oma valgust, vaid ta peegeldab meile valgust, mis ta saab Päikeselt. Päike on Kuust küllalt kaugel, seepärast võime Kuule langevaid kiiri lugeda rööpseiks. Kuu on kerakujuline ja Päikese rööpsete kiirte kimp valgustab alati poole Kuu pinnast (52. joon.), teine pool jääb valgustamata. Muidugi võime näha Kuust ainult valgustatud osa. Selle järgi, kas kõik Kuu valgustatud pind või ainult teatud osa sellest on pööratud Maa poole, näeme meie Maa poolt vaadates Kuud ühel või teisel kujul, ühes või teises faasis.

Jälgime 53. joon. abil Kuu faaside muutumist ühe perioodi jooksul. Asendis I on Kuu otse Päikese ja Maa vahel. Siis on mõlemal sama otsetõus ja mõlemad kulmineeruvad samal momendil. Maa poole



52. joon. Päike valgustab alati poole Kuu pinnast.

on pööratud Kuu valgustamata osa, seepärast ei näe me siis Kuud. Meie nimetame selle (I) faasi noorkuuks ehk Kuu loomiseks. Asendis II on pööratud Maa poole vähem kui pool Kuu valgustatud osast ja me näeme Kuud kõrvalkujutatud kitsa sirbina, mille kumer külj (äär) on pööratud Päikese poole. — Asendis III näeme poolt Kuu valgustatud pinda poolringina. Seda faasi nimetatakse esimeseks veerandiks.

Mispärast kannab faas III 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 tekkimine.

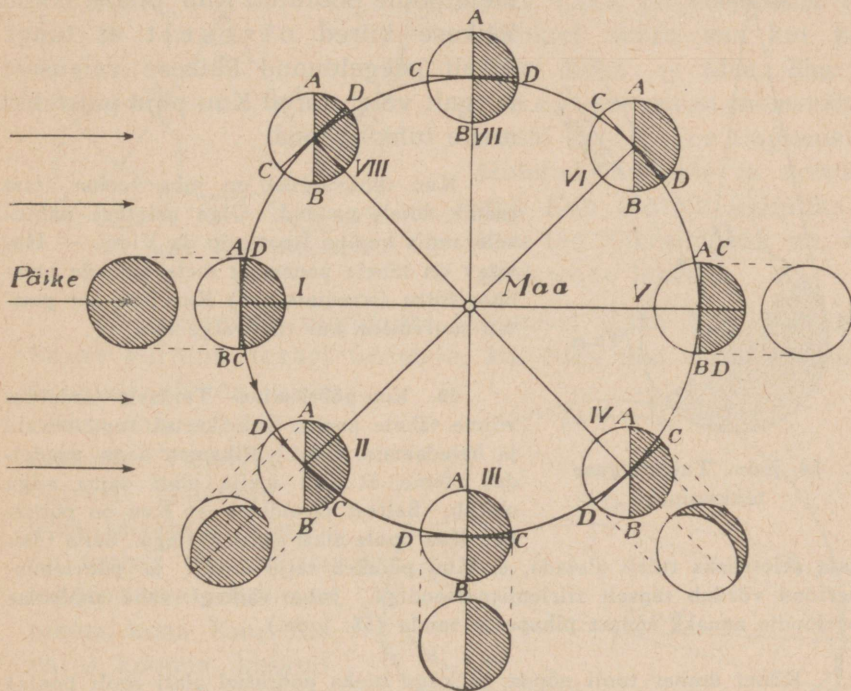
Tuleb kindlasti meeles pidada, et esimene veerand paistab õhtul ja ta kumerus on pööratud lääne poole, viimane veerand paistab hommikul ja ta kumerus on pööratud ida poole. Selle meelespidamise hõlbustamiseks kasuta lauset: Kuu näo kumerus paistab v a n a l k u u l v a s a k u t k ä t t.

Ajavahemikku Kuu kahe teineteisele järgneva samanimelise faasi vahel, näiteks täiskuust täiskuuni, nimetatakse sünoodiliseks kuuks. Vaatlused näitavad, et sünoodilise kuu pikkus on ümmarguselt $29\frac{1}{2}$ päeva. Ajavahemikku aga, mille jooksul Kuu teeb ühe täistiiru ümber Maa, nimetatakse siederiliseks kuuks. Selle pikkus on ümmarguselt $27\frac{1}{3}$ päeva. Nagu

näha, on Kuu sünoodiline periood pikem sideerilisest, mille põhjuseks on Maa tiirlemine koos Kuuga ümber Päikese.

Sideerilise ja sünoodilise perioodi (kuu) mõiste leiab rakendamist ka planeetide kohta nende tiirlemisel ümber Päikese.

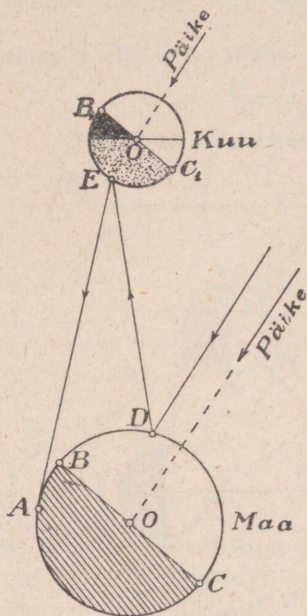
1. Kui praegusel momendil oleks täiskuu, millal oleks siis viimane veerand, noorkuu jne.?
2. Millal kulmineerub ligikaudu täiskuu?
3. Kas võib Kuu viimasel veerandil kulmineeruda kl. 10 õhtul?



53. joon. Kuu faasid.

4. Mitu tundi (umbes) pärast Päikese loojangut on näha Kuu esimesel veerandil?
5. Millal umbes tõuseb täiskuu ja millal läheb ta looja? Vasta eelmine küsimus esimese ja viimase veerandi kohta!
6. Missugusena paistaks Kuu elanikkudele Maa suuruselt ja faasidelt? Kuidas vastaksid Kuu faasid „Maa faasidele“?
7. Katsu lambi (küünla) ja mõne kera, näiteks kummipalli, abil kujutada Kuu faase!

48. 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 seletub Päikese valguse kahekordse peegeldumisega (54. joon.): 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 meile tuhkvalgena.



54. joon. Tuhkvalguse tekkimine.

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 hele äär paistab suuremana kui tuhkvälge osa.

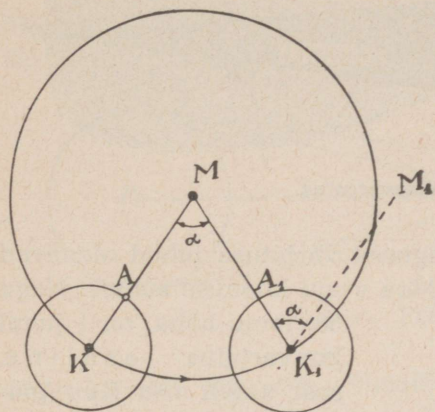
49. Kuu pöörlemine. Teraselt vaadeldes võime tähele panna Kuu kettal tumedamaid ja heledamaid kohti. Pikemat aega vaadeldes näeme, et Kuu meile alati sama nägu näitab. Sellest järeldame, et Kuu on pööratud Maa poole alati sama küljega. Selle tõsi-

asja seletuseks tuleb oletada, et Kuu pöörleb telje ümber ja pöörlemisperiood võrdub täpselt tiirlemisperioodiga. Juba väikegi vahe mõlemas perioodis annaks ennast pikapeale tunda (55. joon.).

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

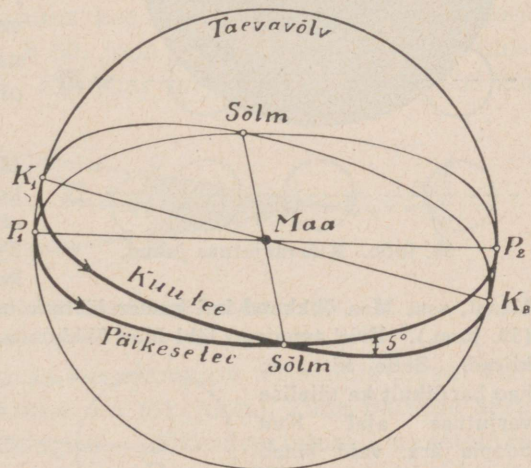
50. Varjutused. Kuuvarjutuse all mõeldakse nähtust, kus Kuu ümber Maa liikudes läheb täiskuu ajal Maa varju ja meie ei näe teda, kuna päikesevarjutuse puhul Kuu, asetudes Päikese ja Maa vahele, katab kinni meie eest Päikese. Muidugi on kuuvarjutus võimalik ainult täiskuu ja päikesevarjutus noorkuu ajal. Kuid me teame ka, et kuu- ja päikesevarjutused ei juhtu mitte igal täis- ja noorkuu ajal. Selle põhjus peitub asjaolus, et Kuu

ei tiirle ümber Maa ekliptika-tasapinnas, vaid Kuu orbiit moodustab ekliptikaga umbes 5° -se nurga (56. joon.). Seetõttu võib täiskuu ajal Kuu Maa varju koonusest ühelt või teiselt poolt mööda minna, samuti võib Kuu varju koonus noorkuu ajal Maast mööda minna. Nagu 56. joon. näha, on varjutused võimalikud ainult siis, kui kõik kolm keha — Maa, Kuu ja Päike — asetsevad enam-vähem samal sirgel. See tingimus on täidetud, kui täis- ja noorkuu ajal Kuu asetseb ekliptika ja Kuu tee lõikesihi ehk nn. sõlmedejoone lähedal.



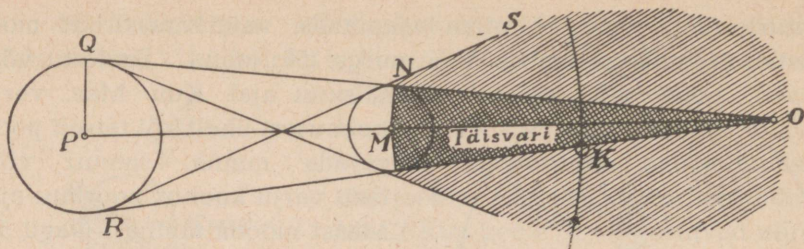
55. joon. Kuu pöörlemine.

Kõigi eelmiste tingimuste täitumisel jääks kuu- (vast. päikese-) varjutus ikkagi tulemata, kui Maa (vast. Kuu) täisvarju koonuse pikkus oleks lühem Kuu orbiidi raadiusest. Vastavad arvutused näitavad, et 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.



56. joon. Sõlmpunktid.

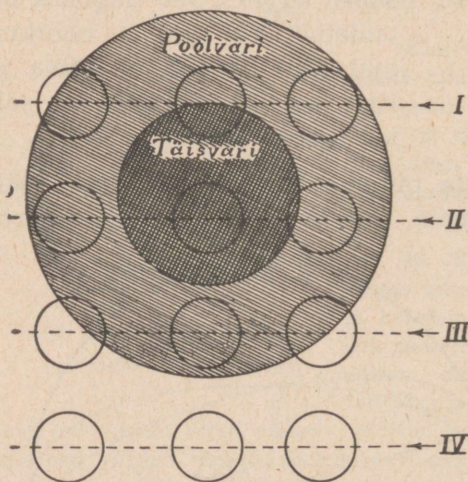
51. Kuuvarjutused. Olgu Maa täis- ja poolvarju koonuse läbilõige Kuu kaugusel Maast kujutatud 58. joon. vast. tumedama ja



57. joon. Kuuvarjutus.

heledama viirutusega. Mitmesugused varjutuse juhud olenevad sellest, kuidas asetseb Kuu tee Maa varju koonuse suhtes. Nagu

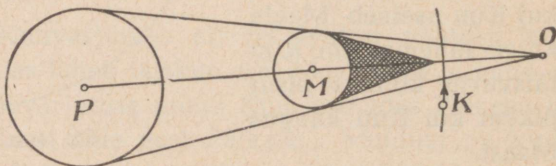
58. joon. näha, on I juhul kuuvarjutus osaline, sest ainult osa Kuu pinnast satub Maa täisvarju, II juhul on varjutus täieline, III juhul läheb Kuu ainult läbi Maa poolvarju ja seetõttu nõrgeneb Kuu valguse tugevus pisut, kuna IV juhul varjutust ei ole üldse.



58. joon. Kuuvarjutuse juhud.

Eespool-toodud andmed Maa varju koonuse pikkuse kohta oleksid õiged Maa atmosfääri toimet arvestamata. Tõepoolest on Maa täisvarju koonus lühem Kuu kaugusest

Maast, sest Maa õhkkond kui kumer lääts koondab Päikese kiiri Maa taha (59. joon.). Eriti tungivad läbi Maa õhkkonna, nii-öelda Maa taha punased kiired. Selle tõttu ei kao harilikult ka täielise varjutuse ajal Kuu hoopis ära, vaid läheb ainult vasekarva tumepunaseks.



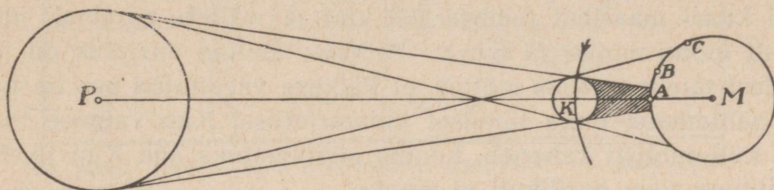
59. joon. Maa õhkkonna mõju kuuvarjutusel.

1. Missugune on Kuu varjutatud ja varjutamata osa piirjoon?

Mis võime järeldada sellest Maa kuu kohta?

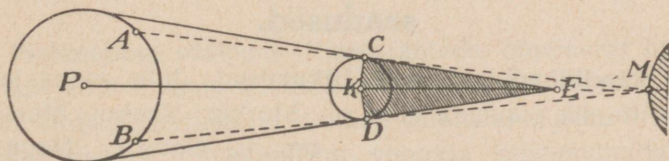
2. Kummast äärest — kas ida- või läänepoolsest — algab Kuu varjutamine ja mispärasest?

52. Päikesevarjutused. Päikesevarjutuse puhul asetub Kuu Päikese ja Maa vahele ning katab Päikese meie eest kinni (60. joon.). Et Kuu raadius on Maa raadiusest tublisti väiksem



60. joon. Päikesevarjutus.

(mitu korda?), siis pole võimalik Maa täieline 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 asjad näevad täielist päikesevarjutust, sest Kuu on neile Päikese hoopis kinni katnud. Vaatlejail väljaspool varju koonuse piirkonda on päikesevarjutus kas osaline, nimelt Kuu poolvarju piirkonnas (asend B 60. joon.), või ei ole varjutust üldse näha (asend C 60. joon.). Kui Kuu varju koonus ($\sim 370\,000$ km)



61. joon. Rõngakujuline päikesevarjutus.

ei ulatu Maani, siis katab ta varjukoosuse telje sihis oleval vaatlejal ainult Päikese keskmise osa (61. joon.), kuna Päikese ääred jäävad nähtavaks. Niisugust päikesevarjutust nimetatakse rõngakujuliseks, sest siis paistab Päikese äär heleda rõngana, mille keskel asetseb Kuu tume ketas. Täieline päikesevarjutus on võimalik ainult sel juhul, kui Kuu asetseb varjutuse ajal Mäale hästi lähedal.

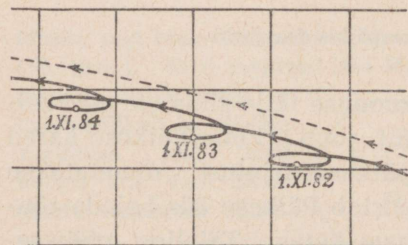
Võrreldes päikesevarjutust kuuvarjutusega näeme, et nende vahel on oluline vahe: päikesevarjutusel katab Kuu Päikese meie eest kinni, kuna kuuvarjutusel läheb Kuu tõepoolest Maa varju ja muutub selle tõttu tumedaks; täieline kuuvarjutus kestab võrdlemisi kaua (umbes $2\frac{1}{2}$ tundi) ja on näha kogu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

53. **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 samas järjekorras ja samade ajavahemikkude järel korduvad. Tarvis 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 Koperniku süsteem. Kepleri seadused.

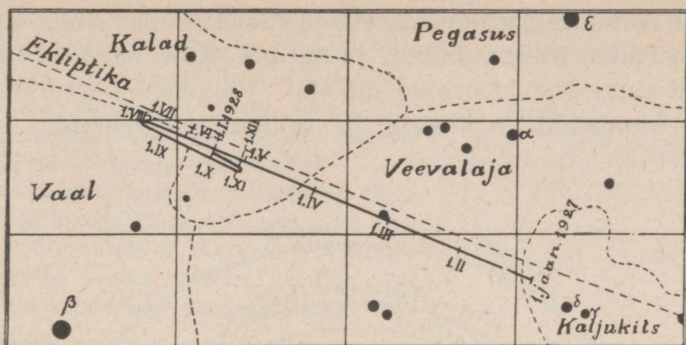
54. **Rändtähed ja nende liikumised.** Juba vanaajal tunti 5 rändtähte ehk planeeti, need on: Merkur, Veenus, Marss, Jupiter ja Saturn. Nagu näha,



62. joon. Saturni näiv liikumine 1882—1884.

kannavad kõik need planeedid Rooma jumalate nimesid. Kreeklased nimetasid neid planeete vastavalt: Hermes, Aphrodite, Ares, Zeus ja Kronos.

Rändtähtede liikumist kinisttähtede keskel tähele pannes näeme, et Merkur ja Veenus paistavad alati Päikese lähedal,



63. joon. Jupiteri näiv liikumine 1. jaan. 1927 — 1. jaan. 1928.

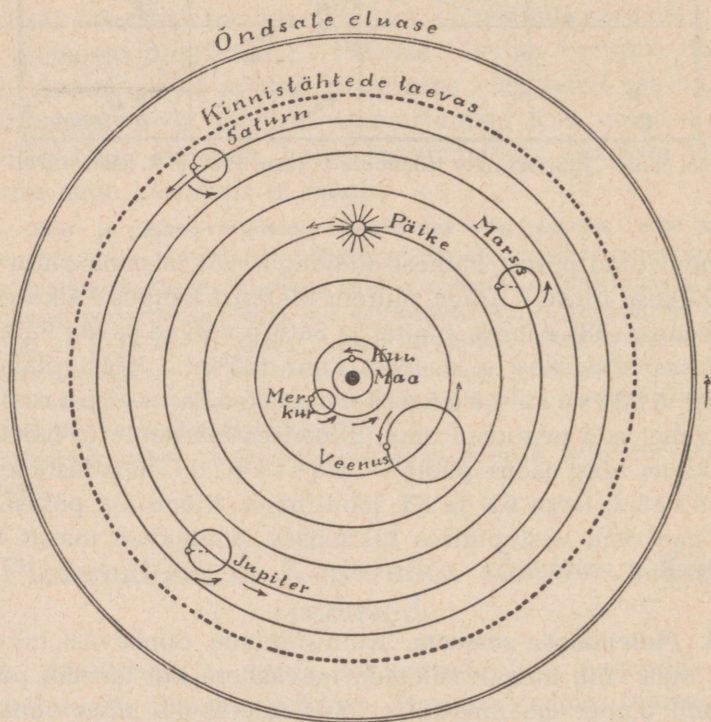
s. o. mõni tund pärast Päikese loojangut või niisama palju aega enne Päikese tõusu. Kõige suurem Mercuri kaugus Päikesest on 28° , Veenusel 48° . Marss, Jupiter ja Saturn võivad paista Päikesest igasuguses kauguses, s. o. 0° -st kuni 180° -ni. Kõik planeedid liiguvad üldiselt läänest ida poole — päripidi; siiski vahel nad peatuvad oma liikumises ida poole ja hakkavad siis liikuma idast lääne poole — vastupidi, moodustades nn. silmuseid, nagu 62. ja 63. joon. näha. Mõne aja pärast peatuvad nad oma vastupidises liikumises ja algavad uuesti liikumist päripidi.

55. Ptolemaiose süsteem. Kinnistähtede ööpäevast liikumist ümber Maa võib lihtsalt seletada taevaskera kui terviku pöörlemise abil ümber maailma-telje. See seletusviis püsis vanaajast Koperniku päevini. Raskem oli vanaaja astronoomidel seletada planeetide liikumist tähtede keskel. Selleks löid nad keerulise süsteemi, mis on tuntud Ptolemaiose süsteemi nime all.

Klaudios Ptolemaios oli kreeka astronoom, kes elas Aleksandrias umbes 140 a. p. Kr. Oma astronoomilised vaated Ptolemaios avaldas töös, mis on tuntud, hiljemini araablaste poolt antud, *Almagesti* nime all. Siin leiame kokkuvõtte vanaaja astronoomilistest vaadetest ja teadmistest.

Ptolemaiose järgi oli Maailma ehitus järgmine (64. joon.): Maailma keskkohas asetseb ümmargune Maa ja selle ümber

tiirlevad kauguse järjekorras teised taevakehad: Kuu, Merkur, Veenus, Päike, Marss, Jupiter ja Saturn. Kõik need taevakehad liiguvad ringjoonelisi orbiite mööda. Väljaspool Saturni orbiiti asetseb kinnistähedede taevaskuul ja sellest veel eemal „õndsate eluase“.

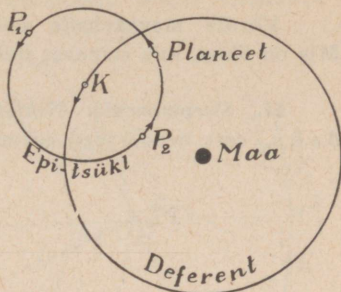


64. joon. Ptolemaiose süsteem.

Suuri raskusi tekitas Ptolemaiosele planeetide vastupidiste liikumiste seletamine. Sellest saadi üle nn. epitsüklite abil järgmisel viisil (65. joon.). Oletati, et planeet (P) ei liigu ümber Maa mööda ringjoont, vaid mööda nn. epitsükli (väikest ringjoont), mille tseenter K liigub mööda orbiiti. Liites planeedi liikumise mööda epitsükli viimase tseentri liikumisega mööda ringi, nn. deferenti, saame resultandina planeedi päripidise või vastupidise liikumise või seisaku. Silmuste moodustamiseks tuli oletada, et epitsükli tasapind moodustab orbiidi tasapinnaga teatud nurga.

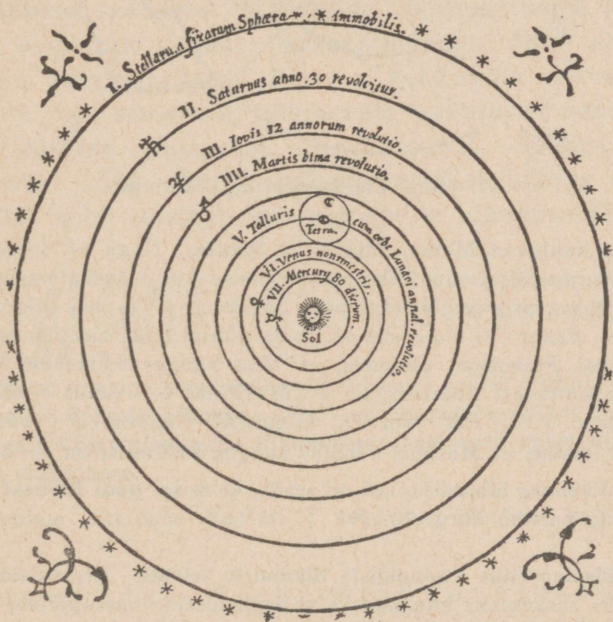
Selle süsteemi kokkukõlla viimiseks vaatlustega tuli võtta tarvitusele terve rida epitsükleid. Seetõttu muutus Ptolemaiose süsteem väga keeruliseks ja raskeks, nii et ainult üksikud seda suut-
sid mõista. Hoolimata sellest püsis Ptole-
maiose süsteem ligi 1500 aastat alusena
taevakehade liikumise seletamisel.

64. joonis kujutab planeetide liikumise teid ümber Päikese Ptolemaiose süs-
teemis. Mispoolest on Merkuri ja Veenuse
deferentide asetus joonisel ekslik, kui
arvestada nende kahe planeedi asendit Päi-
kese suhtes?



65. joon. Epitsükel ja deferent.

56. Koperniku süsteem. Ko-
perniku järgi on Maailma ehitus
järgmine: Päike seisab paigal ja tema
ümber liiguvad ringjoonelisi teid
mööda Maa ühes Kuuga ja planeedid kauguse järjekorras: Merkur,
Veenus, Maa ühes Kuuga, Marss, Jupiter ja Saturn. Väga suures

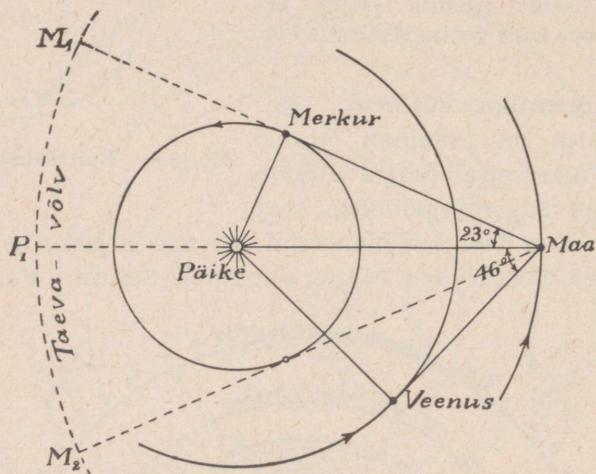


66. joon. Koperniku süsteem, nagu see on kujutatud tema teoses *De revolutionibus orbium coelestium*.

kauguses Päikesest asetsevad kinnistähed. See nn. Koperniku süsteem (vt. 66. joon.) annab võimaluse planeetide liikumisi väga lihtsalt seletada, nagu edaspidi näeme.

Võrdle taevakehade asetust Ptolemaiose ja Koperniku süsteemis! Mis on ühist, mis erinevat mõlemas süsteemis?

57. Siseplaneetid. Nimetame Merkuri ja Veenuse siseplaneetideks, sest nende teed asetsevad seespool Maa teed. Välisplaneetideks, sest nende teed asetsevad seespool Maa teed. Välisplaneetideks, sest nende teed asetsevad seespool Maa teed.



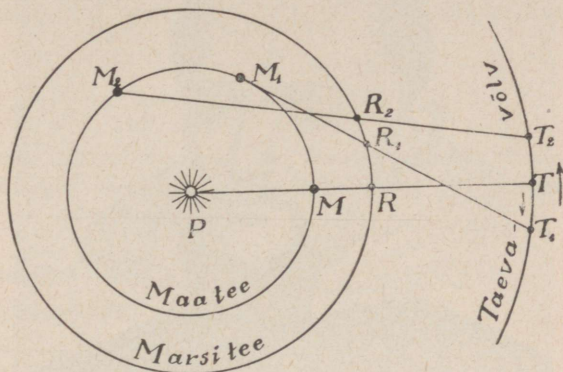
67. joon. Siseplaneetide liikumine.

tide hulka kuuluvad Marss, Jupiter ja Saturn. Nagu 67. joon. näha, on siseplaneetide pendlisarnane liikumine Päikesest kui tasakaalu-asendi suhtes kergesti seletatav, projektides Maa pealt Merkuri ja Veenuse liikumisasendid taevavõlvile. Samuti ei ole raske 67. joon. põhjal leida siseplaneetide võrdlevaid kaugusi Päikesest, oletades, et Maa kaugus Päikesest on võetud ühikuks. Täisnurksest kolmnurgast PVM (Päike — Veenus — Maa) saame Veenuse kohta: $VP = PM \cdot \sin 46^\circ$. Olgu $PM = 1$, siis $VP = \sin 46^\circ \approx 0,7$. Samal viisil leiame, et Merkuri võrdlev kaugus Päikesest on $\sin 23^\circ$ ehk 0,4.

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

58. Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletus. Ptolemaiose süsteemis oli üheks raskemaks küsimuseks välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletamine. Koperniku süsteemi järgi toimub see väga lihtsalt. 68. joon. on kujutatud Maa ja Marsi tee ning taevavõlvi läbilõige. Asetsegu Päike

(P), Maa (M) ja Marss (R) vaatluse alguses samal sihil. Selles nn. v a s - t a s s e i s u s paistab Marss taevavõlvil asendis T . Kui Maa on jõudnud asendisse M_1 , siis on selle aja jooksul Marss jõudnud oma teel asendisse R_1 ja ta paistab meile taevavõlvil asendist T_1 . Täheandab, Marsi liikumine taevavõlvil kogu selle aja jooksul oli vastupidine. Jõuab aga Maa asendisse M_2 , siis paistab Marss suunas $M_2R_2T_2$; järelikult ta on vahepeal päripidi liikuma hakanud. Niisiis on välisplaneetide päri- ja vastupidised liikumised perspektiivne nähtus, mis oleneb vaatekoha muutmisest ühes Maa liikumisega ümber Päikese.



68. joon. Vastupidiste liikumiste seletamine.

59. Kepleri seadused. Planeetide liikumise teede (orbiitide) kohta oli Kopernik vanaaja astronoomidega ühel arvamusel: orbiidid on ringjoonelised. Parema kokkukõla saavutamiseks vaatluste ja oma süsteemil põhinevate arvutuste vahel asetas Kopernik Päikese väljapoole ringi tsentrit. Suurest hulgast Tycho Brahe (1546—1601) vaatlusmaterjalist tuletas J. Kepler (1571—1630) kolm seadust, mis planeetide liikumise täpselt ära määravad.

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

Tõepoolest ei erine planeetide orbiidid kuigi suurel määral ringjoonest. Planeedi ümber Päikese liikumise suund on ühesugune ümber telje pöörlemise suunaga. Kõigi planeetide liikumised asetsevad enam-vähem samas (ekliptika-) tasapinnas.

Mis võime järeldada Kepleri I seadusest planeedi kauguse kohta Päikesest?

Teine seadus: Planeetide raadiusvektorid moodustavad liikumisel pindalad, mis on võrreldelised nende liikumise ajaga.



69. joon. J. Kepler.

Johannes Kepler sündis 27. detsembril 1571 Württembergis kehvast luteri usku perekonnas. Kehaliselt nõrk, kannatas ta noorelt rohkelt haiguste käes. Vanemate sagedad elukoha vahetused takistasid kooliskäimist. Erakordselt andekana lõpetas ta juba 20-aastaselt ülikooli teoloogiamagistrina. Kuid Keplerist ei saanud siiski teoloogi. Koperniku uus õpetus, astronoomia ja matemaatika veetlesid teda enam. Matemaatikaõpetaja koolides, õueastronoom keiser Rudolf II juures, alguses Tycho Brahe abilisenä, 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. novembril 1630. Kepleri töödest on tähtsamad temanimesed 3 seadust, tööd optikast (valguse murdumisest, pikksilmade ehitusest), tööd matemaatikast ja planeetide tabelid.

Olgu näiteks (70. joon.) raadiusvektori poolt moodustatud 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 moodustavad 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?

Kolmasseadus: Planeetide tiirlemisperioodide ruudud suhtuvad nagu nende keskmiste kauguste kuubid.

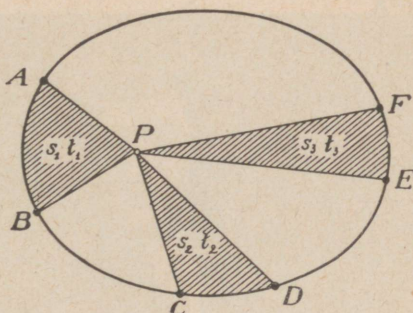
Kaht esimest seadust võib rakendada iga üksiku planeedi kohta. Kolmas seadus seob kõik planeedid ühiseks tervikuks. Olgu näiteks planeetide keskmised kaugused r_1, r_2, r_3 jne. ning nende tiirlemisperioodid vastavalt t_1, t_2, t_3 jne., siis saame III seaduse põhjal:

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

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.



70. joon.

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

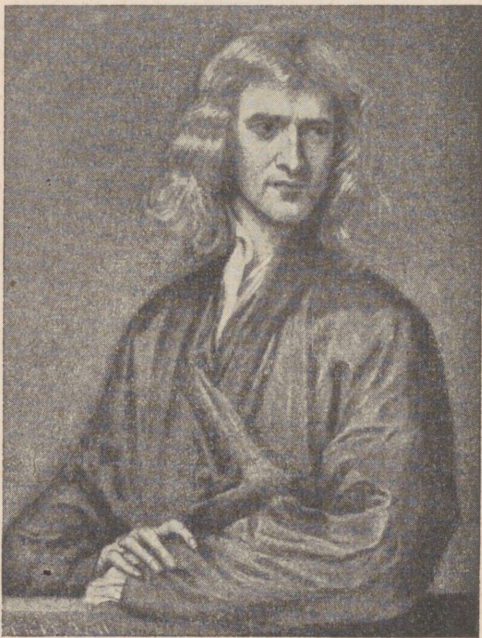
$$12^2 : 1^2 = x^3 : 1^3, \text{ millest}$$

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

1. Leida Veenuse tiirlemisperiood aastais, teades, et keskm. kaugus Päikesest on 0,7 astr. ühikut!
2. Leida Marsi keskmine kaugus Päikesest, kui Marsi tiirlemisperiood on 687 keskm. päeva!
3. Kasutades Kepleri 3. seadust näidata, et planeetide liikumise joonkiirused on pöördvõrdelised ruutjuurega nende kaugusest Päikesest! Võttes Merkuri joonkiiruse ühikuks, arvutada teiste planeetide joonkiirused ja kujutada nende suuruse muutumine graafiliselt!

XI. Gravitatsiooniseadus ja järeltõus sellest.

60. **Ajalooline ülevaade.** Astronoomia ehk täheteadus on üks kõige vanemaid teadusi. Taevakehad ja nendega seotud nähtused äratasid juba vanaaja karjusrühvaste 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. Vanaaja astronoomiliste teadmiste kokkuvõtteks oli Ptolemaiose süsteem, mis püsis ligi 1500 aastat. Kopernik



71. joon. Isaac Newton.

(1473—1543) lõi uue süsteemi, nihutades Maa asemele Maailma keskkoha Päikese. Koperniku tööd täiendas Kepler (1571—1630), 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 kokkukõlastada, ilma et oleks võimalik seletada kõiki planeetide liikumise nähtusi, lähtudes mõnest üldisemast põhimõttest. Selles mõttes suure sammu edasi astus Newton (1643—1727), andes oma gravitatsiooniseadusega

aluse, millest võib matemaatiliselt tuletada kõik planeetide liikumise üksikasjad. Juba Kepler aimas üldise füüsilise põhjuse olemasolu, millest on tingitud planeetide liikumise seadused, kuid selle avastamine temal ei õnnestunud.

61. Gravitatsioonitung. Füüsikast teame, et 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 ringjoonelisel liikumisel, kesktõmbe- ehk tsentripetaaltungiks (72. joon.). Ta mõjub ringjoonel liikuvale kehale ja on suunatud alati ringjoone tsentri poole. Suuruselt, nagu teada, on kesktõmbetung

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

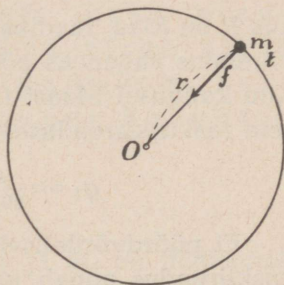
kus r on ringi raadius, m — liikuva keha mass ja t tiirlemisperiood.

Võrdluseks teeme järgmise katse. Seome kivi nõöri otsa ja paneme ringi käima, siis tunneme, kuidas nõör pingule tõmbub. Nõöri pinevus moodustabki antud juhul kesktõmbetungi. Nõöri lahti lastes või katkedes lendab kivi inertsil mõjul puutuja sihis, sest nüüd 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 nõör, planeetide juures me ei tunne ühtki 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 kauguse ruuduga. Selle tõmbetungi nimetas Newton gravitatsioonitunngiks.

62. Gravitatsioonitunngi ja raskustunngi samasus. Eespool nägime, et planeete hoiab nende ringjoonelistel teedel gravitat-



72. joon.

sioonitung. Nüüd tekib küsimus, mis on siis õieti see nn. gravitatsioonitung? Newton tegi oletuse, et gravitatsioonitung on oma loomult sama, mis raskustungi; seejuures ei ole raskustungi suurus jääv, vaid ta muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Selle oletuse (hüpoteesi) järelekatsumiseks arutas Newton järgmiselt: Kuu liigub ümber Maa ligikaudu ringjoonelist teed mööda; tema kesktõmbe kiirendus on $a = 0,27 \left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right)$, nagu järgneb Huygeni 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.

$$g_1 = \frac{g}{60,3^2} = \frac{980}{60,3^2} = 0,27 \left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right).$$

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

Arutamise 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.

Eelmiste 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 keskpunktis. Selle lause põhjal võime vastastikuse gravitatsiooni arutamisel vaadelda taevakehi (Maad, Kuud, Päikest jne.) kui ainepunkte, mis asetsevad nende taevakehade keskpunktides ja mille massid võrduvad vastavate taevakehade massidega.

63. Üldine gravitatsiooniseadus. Iga keha tungib Maa poole, sest temasse mõjub raskustung, mida võime teisiti nime-

tada ka gravitatsioonitugi Maa ja antud keha vahel. Gravitatsioonitugi ei mõju üksnes Maa peal olevate kehade vahel (kivi — Maa jne.), vaid tema mõju ulatub Maast kaugemale maailmaruumi (Maa — Kuu). Sedaviisi edasi arutades oletas Newton, et masside vastastikune tõmbumine ehk gravitatsioonitugi mõjub kõigi maailmaruumis olevate kehade vahel, olgu nad massilt suured või väikesed, üksteisest kaugel või lähedal. Seepärast võime rääkida kogu maailmalisest 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. tõmbetugi

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

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

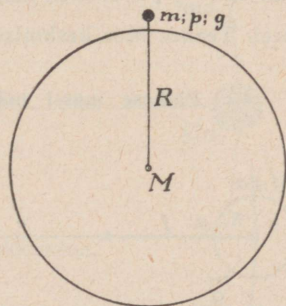
64. Maa mass ja tihedus. Gravitatsiooniseadusest teame, et taevakehade vastastikune tõmbumine oleneb nende kehade massist ja kaugusest üksteisest. Seepärast on väga tähtis teada taevakehade massi suurust. Muidugi puudub meil võimalus määrata Maa ning planeetide massi vahetult, nagu seda teeme füüsikas, 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 cm ja raskuskiirendus maapinnal $g \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ (73. joon.). Gravitatsiooniseaduse põhjal teame, et

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

Newtoni II seaduse põhjal aga

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



73. joon.

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 ümberpöördult. Tähen­dab, Maa massi määramine on ühevääriline 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.

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

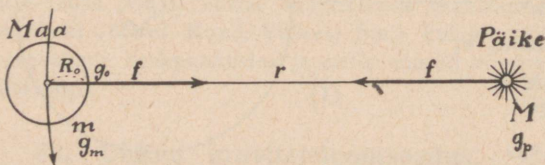
$$d = \frac{\frac{gR^2}{G}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}.$$

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

Selle ja teiste meetodite abil on saadud Maa keskmise tiheduse väärtu­seks $5,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, s. o. Maa mass on 5,5 korda suurem kui sama ruumalaga veest keral. Teades Maa keskmist tihedust on kerge arvutada Maa massi. Kuidas?

65. Päikese massi määramine. Eelmises paragraafis 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 gravitatsi­oonitung $\left(G \frac{Mm}{r^2}\right)$ võr-



74. joon. Päikese massi määramine.

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

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

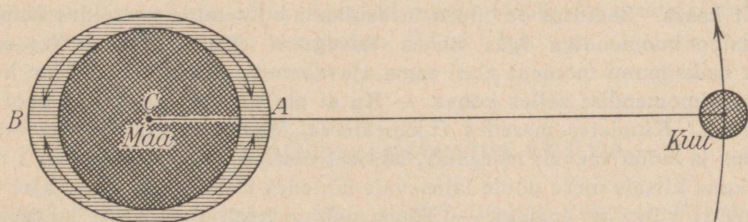
Varemini leidsime, et Maa mass $m = \frac{gR^2}{G}$, kus g on raskuskiirendus maapinnal, R — Maa raadius ja G — gravitatsioonikonstant. Seega Päikese ja Maa massi suhe

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

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

66. Tõus ja mõõn. Suurtes meredes ja lahtises ookeanis võib tähele panna, et veepind perioodiliselt tõuseb ja langeb. See toimub korrapäraselt päevast päeva kindlate ajavahemikude 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, kusjuures iga päev tõusu või mõõna algus jääb umbes 50 min. võrra hiljemaks võrreldes eelmise päevaga.

Juba vanaajal oli teada, et tõusu ja mõõna nähtus on seotud Kuuga, sest tõusu maksimum antud kohas on kindlas seoses Kuu ülemise või alumise kulminatsiooni momendiga selles kohas. Ka



75. joon. Tõusu ja mõõna tekkimine.

võrdub igapäevane tõusu ja mõõna hilinemine Kuu kulminatsioonimomendi hilinemisega päevast päeva (50 min.).

Õige seletuse tõusu ja mõõna nähtuse tekkimisele andis esimesena Newton oma gravitatsiooniseaduse põhjal. Kujutleme, et kogu Maa sisemine tahke kere (75. joonisel 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 (pöördvõrdeline kauguse ruuduga), siis seetõttu tõmbab Kuu Maad ümbritseva veekihi osakesi kohas *A* tugevamini ja kohas *B* nõrgemini enda poole kui Maa keskohta *C*. Selle tagajärjel nihkuvad liikuvad veesakesed kohas *A* rohkem Kuu poole kui Maa keskohta *C* (ühes sellega kogu Maa tahke kere) ja viimane omakorda rohkem kui veesakesed Kuule vastasasendis *B*. Maad ümbritsev veekiht muutub seetõttu piklikuks Kuu — Maa sihis (*AB*), mille tulemusena saame kohtades *A* ja *B* tõusu, nende vahepealsetes kohtades aga mõõna.

Tõusu ja mõõna laine ei püsi samas kohas paigal. Maa pöörlemise tõttu nihkub Kuu kulminatsiooniasend 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 veesakesed kõige kõrgemasse asendisse just Kuu kulminatsioonimomendil, vaid veidi hiljem. Ka mõjuvad siin mitmesugused kohalikud tingimused (mere sügavus, kalda reljeef, orientatsioon jne.) tunduvalt kaasa. Seetõttu on tõusu maksimumi hilinemine võrreldes Kuu kulminatsioonimomendiga igas kohas erisugune. Kuid samas kohas esineb tõusu maksimumi moment alati sama ajavahemiku võrra hiljem Kuu kulminatsioonimomendist selles kohas. — Ka ei ole tõus ja mõõn igal pool ühetugevune. Kinnistes meredes (Läänemeres, Mustas meres, Vahemeres jt.) 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 nähtus leiab kasutamist laevasõidus, soodustades suurte laevade sissepääsu madalaisse sadamaisse. Ka on viimasel ajal hakatud kasutama tõusulaine energiat sellekohaste paisude abil turbiinide käimapaneuks.

Samuti kui Kuu mõjub Maale ka Päike. Hoolimata suurest massist on Päikese mõju suure kauguse tõttu tõusu ja mõõna tekitamisel Kuu omast

2,2 korda väiksem. Arusaadav, et tõus ja mõõn on kõige tugevamad noorja täiskuu ajal, mil Päikese ja Kuu mõju liitub. Esimese ja viimase veerandi ajal mõjuvad Kuu ja Päike tõusu ja mõõna tekitamisel vastassuunas, seepärast on siis tõus ja mõõn ka kõige nõrgemad.

67. Neptuni ja Pluto avastamine. Vanaaja täheteadlased tundsid vaid viit planeeti (Merkur, Veenus, Marss, Jupiter, Saturn). See tuntud planeetide arv püsis kuni aastani 1781, mil inglise täheteadlane W. Herschel juhuslikult avastas uue planeedi — U r a n i, mille orbiit asetseb väljaspool Saturni orbiiti. Päikesesüsteemi kahe viimase planeedi — Neptuni ja Pluto avastamine väärib tähelepanu Newtoni gravitatsiooniseaduse hiilgava tõestusena.

Iga planeet tiirleb Kepleri seaduste järgi ellipsit mööda, mille fookuses asetseb Päike. See oleks nõnda täiesti täpselt ainult sel juhul, kui planeedi liikumine oleneks vaid Päikese ja iseenese vastastikusest külgetõmbest. Kuid teised taevakehad samuti mõjustavad 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, arvestades ainult kõigi senituntud planeetide mõju. 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 uurimiste tulemustest. Ühtlasi kirjutas ta sellest astronoom Galle'le Berliini, kus olid valmistatud täpsed tähekaardid, paludes teda näidatud kohal otsida planeeti. Võrreldes kaarti Leverrier' poolt juhatatud taevaalaga, leidis Galle seal senitundmatu tähe, mis osutuski otsitud planeediks.

Kuid mõnesugused arusaamatud häired jäid püsima Uurani liikumises ka pärast Neptuni avastamist. Ameerika astronoom Lowell tõendas arvutamise teel, et Uurani häired on seletatavad väljaspool Neptunit oleva tundmatu planeediga, mille tee ta 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.

68. 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 niivõrra suur, et meil raske on seda

konkreetselt kujutella, moodustab ta suurest tähtede maailmast vaid kaduv-väikese osakese. Kui oleks võimalik mõne tähe kaugusest vaadata päikesesüsteemi, siis paistaks koguni meie hiiglasuur Päike päris tavalise tähena, kuna aga tema ümber tiirlevaid planeete ja teisi taevakehi, nende hulgas ka meie Maad, poleks suure kauguse pärast võimalik näha.

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

Planeedid ehk rändtähed, mille hulka kuulub ka Maa, on iseenesest tumedad läbipaistmatud taevakehad; ainult planeetide pinnalt tagasi peegeldunud Päikese valguse mõjul on nad nähtavad. Planeetide pinna loodus ja välimus oleneb Päikese soojusest ja valgusest, kuid Päikese loodus ja arenemine vaevalt oleneb planeetidest.

Praegusajal on tuntud üheksa suurt planeeti, mis Päikesest lähtudes asetsevad järjekorras: Merkur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun ja Pluto.

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

Kuus planeeti omavad kaaslasi ehk kuid, 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, Uranil — 4, Neptunil — 1. Merkuril, Veenusel ja Plutol pole teada ühtegi kuud.

Komeedid ehk saba tähed on erilised hõredad udu- lised taevakehad, mis harva ilmuvad palja silmaga vaatlejale.

Neptuni tee

Mõned neist, liikudes tunduvalt pikergusil ellipseil Päikese ümber, kuuluvad meie päikesesüsteemi.

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

Uurani tee

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

Saturni tee

1. Planeetide teede tasapinnad peaaegu ühtivad Maa tee (ekliptika) tasapinnaga. Ainult mõnede asteroidide teed on ekliptika suhtes tunduvalt kaldu, kuna veel silmapaistvama erandi moodustavad komeedid ja mõned suurte planeetide kaaslased.

Jupitri tee

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



76. joon. Päikesesüsteem.

3. Kõik planeedid tiirlevad ümber Päikese samas, s. o. Päikese ööpäevasele liikumisele vastassuunas. Peale mõne vähese erandi tiirlevad samas suunas ümber planeetide ka kaaslased ja pöörlevad oma telgede ümber planeedid, Kuu ning Päike.

Loetletud iseärasused, mis päikesesüsteemi ehitusele omased, tekitavad veende, et Päikese pere moodustavad liikmed pole juhuslikult aja jooksul ühte sattunud. Pidid olema ühised põhjused, ühine algus, et võis esile ilmuda seesugune tervikuline ja kokkukõlastatud looduse sünnitis.

71. Planeetide kaugused ja nende 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 (76. joon.).

Juba ammu oli teada, et planeetide kaugused ligikaudselt alistuvad järgmisele väga lihtsale korrapärasusele. Kirjutame arvude rea:

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

ja lisame neile igäühele juurde 4; nõnda saame uue rea:

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

Jagades saadud arvud 10-ga, saame arvude rea:

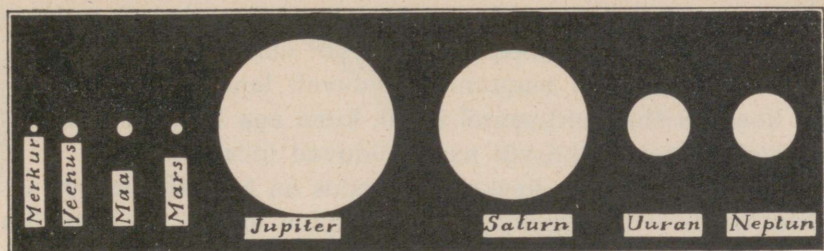
0,4; 0,7; 1; 1,6; 2,8 jne.,

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

Kõnesolevat 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 Neptuni ja Pluto puhul on lahkuminek õige suur.

Raamatu lõpus antud tabeli abil selgita Bode-Titius'e reegli põhjal määratud planeetide kauguste erinevust tõelistest kaugustest.

Päikese kaugusest oleneb valguse ja soojuse hulk, mille saab planeet Päikeselt. Nõnda on Mercuri 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 asetseb Päikesest $1\frac{1}{2}$ korda kaugemal kui Maa.



77. joon. Planeetide võrdlevad suurused.

72. Planeetide jaotus. Kauguse järgi Päikesest on meie Maa kolmas planeet päikesesüsteemis. Planeete, mis Päikesele ligemal kui Maa, nagu Merkur ja Veenus, kutsutakse siseplaneetideks. Nad võivad meile ilmuda ainult õhtul läänetaevas pärast Päikese loojangut või hommikul idataevas enne Päikese tõusu. Seevastu aga võivad välisplaneedid, mille 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 asetsevad oma ülemises ühenduses, s. o. kui nad on teisel pool Päikest.

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

Esimesse kuuluvad planeedid, millel on palju sarnasust Maaga. Need on: Merkur, Veenus, Maa ja Mars, mis on Päikesele ligemal ja oma suuruselt, massilt 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 moodustavad hiigelplaneedid Jupiter, Saturn, Uran ja Neptun, millel on omavahel palju sarnasust, kuna Pluto oma kaugel asendi ja suhtelise väiksuse tõttu

jääb eri seisukohale. Mainitud planeedid tiirlevad aeglaselt ümber Päikese, kuid pöörlevad kiiresti ümber oma telje, mistõttu nende kuju on muutunud tunduvalt lapikuks. Ka omavad nad kaaslasi ehk kuid suurel arvul, kuna aga Maa-sarnastel planeetidel on neid vähe või nad puuduvad üldse.

Suurte planeetide keskmine tihedus on Maa tihedusega võrreldes tunduvalt väiksem, pinnakihid pole vististi veel täielikult kõvaks hangunud, vaid püsivad alles vedelas või poolvedelas olekus. Planeete ümbritseb tihe, pilvedega täidetud õhkkond, mis tavaliselt peidab nende kindlat pinda meie silmade eest. Pinnaehitus ja atmosfääri koostis on umbes ühesugune, kuid hoopis erinev tingimustest Maa-sarnaseil planeetidel.

Väikesed planeedid ehk *asteroidid* lahutavad ruumiliselt mõlemat eespool kirjeldatud rühma teineteisest. Need on piskikesed 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 $15 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, hääl 330 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$, valgusel 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

Kui palju kulub aega, et rong (hääl, 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, misuguse nurgi ilmuks Päikese läbimõõt, kui seda vaadelda Merkurilt ja Neptunilt. Esitada tulemused graafiliselt, joonestades ringid, mis kujutaksid Päikese näivat ketast, vaadatuna Merkurilt, Maalt ja Neptunilt!

5. Võrrelda kiirte-energia hulki, mis saab Päikese kiirte suunale risti asetatud pinnaosa (1 cm²) mitmesugustel planeetidel võrreldes Maaga!

XIII. Päike.

73. Uldandmeid Päikesest. Päike on planeetide süsteemi keskne keha. Ta on ruumalalt ja massilt palju suurem kui kõik planeedid, isegi ühtekokku (vt. 78. joon.). Nagu teame (§ 43), on Päikese raadius 109 korda suurem Maa raadiusest ning Päikese ruumala 109³ ehk 1 300 000 korda suurem Maa ruumalast. Kui

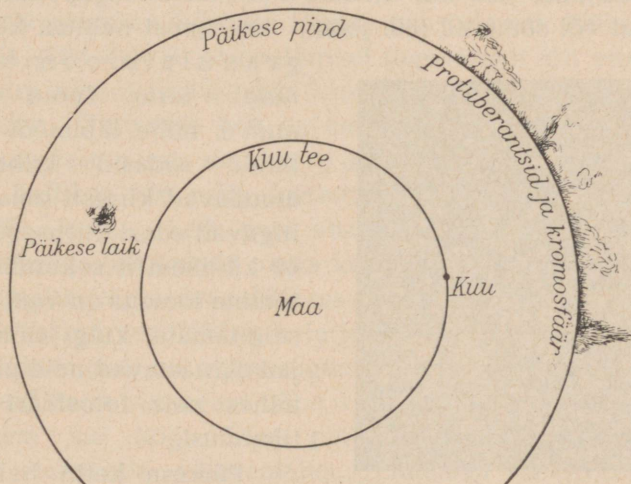


78. joon. Päikese ja planeetide võrdlevad suurused.

vesi. Et Päike on gaasiline keha, siis peab selles gaas olema tugevasti kokku surutud. Peale selle, et Päike ületab planeete

kujutella, et Maa asetseks Päikese sees ta keskpunktis ja Kuu tiirleks ümber Maa, siis Kuu tee mahuks Päikese kera sisse, umbes ta poole raadiuse kaugusele keskpunktist (79. joon.).

Päikese mass (§ 65) on 333 000 korda suurem Maa massist. Neist andmeist võime järelda, et Päikese keskmine tihedus on $\frac{1}{4}$ Maa keskmisest tihedusest, mis on 5,5, kusjuures vee tihedus loetakse ühikuks. Seega on Päikese aine keskmiselt 1,4 korda tihedam kui



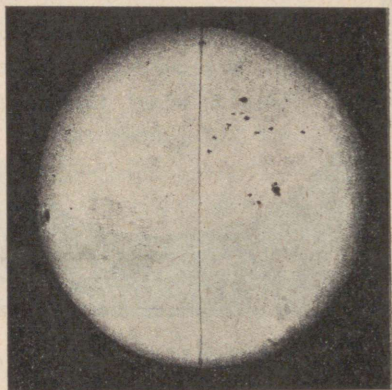
79. joon. Päikese suurus võrreldes Kuu kaugusega Maast.

oma suurusega ja kontrollib ning korraldab nende liikumist oma kolossaalse tõmbetungiga, annab ta neile ka valgust ja soojust.

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?

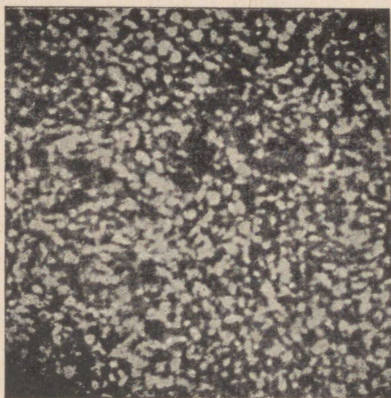
2. Kui raske oleks Päikesel inimese keha, mis Maa pinnal kaalub 75 kg?

74. Päikese pinna nähtused. Palja silmaga vaadates esineb meile Päike pimestavalt heleda kettana. Kuid juba väikeses pikksilmas, nagu seda esimesena tõendas Galilei, võib tumeda klaasi abil Päikese heledal pinnal enamasti alati tähele panna tumedaid täppe või laike (79-a. joon.). Suurema pikksilma läbi vaadeldes paistab Päikese helendav pind ehk **fotosfäär** meile enam-vähem rä-



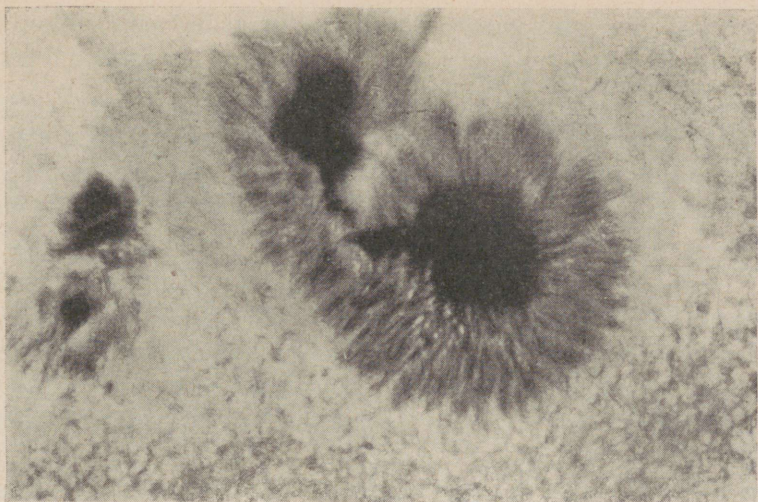
79-a. joon. Päikese fotosfäär ühes laikudega.

busena, kirjuna, just kui ujuksid tumedamal tagapõhjal heledamad terad või sõmerad (80. joon.). Seesugust nähtust kutsutakse **granulatsiooniks** (*granula* = tera). Terad ehk *granula*'d, mille läbimõõt on harilikult sadasid kilomeetreid, muudavad kiiresti oma kuju ja liiguvad edasi kiirusega 10 kuni 40 kilomeetrit sekundis. Nende tõeline loomus on veel lõplikult selgitamata, kuigi mõned uurijad sarnastavad neid pilvedega, nähes neis fotosfääri gaaside tihendusi.



80. joon. Päikese granulatsioon.

Päikese ketta heledus on tema keskpaigas kõige suurem;



81. joon. Päikese laigud.

ketta servade poole heledus korrapäraselt kahaneb, mida iseäranis selgelt ilmutab fotograafia. Selle nähtuse üheks põhjuseks peetakse kiirte neeldumist Päikese atmosfääris. Kiired, mis meile tulevad Päikese servade poolt, peavad läbima Päikese atmosfääris paksema kihi kui kiired, mis tulevad Päikese ketta keskelt, ja selle tagajärjel neelduvad tugevamini kui viimased.

Päikese pinnal võiks pikksilmaga peaaegu alati näha tumedaid laike. Tüüpiline laik on ümmargune; see koosneb keskmisest tumedast osast, nn. varjust (*umbra*), mida ümbritseb heledam, hallikas äär, mida kutsutakse poolvarjuks (*penumbra*) (81. joon.). Laik pole absoluutselt tume, vaid ainult Päikese pimestavalt heleda pinna kontrasti mõjul seesugune. Kui oleks võimalik kõrvaldada Päikese pinna heledat tagapõhja, 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.

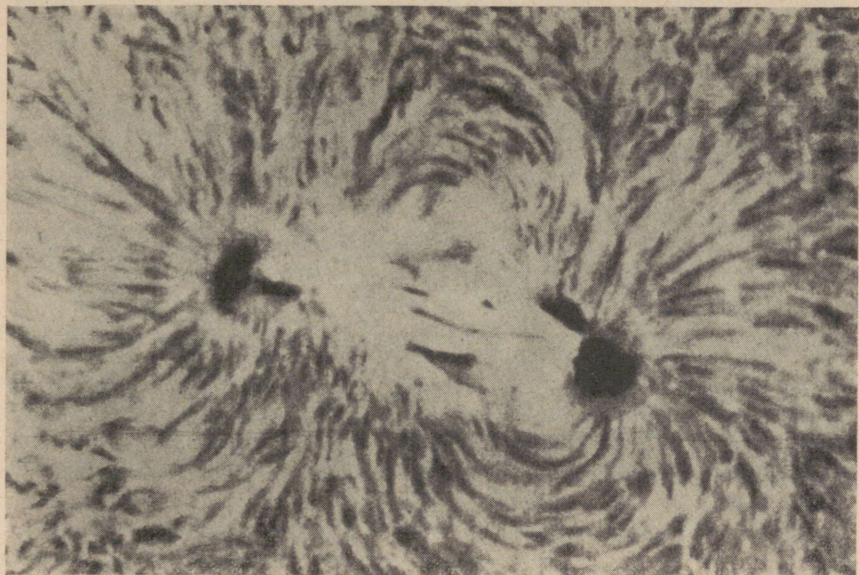
Laikudega koos, kuid vahel ka neist eraldi, ilmuvad erilised heledad loited ehk lõkked, nn. f a k l i d. Nad näivad üldiselt fotosfäärilisest pinnast natuke kõrgemal asetsevat ja on sellest heledamad.

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 pinnal valitseva madalama rõhu piirkonda, siis ta laieneb, hõreneb, ja seetõttu 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 pööriline ehitus nagu meie tuulispeadel, tornaadodel ja tsükloneil (82. joon.). Ioniseeritud gaaside pöörlemine Päikese laikudes, sarnanevalt elektrivooluga (vrd. solenoidiga!), tekitab laigus magnetilisi tunge. Et Päikese laigud on tugevad magnetitungi väljad, tõestab nn. Z e e m a n'i efekt. Viimane seisab selles, et valguskiirte läbiminekul 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?

75. 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 joonestada, siis ilmneb, et laigud on liikumas erisugustes suundades ja eri kiirusega. Kuid peale laikude erisuunaliste liikumiste on neil veel

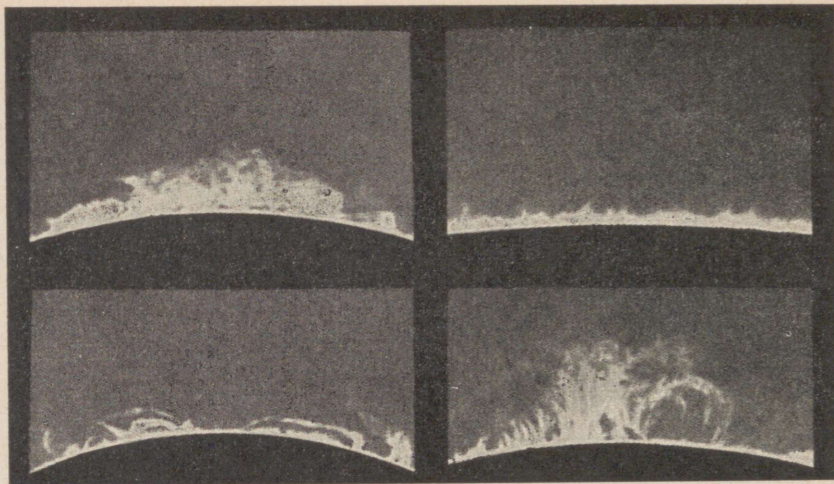


82. joon. Päikese laikud kui pöörised.

ühine kiirem samasuunaline liikumine (idast läände), mida kerge on seletada Päikese pöörlemisega ümber oma telje. Järelikult võib kõnelda Päikese poolustest, ekvaatorist ja Päikese pinnal asetsevate punktide heliograafilisest (*helios* = Päike) laiusest ja pikkusest.

Päikese laikude liikumiste üksikasjalisem 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 ekvaatoril asetseva vöö pöörlemise periood on 25 päeva, kasvab see pidevalt ühes heliograafilise laiusega kuni umbes 30 päevani. Päikese pöörlemist ja selle iseloomu on peale laikude võimalik uurida ka teiste Päikese pinnal ilmuvate moodustiste (faklite, protuberantside) abil.

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



83. joon. Päikese protuberantside ülesvõtteid.

76. Päikese õhkkond. Kõneldes Päikese pinnast mõistetakse selle all fotosfääri ülemist piiri, mida Päikese kui gaasilise keha puhul ei tule kujutella järsult piiratuna. Päikese fotosfääri ümbritseb gaaside kiht, mida kutsutakse kromosfääriks ehk Päikese õhkkonnaks. Kromosfäär koosneb peamiselt vesiniku ja heeliumi kergeist gaasidest ja kaltsiumist gaasilises olekus. Kromosfääri tihedus on õhu tihedusest mitu tuhat korda väiksem ja ta ulatub Päikese pinnalt üle 10 000 km kõrguse.

Kromosfääri on kõige parem uurida täielise 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 parajasti 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.

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

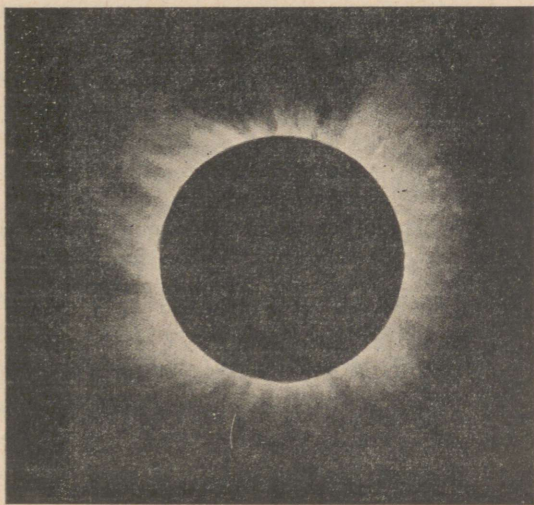
Protuberantside kuju on väga mitmesugune ja kiiresti muutuv. Kord esinevad nad grandioosete tulekeelte või -sammastena, millel on pööriseline ja purskeline ehitus, kord aga pilvedena, mis ujuvad rahulikult Päikese atmosfääri kõrgeis kihtides.

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 rutuline kuju muutumine. Enamasti toimub see 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 iseseisvalt ja koguni neil aladel, kus laigud kunagi ei ilmu, nagu näiteks Päikese pooluste piirkonnas. Ka on protuberantsidel nagu Päikese laikudelgi 11-aastane sagedusperiood.

78. Päikese kroon.

Päikese täielise varjutuse ajal, kui Kuu on asunud Maa ja Päikese vahele ja katnud meie pilkude eest Päikese pimestavalt helendava ketta, võib selle ümber näha omapärast hõbedaselt hiilgavat pargat ehk oreooli, mida kutsutakse Päikese krooniks (84. joon.).



84. joon. Päikese kroon.

Uuemal ajal (1931) leiutati meetod fotograafida Päikese krooni ka mõnel muul kui päikesevarjutuse ajal. Selleks kasutatakse vaatluskohana kõrgeid mägesid, kus õhk on eriti läbipaistev ja puhas.

Päikese kroonile tuleb vaadata kui Päikese atmosfääri kõige hõreda- male ja kaugemale osale. Krooni pindheledus kahaneb kiiresti ühes kaugu- sega Päikese servast, kuid mõnikord on olnud võimalik seda jälgida Päikese mitme raadiuse kauguseni. Kroon annab meile umbes niisama palju valgust kui täiskuu.

Krooni ehitus on õige 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 ka kõvadest tolmukübemeist.

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

79. 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 *m a k s i m u m i d e k s*, teisi — *m i i n i m u m i d e k s*. Kauakestnud vaatluste abil saadud andmete statistiline uurimine näitas, et laikude ilmumise sagedus kordub perioodselt. Miinimumi ajast maksimumini möödub keskmiselt $4\frac{1}{2}$, maksimumist järgmise miinimumini — $6\frac{1}{2}$ aastat; nõnda kestab laikude periood umbes 11 aastat, kusjuures vahel võib esineda tunduvald kõikumisi.

Nagu juba eespool juttu oli, on uurimine kindlaks teinud, et Päikese laigud põhjustavad tugevaid magnetitunge. Ka on teada, et Päikese laikude ilmumine on ühenduses Maa magnetismi ja virmalistega. Kui mõni suur Päikese laik asetseb Päikese ketta keskpaigas, siis võib sageli tähele panna *v i r m a l i s t e* ilmumist ja nn. *m a g n e t i t o r m e*, mil magnetnõel näitab järske kõikumisi. Ka on teada, et Päikese laikude perioodile vastab Maa magnetismielementide perioodne muutumine (85. joon.).

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

80. Päikese energia ja selle kasutamine. Päike on kõrge temperatuuriga gaasiline keha, mis kiirgab energiat igale poole maailmaruumi. Maa saab sellest energiast ainult $\frac{1}{2200\,000\,000}$ ja kõik planeedid ühtekokku umbes $\frac{1}{225\,000\,000}$ osa; kõik muu hulk hajub, planeetkonnas kasutamist leidmata, ruumi laiali.

Päikese kiirgamise hulga ja temperatuuri hindamine on võimalik suuruse abil, mida kutsutakse päikese konstandiks.

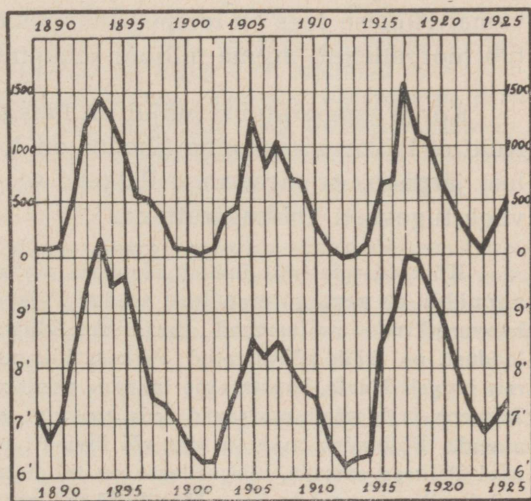
Päikese konstant on grammkaloreis mõõdetud Päikese soojuse hulk, mis langeb ühe minuti jooksul Maa pinna juures asetsevale ja Päikese kiirtele risti asetatud 1-ruutsentimeetrisele pinnale.

Seejuures oletatakse, et Maa kaugus Päikesest oleks võetud keskmine ja et Maad ei ümbritseks õhkkond, mis neelab ja hajutab Päikese kiiri.

Uuemate mõõtmiste põhjal saadud päikese konstandi väärtus on 1,94 grammkalorit minutis (ümmarguselt võib lugeda 2 kalorit).

Mõnede uurijate andmete järgi näib päikese konstant perioodiliselt veidi muutuvat. Tema suurim väärtus vastab laikude maksimumi ajale, mil Päike avaldab kõige intensiivsemat tegevust.

Päikese konstandi põhjal võib arvutada kogu soojushulka, mille Päike saadab välja igas minutis. Kujutleme selleks Päikese kui keskpunkti ümber kerapinna, mille raadius oleks nii



85. joon. Päikese laikude sageduse (üleval) ja Maa magnetismi (all) perioodsus.

pikk kui Maa kaugus Päikesest, s. o. $149\frac{1}{2}$ miljonit km. Pindala 1 cm^2 sel kaugusel püüab minuti jooksul kinni ligi 2 kalorit Päikese soojust. Järelikult saadab Päike ühes minutis välja niipalju kordi enam soojust, mitu ruutsentimeetrit sisaldab eneses nimeetatud kera pind.

Päikesekonstandi põhjal võib arvutada ka Päikese pinna keskmist temperatuuri. Kujutleme endale täiesti tumedat keha, mis on niisama suur kui Päike ja mis ka niisama palju soojust kiirgab kui Päike. Seesuguse tumeda keha kiirgamise hulk on võrdeline keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega (Stefan-Boltzmanni seadus). Mõeldes Päikese asemel tumedat keha, nn. täielist kiirgajat, ja teades kiirgamise hulka ühe ruutsentimeetri pinna kohta, võib arvutada keha pinna absoluutset temperatuuri. Päikese puhul on see umbes 6000° . Sügavamal Päikese sees on temperatuur muidugi palju kõrgem ja ulatub teoreetiliselt mitme 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 peavad esinema väga tugevasti kokkusurutuina.

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

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

2. Mitu kalorit soojust annab 1 cm² 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 cm² kohta? Vastus: ~ 9 HJ.

81. Päikese spekter ja keemiline koostis. Päikese pindkihi 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 neeldumis- ehk absorptsioonispekter. Tumedad neeldumisjooned asetsevad temas just neis kohtades, kus muidu oleksid heledamad kiirgamisjooned, kui sama gaas esineks hõõgavana.

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, mille asendid spektris on määratud laboratoorsete katsete abil. 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 koguni mõned keemilised ühendid.

Kõik neeldumisjooned Päikese spektris ei olene ainult Päikesest enesest; paljud neist on tingitud meie õhkkonnas leiduvaist gaasidest (hapnik, lämmastik, ozoon, veeaur), milles osa kiiri meie juurde tulles neeldub. Selliseid neeldumisjooni Päikese spektris kutsutakse terrestrilisteks ehk maalisteks joonteks.

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 gaasilises olekus, näiteks kaltsium või vesinik.

82. Päikese soojuse allikaid. Et Päike määratu aja jooksul saadab enesest välja tohutuid energiahulki, siis tekib loomulikult küsimus, millised on need allikad, kust Päike ammutab oma energia, mis määratu suurele kulutusele vaatamata siiski tunduvalt ei kahane.

Kui Päike millestki oma soojushulka ei täiendaks ja kiirgamine toimuks ainult olemasoleva soojusetagavara arvel, siis peaks Päike kiiresti jahtuma, mida aga tõeliselt ei toimu. 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, mille juures nende kineetiline energia muundub soojuseks. Kuid tõenäoselt pole langevaid meteore nii palju, et nendest tekkinud soojus oleks võrdne Päikesest kiirgamise teel lahkuva soojushulgaga.

Helmholtz esitas eelkirjeldatud 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, 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 seisukorraneni. 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 tõsiasiad, 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 grammakalorit tunnis. Seepärast võiks tekkida arvamus, et Päikese soojus tekib vahest radioaktiivsete ainete lagunemisest. Ehk küll raadiumi olemasolu Päikeses pole seni 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 oletusist suutnud rahuldavalt seletada Päikese soojust tekkimist.

Aatomiteooria põhjal on tõenäone, 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 muutumine teiste elementide aatomituumadeks. Transmutatsioonide puhul vabanev energia on määratult suurem eespool nimetatud teiste protsesside puhul vabanevast energiast, ja sellest piisab täielikult Päikese kiir-

gamise katmiseks. Transmutatsioonidest on eriti tähtsad ja energia suure kiirgamisvõimega need, kus vesinik muutub heeliumiks või mõneks muuks algaineks (elemendiks).

XIV. Kuu.

83. Kuu pinnaehitus. Meie Maa kaaslase Kuu pind, liikumine ja loodus on paremini uuritud, kui ühelgi teisel taevakehal, sest Kuu on meile kõigest teistest taevakehadest lähim. Meenuta andmeid Kuu kauguse, suuruse, tiirlemisperioodi jne. kohta!

Juba palja silmaga võib Kuu pinnal näha tumedaid laike, mis annavad Kuu välisnäole kindla ilme. Et Kuu välisnägu ei muutu, sellest järgneb, et Kuu hoiab alati sama külge Maa poole.

Pikksilma läbi vaadates kaob Kuul tema harilik välisilme täiesti, kuid ühtlasi ilmub selle asemele (86. joon.) hulk peenusi ja üksikasju.

Suure osa Kuu pinnast moodustavad tumedamad tasase pinnaga alad ehk nn. „mered“ (varem ajal peeti neid tõelisteks veekogudeks). Muu osa Kuu pinnast aga on väga ebatasane ja ko-



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

narlik. Võib näha tuhandeid kõrgendikke, mis heidavad teravate piirjoontega tumedaid varje. Valgustatud ja valgustamata pinna rajajoon (terminaator) paistab sakilisena, mis samuti tõendab pinna konarust.



87. joon. Kuu maastik.

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

Tüüpilised Kuu pinnavormi moodustised on nn. rõngasmäed, mis elavalt tuletavad meelde vulkaanide kraatreid (87. joon.). Nad koosnevad ringikujulisest vallist, millest seespool asetseb süvend. Viimase keskpaigas on tihti künegas või teravik. Väiksemaid rõngasmägesid, mille läbimõõt on kuni 5 km, kutsutakse kraatreiks, suuremaid — tsirkideks (*circus*). Rõngasmägede arv on mitukümmend tuhat. Silmas pidades nende suurust ja rohket esinemist Kuu pinnal, on raske neid täiesti samastada kustunud vulkaanidega. Kui Kuu peal on kunagi esi-

nenud vulkaaniline tegevus, siis pidi see end teisel viisil ilmutama kui Maa peal. Praegu igatahes Kuul mingit vulkaanilist tegevust ei avaldu.

Suurte pikksilmade abil võib Kuul mitmes kohas tähele panna tumedaid jooni, mis vahel suurel ulatusel lõikavad „meresid“, mägede rühmi ja koguni üksikuid kraatreid. Need on nähtavasti p r a o d ehk m õ r a d Kuu pinna sees, nende 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 moodustised ja tekitavad mulje, nagu esitaksid nad mõnesuguseid väljapursete produkte (vulkaanilist tuhka), mis on langenud Kuu pinnale.

Kõik eespool-kirjeldatud moodustised annavad tunnistust sellest, et meie Maa kaaslaste pind kannab suurte ja ägedate geoloogiliste vapustuste jälgi.

84. Kuu pinna füüsikalised tingimused. Looduslikud tingimused Kuu peal erinevad tunduvalt Maa omadest. Raskustungi tugevus on Kuu peal 6 korda nõrgem kui meil, mistõttu 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, lendasid ära 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, seda tõestavad mitmesugused nähtused. Tiireldes ümber Maa läheb Kuu vahel mõne tähe ette ja katab selle. Niisugusel juhul täht Kuu serva juures kustub äkitselt, mida ei esineks, kui Kuud ümbritseks atmosfäär, mis neelaks sellest läbitungivat tähe valgust ja vähendaks tähe heledust pidevalt.

Mägede varjude piirjooned Kuu pinnal on t e r a v a d, selged, millest järeldub, et seal pole hämarikunähtusi, mida põhjustab õhkkond.

Kuu spekter on Päikese spektri sarnane, mil-

lest samuti saab järeldada Kuu õhkkonna puudumist. Kui Kuud ümbritseks õhkkond, siis Päikese kiired seda läbides ja Kuu pinnalt tagasi peegeldudes osaliselt neelduksid. Selle tulemuseks oleks ka mõnede uute neeldumisjoonte ilmumine lisaks Päikese spektri joontele, mida aga pole kunagi nähtud.

Ka vesi puudub Kuu pinnal. Kui seal tunduval määral vett leiduks, siis muutuks see auruks ja moodustaks veeauru õhkkonna. Kuu pinnamoodustised on aga kõik väga teravate piirjoontega, mis näitab, et nende kallal pole õhk ega vesi oma murendamis- ja uuristustööd teinud.

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

Kuu pinna koostise ja ehituse kohta lubab teha, olgugi ligikaudselt, mõningaid järeldusi nn. *a l b e e d o*. Selle all mõeldakse arvu, mis näitab, kui suur osa kõigest mõnele 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 savimergliil. Tumedate kohtade („merede“) albedo on võrdne hangunud laava omaga, kuna heledad mägede kallakud osutavad albedo väärtust, mis on vulkaanilisel tuhal. — Üldse aga on Päikeselt saadud valgushulk umbes 465 000 korda suurem täiskuult saadavast valgushulgast.

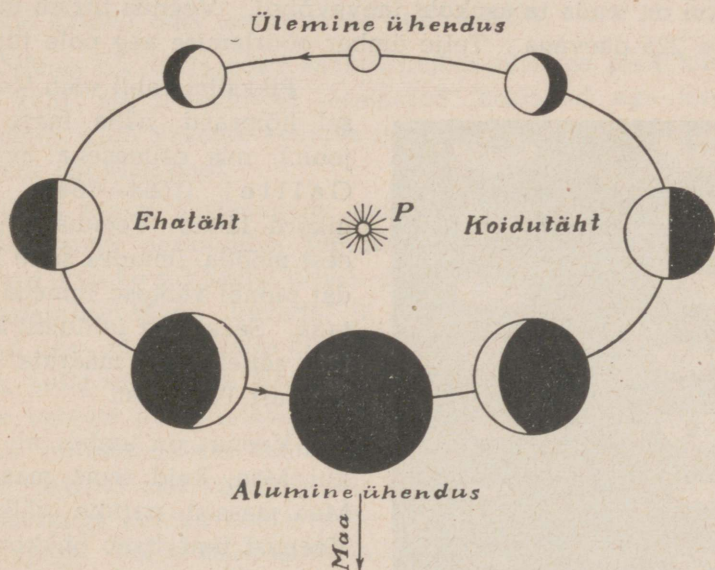
1. Kui pikk on öö-päev Kuu peal?
2. Kujutleme vaatlejat, kes asub Kuu peal tema nähtava poolkera keskuses. Kus kohal taevavõlvil paistaks talle Maa? Kuidas ta näeks tähti ja Päikest liikuvat Maa suhtes ja kuidas muutuks seejuures Maa välisnägu?

XV. Planeedid.

85. Merkur. Merkur on Päikesele kõige ligem planeet. Tema kaugus on 0,4 astronoomilist ühikut, s. o. Maa kaugust Päikesest. Olles Päikesele 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 eemalduses Päikesest (keskmiselt 23°). Ta ilmub siis hommikuti umbes tund aega enne Päikese tõusu idas horisondi lähedal või õhtuti varsti pärast Päikese loojangut läänetaeva serval.

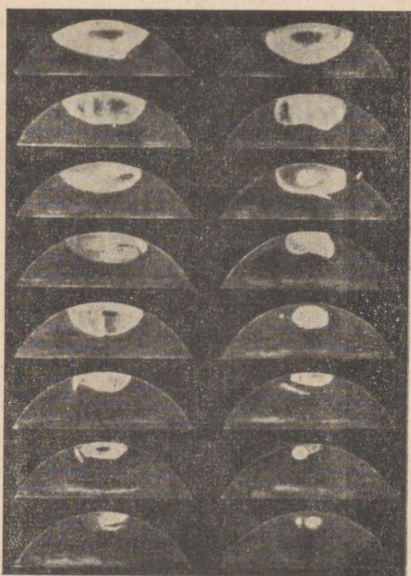
Merkuri tiirlemisperiood kestab 88 päeva. Tema tee tasapind on ekliptika-tasapinna suhtes tunduvalt kaldu (7°). Mõnikord läheb ta Päikese eest mööda, ilmudes selle pinnal tumeda täpina.



88. joon. Veenuse faasid.

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

86. Veenus. Veenuse kaugus Päikesest on 0,7 astronoomilist ühikut. Asetsedes samuti nagu Merkur Päikesele lähemal kui Maa, võib ta paista meile ainult hommikuti koidu- ja õhtuti ehatähena. Teda vaadelda on aga palju kergem kui Merkurit, sest ta võib Päikesest tunduvalt eemale minna (keskmiselt 46°). Peale selle on Veenus kõige heledam taevakeha peale Päikese ja Kuu. 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 tuntud.



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

Pikksilma abil võib Veenusel hõlpsasti näha faase (88. joon.), mis esimesena avastas Galilei (1564—1642). Mõnikord läheb Veenus Päikese eest mööda, ilmudes selle heledal pinnal väikese tumeda ketana. Seesugust juhtumit 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 (albedo 0,6), mistõttu Veenus paistab öösi pikksilmas pimestavalt säravana.

Seepärast on teda parem pikksilmas vaadelda päeval, kui tahetakse näha rohkem üksikasju.

87. Marss. Marss on Maale lähim välisplaneet. Ta kaugus Päikesest on 1,5 Maa kaugust. Teda võime näha igasuguses kau-

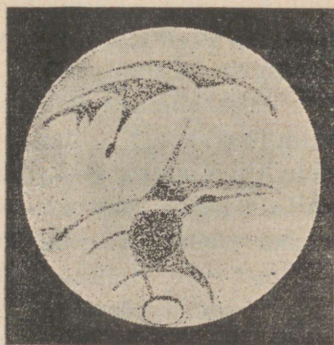
guses Päikesest. Seega võib Marss paista ka keskööl — Päikesele vastasseisus, ja ta on siis iseäranis hele, ilmudes punaka kauni tähena.

Marsi ruumala on Maaga võrreldes 6 korda väiksem. Marss erineb Maast ka oma massilt, mis on 9 korda väiksem, ja tiirlemis-perioodilt, mis kestab 687 päeva. Kuid Marss sarnaneb Maaga oma pöörlemisperioodi pikkuselt, mis kestab umbes 24½ tundi, ja telje kaldelt oma teetasapinna suhtes (65°).

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

Ühes Marsi aastaegade vaheldumisega võib tema pinnal tähele panna perioodilisi muutusi. Iseäranis paistavad silma v a l g e d l a i g u d Marsi polaar-piirkondades. Need vähenevad korrapäraselt Marsi „kevade“ ja „suve“ tulekul (89. joon.), kasvavad aga „sügisel“ jälle uuesti. On oletatud, et nad esindavad lume, halla või uduga kaetud pinda Marsi pooluste ümbruses. Peale valgete polaarlaikude võib Marsi punakal pinnal tähele panna mitmesuguseid tumedaid, sinirohekaid laike (90. joon.), mida varem al ajal vaadeldi kui veekogusid ja hiljemini — kui taimestikuga kaetud kohti, mille värv ja tumedus muutub ühes aastaajaga. Peale selle nähti mitme vaatleja (Schiaparelli [loe: skiaparelli], Lowell jt.) poolt sirgjoonelisi tumedaid kitsaid ribasid, nn. „kanaleid“, mis risti-rästi lõikudes katavad võrguna planeedi pinda ja ühendavad omavahel suuremaid tumedaid alasid.

Kanalite loomuses on mis-
kit veel selgitamata. Nende olemasolus on kaheldud ja arvatud tegemist olevat omapärase illusiooniga. Et spektroskoobiliste vaatluste põhjal on Marsil veeauru väga vähe, siis on Marsi pinnal raske oletada suuri veehülle. L o w e l l'i ja teiste vaatlejate järgi on kanalid samuti nagu tume-



90. joon. Marsi teleskoobiline vaade.

dad laigudki madalamad kohad Marsi pinnal, kuhu koguneb niiskust, mis võimaldab mõnesuguse taimestiku ja annab nendele kohtadele tumeda värvuse. Niisugune oletus on kokkukõlas sellega, et kanalite kuju ja tumedus perioodiselt muutub ühes Marsi aasta-aegadega.

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.

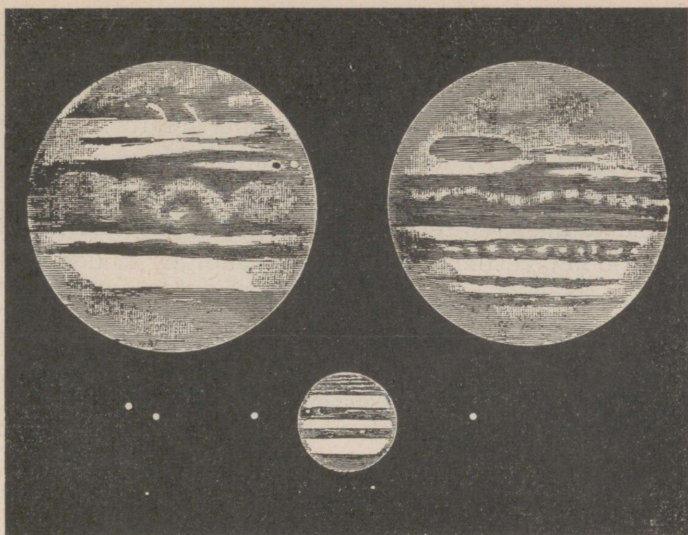
Aastal 1877 avastas ameerika astronoom A. Hall Marsil kaks väga pisikest kaaslast ehk kuud. Üks neist tiirleb ümber Marsi $7\frac{1}{2}$, teine — 30 tunniga. Et Marss pöörleb ise aeglasemalt oma telje ümber kui tema lähem kuu tiirleb ümber planeedi, siis esineks Marsi peal vaatelejale iseäralik nähtus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

88. Väikesed planeedid ehk asteroidid. Marsi ja Jupiteri teede vahel tiirlevad laias vöös väikesed planeedid ehk asteroidid. Need on väikesed taevakehad, mis pikksilmas paistavad nõrga heledusega tähtedena. Nende tõelised läbimõõdud on 10—800 km ja kogumass vaevalt 0,001 Maa massist. On tõenäone, et asteroididel puudub õhkkond niisamuti nagu Merkuril ja Kuul. Asteroide on praegusajal teada üle 1600.

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

Palja silmaga vaadeldes esineb Jupiter meile heleda, kuid rahuliku säruga kollakasvalge tähena, mis on peaaegu niisama hele kui Veenus. Pikksilмага võib tema pinnal näha täppe, mille 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 evib Jupiter sarnasust Päikesega.

Jupiterit ümbritseb tihe õhkkond, kus nähtub palju kiiresti-muutuvaid pilvetaolisi moodustisi. Nende hulgas on eriti ise-



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

loomulikud tumedad, pruunikad või valged vöödid ja viirud, mis asetsevad peamiselt rööbiti ekvaatoriga (91. joon.).

Asetsedes 5,2 korda Päikesest kaugemal kui Maa, on Jupiteri pinnal Päikese soojendamisvõime palju nõrgem kui Maa peal. Kuid Jupiter on taevakeha, mis nähtavasti pole veel seni jõudnud seevõrra jahtuda, et tema vedelat pinda kataks hangunud kõva koor.

Augustikuus aastal 1878 ilmus Jupiteril äkitselt suur tume, nn. „p u n a n e l a i k“ (91. joon. paremal pool ülal), mis paistis selgesti, siis mõne aja pärast kadus, kuid ilmus jälle uuesti, kuni aegamisi tuhmus. Mõnede arvates võis see olla koore hangumisnähtus Jupiteri pinnal, mis võiks iseloomustada esialgse mandri tekkimist.

Aastal 1610, kui Galilei esimest korda tema enese poolt valmistatud pikksilmaga vaatles Jupiterit, üllatas teda kokkõlaline ja mõjuv vaade. Jupiterit ümbritsesid neli heledat kaaslast, mis selle ümber tiirlesid nagu planeedid ümber Päikese

(91. joon., all). Jupiteri süsteemi vaade näis vahetult kinnitavat Koperniku õpetust, et Maa pole Maailma „keskkoht“, mille ümber tiirlevad kõik taevakehad.

Jupiteri süsteemis esineb huvitavaid nähtusi. Sageli võib näha, 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 (91. joon., vasemal pool ülal). Jupiteri kuude varjutuste abil määrati esimest korda valguse kiirus (kuidas?). Neid on sageli tarvitatud ka geograafilise pikkuse määramiseks.

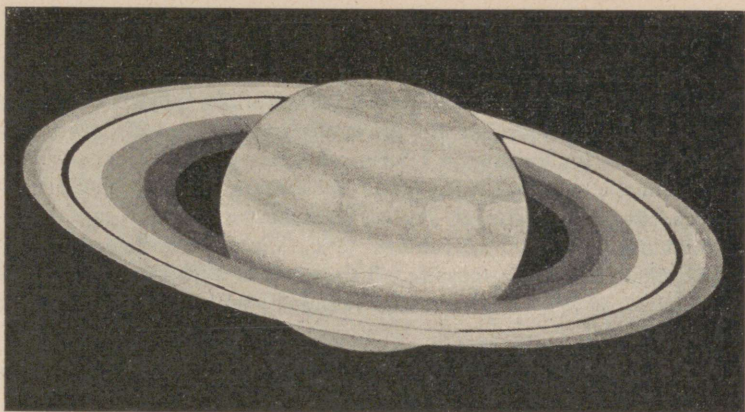
Aastal 1892 leidis ameerika astronoom **Barnard** Jupiteril veel 5. kaaslast. Hiljemini, käesoleval sajandil, avastati fotograafia abil Jupiteril veel mitu kaaslast, mis on kõik väga väikesed kehad. Kõige uuemal ajal on avastatud veel mõned kaaslasted lisaks varem tuntuile, nii et nende koguarv on jõudnud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

90. Saturn. Saturn tiirleb Päikesest ligi 10 korda kaugemal kui Maa ja on suuruselt Jupiteri järgmine planeet päikesesüsteemis. Paljale silmale paistab ta tuhmkollaka 1. 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 planeedi kaju suur lapikus ($\frac{1}{10}$), mis on veel suurem kui Jupiteril.

Pikksilmaga võib Saturni kettal tähele panna vöote, 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 ja õhuke rõngas, mis ümbritseb planeeti, selle külge puutumata (92. joon.). Galilei, kes nägi rõngast esimesena, pidas seda planeedi kaheks kaaslasteks. Alles hollandi õpetlane Huygens (1629—1695) selgitas rõnga välise ehituse. Suuremas pikksilmas näib rõngas jagunevat kaheks ja koguni mitmeks ühiskeskseks rõngaks, mida üksteisest lahutavad tumedad ringilised viirud.



92. joon. Saturn oma rõngaga.

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

91. Uuran, Neptun ja Pluto. Kõiki eespool-kirjeldatud planeete võib kergesti näha palja silmaga ja neid tunti juba vanaajal. Kuid järgmiste planeetide leidmiseks ja vaatlemiseks on vaja enam-vähem tugevajõulisi pikksilmi.

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

Uuran esineb paljale silmale 6. suuruse tähena. Suurtes pikksilmades paistab ta rohekasvalge kettana, millel võib tähele panna Jupiterit ja Saturni iseloomustavaid vöote. Uuranil on avastatud 4 kaaslast.

Planeet **Neptun** asetseb 30 korda Päikesest kaugemal kui Maa ja tema tiirlemisperiood kestab 164 aastat. Neptun on ruumalalt 78 ja massilt 17 korda suurem kui Maa. Temal leiti ka üks kaaslane, mille tiirlemine ümber planeedi toimub vastupidises suunas.

Neptun 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.

Neptuni avastamine (aastal 1846) toimus teoreetilise uurimise viljana (vt. § 67).

1930. aastal avastati planeet *Pluto*, mille tee asetseb väljaspool Neptuni teed. Ta esineb meile umbes 15. suuruse tähena. *Pluto* kaugus Päikesest on 40 astronoomilist ühikut ja tiirlemisperiood 250 aastat. Ta tee on pikergüsem ellips kui ühelgi teistest suurtest planeetidest; seetõttu võib ta oma periheelis tulla meile ligemale kui Neptun, kuid kokkupõrge viimasega on seepärast võimatu, et *Pluto* tee tasapind erineb Neptuni tee tasapinnast tunduva nurga võrra (umbes 15°). *Pluto* on väiksem kui Maa, ta mass on ligikaudu $\frac{1}{2}$ Maa massist. Temperatuur *Pluto* pinnal peaks olema seevõrra madal, et õhk, kui seda seal leiduks, peaks püsima vististi vedelas või tahkes olekus.

1. Katsu palja silma või binokli abil mõnikord Merkurit leida (vt. astron. kalendrit).

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

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

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

XVI. Komeedid ja meteooidid.

92. **Komeedid, nende teed ja liikumine.** Vahel ilmuvad taevavõlvil haruldase välimusega udusarnased tähed, mis muudavad kiiresti oma kohta tähtede suhtes ja millel on sageli näha sabakujuline lisand. Need on **komeedid** ehk **sabatähed** (94. joon.), mis erinevad planeetidest oma kuju, ehituse, tee ja koostise poolest.

Kepler arvas, et komeete on väga palju — „nagu kalu meres“, ja tõeliselt avastatakse 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 on Päikesele võrdlemisi ligidal. Seepärast tunneme ainult nende teede väikest osa. Vanaajal puudus teadmine komeetide olemuse ja liikumise kohta täielikult. Mõned pidasid neid õhkkonna moodustisteks.

Koguni 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, mille fookuses asetseb Päike.

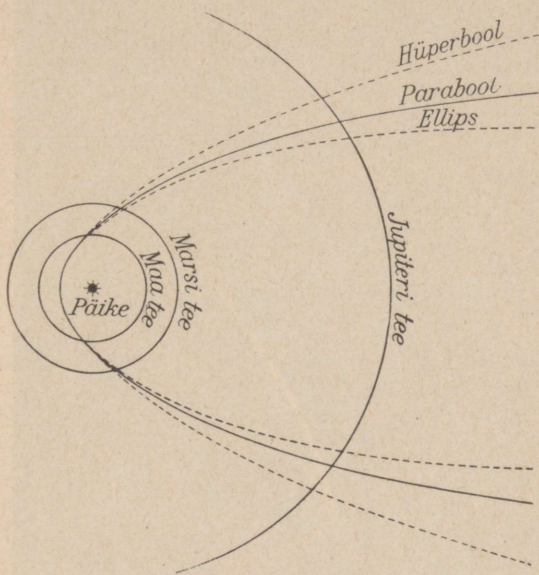
Kuid komeetide ellipsid on väga pikergused. Sageli pole võimalik määrata, kui palju ellips erineb paraboolist, mille harud lähevad lõpmatusse, ja seepärast loetakse komeetide teed enamasti paraboolseiks (93. joon.).

Komeedid erinevad planeetidest veel seepoolest, et nende teede tasapinnad on väga erinevalt ruumis orienteeritud, kuna planeetide teede tasapinnad peaaegu

ühtivad ekliptika-tasapinnaga; planeedid tiirlevad peale selle ümber Päikese kõik samas, päripidises suunas, komeedid aga niihästi päripidises kui ka vastupidises suunas.

93. Komeedi kuju ja ehitus. Komeedis eristatakse harilikult kolm osa. Need on: udusarnane ümmarik mass ehk nn. **pea**, helendav tihendus peas ehk nn. **tuum**, ja helendav sirge või kõver lisand, mis peaga on ühenduses — **saba** (vt. 94. joon.).

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



93. joon. Mitmesugused komeetide teede kujud.

Komeedi ilmumisel, kui ta on Päikesest alles kaugel, paistab ta esiti ümmarguse udusarnase tombukesena. Päikesele lähenedes komeedi kiirus ühtelugu suureneb, ta keha pikeneb, tuum nihkub Päikese poole külge, kujundub saba, mis kasvab kõige pikemaks harilikult pärast perihelilist läbiminekut.



94. joon. Donati komeet aastal 1858. Hele täht komeedi peast paremal on Arktuurus. Vasemal kõrgemal — Põhjakraon.

Komeedid koosnevad äärmiselt väikese tihedusega aineist, nii et tähed paistavad sellest läbi, ilma et tähtede valgus muutuks nõrgemaks. Kui juba kõige õhemad pilved suudavad 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. Komee-

nedes komeedi kiirus ühtelugu suureneb, ta keha pikeneb, tuum nihkub Päikese poole külge, kujundub saba, mis kasvab kõige pikemaks harilikult pärast perihelilist läbiminekut. Seejuures on komeedi saba pööratud alati Päikesest eemale, millest räägitakse juba vanaaja kirjanduses (Seneca).

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

did 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 korradel oli komeedi kiirus ligi 500 km sekundis. Silmas pidades, et komeedi saba pikkus on tihti kümneid miljoneid kilomeetreid, võib kujutella, kui võrra suur kiirus peaks olema komeedi saba osakestel, kui saba oleks tahke moodustis, mis seotud komeedi peaga. Kiirus oleks selline, et saba ei võiks enam püsida kindlana, vaid puruneks. Seepärast tuleb komeedi saba vaadelda kui ainet, mis Päikeses asetseva t õ u k e t u n g i mõjul komeedist pidevalt maailmaruumi voolab. Saba aine on järjest vahelduv nagu vesi ojas või suits, mis tõuseb korstnast.

Nõnda avaldab peale gravitatsioonitungi, mille mõjul komeet liigub oma teel, temasse mõju veel tõuketung, mis on suunatud Päikesest väljapoole. See tõuketung on tingitud valguskiirte rõhumisest. On võimalik, et peale valguse rõhumise mõjub ka elektriline tõuketung. Teoreetiliselt on näidatud, et komeedi kuju oleneb sellest, missuguses vahekorras on tõuke- ja gravitatsioonitung. See vahekord omakorda oleneb komeedi aineosakeste suurusest. 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 vahekord väiksem, tekib saba, millel on suurem kõverus ja mis koosneb süsiniku- ning vesinikuühendeist või kergeist metallidest, nagu näiteks naatrium jt.

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

95. Perioodilised komeedid. Kas kõik komeedid tiirlevad kinniseil teil (ellipseil) ümber Päikese, s. o. kuuluvad päikesesüsteemi? Arvatakse, et suur hulk neist rändab tähtedevahelises ruumis. Vahel satuvad mõned neist Päikese külgetõmbe piir-

konda, tulevad mööda parabooli liikudes Päikesele lähedale ja kaugenevad siis, et minna jälle tagasi tähtedevahelisse ruumi.

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

Encke komeet tiirleb ümber Päikese 3,3 aastaga. Biela komeet lagunes aastal 1846 kaheks osaks ja kadus hiljemini hoopis ära. Halley komeet, mis on iseäranis hele, ilmus viimast korda 1910. aastal. Oma perihelil on ta Päikesele lähemal kui Veenus, afeelis aga kaugemal kui Neptun. Tema ringkäik kestab umbes 76 aastat.

Kujuta joonise abil Maa, Neptuni ja Halley komeedi tee!

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

Hoolimata oma nimest pole need helendavad kehad 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, kusjuures nende kiirus on mitukümmend kilomeetrit sekundis. Õhu takistuse mõjul muutub osa meteooride liikumisenergiast soojuseks ja nad hakkavad helendama. Meteoori mass, mis on enamasti ainult mõni osa grammist, põleb suures kõrguses harilikult 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.

97. Boliidid ja aeriidid. Suurema massiga meteoor, mis tungib sügavamale õhkkonda, ilmub mõnikord väga heleda tulikerana, mida kutsutakse boliidiks. Sageli läheb ta õhkkonnast läbi ja kaob maailmaruumi. Kuid mõnikord langeb ta suure

müra ja praginaga maha või lõhkeb õhus nagu pomm ja puruneb tükkideks. Mahalangenud meteoroidid on välimuselt kivisarnased kehad ja neid kutsutakse meteoriitideks ehk aero-liitideks.

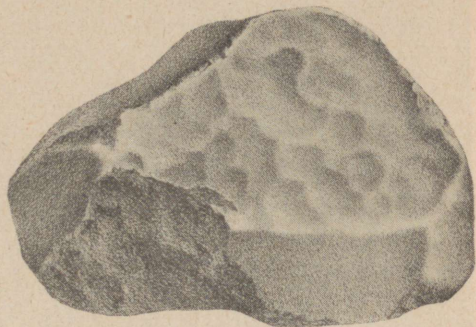
Leitud meteoriidid, mille kaal ulatub mõnest grammist mitme tuhande kilogrammini, koosnevad tuntud aineist, nagu väävel, raud, nikkel, koobalt jt. Üldiselt liigitatakse meteoriidid raud- ja kivimeteoriitideks. Mõned otse pärast mahalangemist leitud meteoriidid olid ainult pinnalt tulised, seest aga külmad.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

Tartu Ülikooli Mineraloogiainstituudi rohkearvulises meteoriitide kogus on välja pandud ka need meteoriidid, mis on maha langenud Eestis (95. joon.).

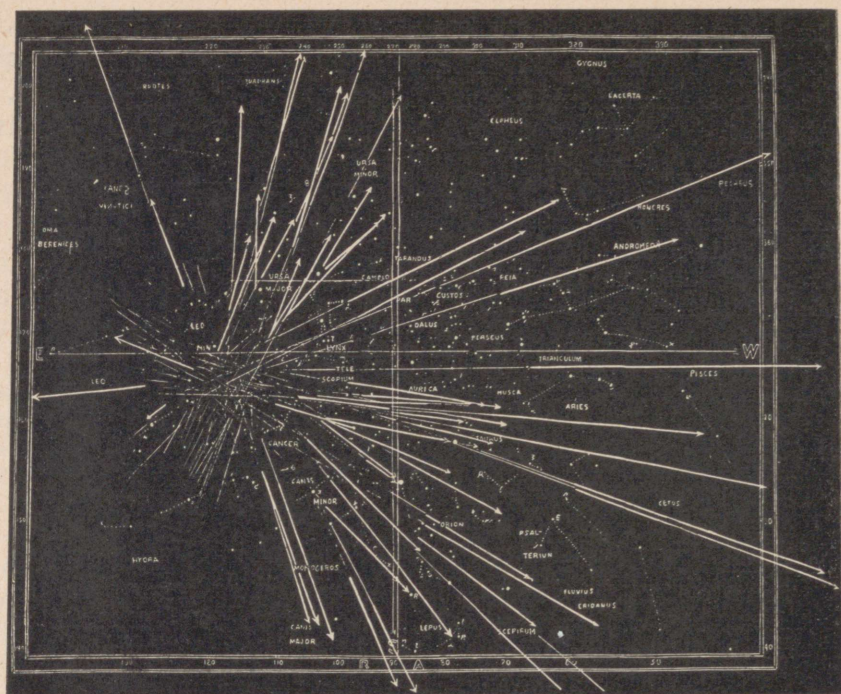
Suurim neist kaalub üle 10 kilo. 1899. a. talveööl langes suur meteoriit Porvoo kihelkonnas Soomes üsna kalda lähedal merre. Selle langemine oli nähtav ka meil ja äratas rahva seas suurt tähelepanu. 1908. aastal langes Siberi taigas maha hiigelmeteoriit, purustades metsa kilomeetrite ulatuses ja põhjustades suurt maapinna vapustust.

Suurte meteoroidide purustuse jälgi võib näha mitmes kohas maapinnal. Arizonas Ühendriigis on meteoroidi langemisest põhjustatud kraater umbes 1 km läbimõõduga. Säärane moodustus esineb ka Siberis. Meteoroidi tekitatud kraatriks peetakse ka meie tuntud K a a l i järve Saaremaal.

98. Meteoroidide 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 jooksul võib ilmuda mitukümmend meteoroidi. Augustikuu meteoroidid näivad tulevat Perseuse tähtkujust ja neid kutsutakse perseiidideks; novembrikuu meteoroidid aga Lõvi (Leo) tähtkujust, millest nende nimi — leoniidid. Kohti taevavõlvil, kust meteoroidid näivad välja lendavat, kutsutakse radiatsioonipunktideks (96. joon.). Kui meteoroid ilmub väga rohkesti, siis kutsutakse niisugust nähtust tähesajuks.



95. joon. Kivimeteoriit (vähendatud ligi 4 korda), mis langes maha Eestis, Pilstvere kihelkonnas Aukamäe talu lähedal 8. augustil 1863. aastal. Meteoroidi kaal 12,1 kg ja hoitakse alal Tartu Ülikooli Mineraloogiainstituudis.



96. joon. Novembrikuu meteooride radiatsioonipunkt. Meteooride trajektorid on noolekestena joonestatud taevakaardil. Kui pikendada neid vastasuunas, siis nähtub, et nad väljuvad peaaegu ühest kohast — „radiatsioonipunktist“.

Meteoorid liiguvad parvede viisi pikergusi ellipseid mööda ümber Päikese. Mõnes kohas asetsevad nad tihedamalt parves. Kui Maa kohtab parve seesuguseid tihendatud kohti, siis on tähesadu harilikust küllasem.

On leitud, et komeetide ja meteooride 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; hiljemini, kui Maa läbis selle koha, kus pidi asetsema Biela komeedi tee, pandi korduvalt tähele (1872, 1878 ja 1885) suurepärasest tähesadu, mille meteoorid liikusid sama teed mööda kui Biela komeet. Nõnda võib meteore vaadelda kui komeedi lagunemise saadusi.

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

XVII. Tähed.

99. Tähtede heledus. Juba vanaajal jagati kõik palja silmaga nähtavad tähed heleduselt järkudesse, millest iga eelmine on 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 Vega, 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 kuuendasse heledusjärku; 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 (P o g s o n i valem):

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

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:

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

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. Õpi tundma meil nähtavaid heledamaid esimese ja kõrgema suuruse tähti ühes tähtkujudega, 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 niipalju valgust kui üks 1. suuruse täht. Missugune oleks küünla „tähesuurus“, kui ta asetseks 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?

100. Tähtede arv. Sageli arvatakse, nagu oleks palja silmaga nähtavate tähtede arv väga suur, kuid tõeliselt on see kogu taevaskera kohta ainult kuu e t u h a n d e ümber. Pikk-silmaga vaadeldes või fotograafides kasvab tähtede arv kiiresti ühes pikksilma valgusvõimsusega ja fotograafilise ülesvõtte valgustusajaga.

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

1.	2.	3.	4.	5.	6.
20	46	134	458	1476	4840

Kõige heledamaid, s. o. esimese ja veel väiksema suuruse tähti loendatakse 20. Iga järgmise suuruse tähti on umbes kolm korda enam. Seesugune arvude vahekord ühes tähesuuruse kasvamisega kahaneb, mis nähtus on tingitud kahest üldpõhjust: 1) tähed pole ruumis paigutatud ühtlassagedalt, vaid üldiselt seda harvemini, mida kaugemal nad meist asetsevad, 2) Tähtedevahelises maailmaruumis on hajutatud väga hõre aine, mis neelab valgust ja mõjustab 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 võimatu neid kõiki üksikult uurida ja ka loendada. Sel puhul rakendatakse statistilisi

uurimisviise. Valitakse välja taevavõlvil väiksemad kindlalt fikseeritud, taevafääril ühtlaselt jaotatud üksikud alad, kus loendatakse tähti ja uuritakse üksikute tähtede omadusi. Loendades tähti üksikutel aladel võib arvutada tähtede tõenäose arvu kogu taevafääril kuni mõne 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, ulatudes umbes saja miljardi täheni.

101. Tähtede kaugused. Tähed on meist mitmesuguses kauguses. Nende kauguse määramine põhineb aastase parallaksi (vt. § 44) mõõtmisel. Aastase parallaksi nurk on väga väike ja selle mõõtmiseks kasutatakse peeni nurgamõõtmise riistu, uemal ajal aga fotograafiat. Aastase parallaksi põhjal on kerge arvutada tähe kaugust astronoomilisis ühikuis. Kuidas?

Kuid et seesugune mõõtühik on tähtede kauguse hindamiseks väga väike, siis võetakse tarvitusele suuremad mõõdud — parsek ja valgusaasta. **Parsek** on kaugus, mis vastab parallaksile 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 tarvitatavate pikkusühikute vahel.

Pikkusühikud	Kilomeeter	Astron. ühik	Valgusaasta	Parsek
Kilomeeter	1	—	—	—
Astronoom. ühik	$149,5 \cdot 10^3$	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 271 000 astronoomilist ühikut, 1,32 parsekit ehk 4,3 valgusaastat. Kontrolli viimaseid arvusid parallaksi põhjal!

Lisandame siin mõnede tähtede parallaksid:

Siirius	0'', 38
Altair	0'', 20
Vega	0'', 12
Kapella	0'', 06
Betelgeuse	0'', 01

Üldiselt on heledamad tähed meie 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 Neptun?
2. Mitu valgusaastat on meist kaugel Siirius, Altaïr ja Betelgeuse?
3. Juuksekarva paksus on $\frac{1}{20}$ millimeetrit. Mitme meetri kaugusele silmast tuleks asetada juuksekarv, et selle paksus kujutaks lähima tähe parallaksi suurust?
4. Kui kaua läheks kiirrong meilt kõige ligema täheni? Kui kaua kestaks teekond sinna lennukil, mille kiirus on 500 km tunnis?
5. Kui nõopnöela pea, mille läbimõõt on 1 mm, kujutaks Päikest, kui kaugel tuleks mõelda kõige ligem täht, et tõeliste kauguste vahekorrad jääksid endisteks?

102. Tähtede absoluutne suurus. Tähe näiv heledus oleneb valgushulgast, mille me oma silma abil tähelt vastu võtame. Valgushulgad aga, mis tähtedelt saame, pole võrdsed ja olenevad tähtede kaugusest (kuidas?) kui ka tähtede eneste valguse võimsusest ehk intensiivsusest. Kui tähed asetseksid meist sama kaugel, näit. 10 parsekit, siis nende näiv heledus oleks võrdeline nende vastava valgusvõimsusega.

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

Tähe absoluutseks suuruseks (ehk heledusjärguks) kutsutakse tähe näivat suurust, kui täht asetseks meist mõnes standard-kauguses, milleks mõninga mugavuse pärast on võetud 10 parsekit. 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 (32,6 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 järgneb päikesesüsteemi suuruse, s. o. planeetide kauguse teadmisest, et Maa on planeetkonna harilikke liikmeid, nii 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
Vega	+0,6	Deneb	-5,2
Arktuurus	-0,4	Barnardi täht	+10,3

Mitu korda on nende tähtede valgusvõimsus Päikesega oma suurem?

3. Mitmenda suuruse tähena paistaks Päike, kui ta asetseks meilt 100 parsekit (326 valgusaastat) kaugel?

4. Päikesega võrreldes on tema valgusvõimsus $-26,7$; mitmenda suuruse tähena paistaks Päike 1 parseki ja 10 parseki (abs. suurus) kaugusel?

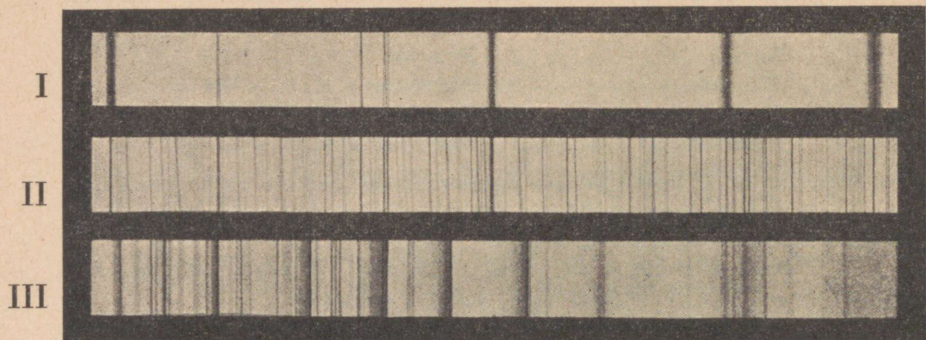
5. Mitu valgusaastat kaugel peaks asetsema Päike, et ta paistaks 15. suuruse tähena, s. o. nagu heledamad tähed kerakujulistest täheparvedes?

103. Tähtede värvus, spekter ja temperatuur. Ehk küll tähtede valgus võrreldes Päikesega on väga palju nõrgem, oli siiski võimalik saada tähtede spektreid ja uurida neid. Selle juures tuli ilmsiks, et 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 ja mille temperatuur on üldiselt tähe hõõguva pinna temperatuurist madalam.

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

I. Valged tähed, näit. Siirius, Rigel, Vega. 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. Kiirgamisseaduste 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 rohke esinemine; vesiniku ja heeliumi jooned on palju nõrgemad kui eelmise liigi tähtede spektris. Pinna temperatuur on valgete tähtedega võrreldes tunduvalt madalam (umbes



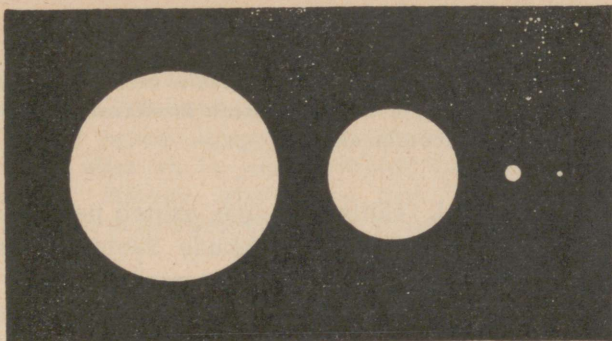
97. joon. Tähtede spektri liigid.

6000⁰); tähe atmosfääris ujub rohkesti metallide auru, millest eriti tähtsad on raud ja kaltsium.

III. Punakad tähed, näit. Antares, Aldebaran, Betelgeuse, mille punakas värvus tuleb sellest, et spektri violetipoolse osa heledus on nõrk. Spektril on suur sarnasus Päikese laikude spektriga. Selles on rohkesti metallide jooni, millest paljud on veel tumedamad ja laiemad kui kollastel tähtedel; peale selle paistavad silma laiad neeldumisvöödid. Temperatuur neil tähtedel on veelgi madalam (umbes 3000⁰) kui kollastel tähtedel; seetõttu nende atmosfäärides võivad tekkida koguni mõned keemilised ühendid, nagu näiteks titaanoksüüd, mis esineb ka Päikese laikudes. Ka on tõenäone mõnede süsinikuühendite esinemine.

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

Ühe 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**.



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

Võrreldes näiteks Kapellat meie Päikesega leiame, et mõlemad tähed kuuluvad kollaste tähtede liiki, kusjuures ka nende spektrid on teineteisega väga sarnased. Kuid oma ehituselt erinevad samad tähed teineteisest põhjalikult. Kapella on Päikesest ligi 100 korda heledam, kuid seejuures on aine, millest ta koosneb, 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 käabus-täht“.

Tähtede hiid- ja käabusloomu oluliseks tunnuseks ei tule lugeda mitte niipalju tähe aine hulka, s. o. massi, kui aine tihedust või tähe ruumala suurust. Hiidtähed kujutavad enesest väga mahukaid, kuid hõredaid kerakujulisi hõõguvaid gaaside masse. Nende liiki kuulub suurem hulk heledaid tähti meie taevavõlvil. Käabustähed aga on hiidtähtede vastandid — palju tihendatuma aine ja nõrgema valgusjõuga.

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

Uemal ajal on avastatud veel liik eriskummalisi käabustähti, mis evivad valget värvust. Need nn. valged käabused on kõrge pinnatemperatuuriga (umbes 10 000⁰) 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; aatome tuumad on surutud üksteisele väga ligidale, mille tulemuseks on aine suur tihedus. Selliste tähtede olemasolu seab huvitavaid küsimusi tähtede ehituse ja evolutsiooni teooria alal.

105. Kaksiktähed. Tähtede hulgas esineb palju niisuguseid, mis paljale silmale paistavad harilikkude tähtedena, kuid pikk-silma läbi vaadates on näha, et nad koosnevad kahest teineteise ligidal asetsevast tähest. Seesuguseid tähti kutsutakse k a k s i k - ehk p a a r i s t ä h t e d e k s. Mõnikord võivad kaks tähte perspektiivselt sattuda väga teineteise ligidale, olles tõeliselt aga väga kaugel teineteise taga. Need on nn. optilised paarid. F ü ü s i l i s t e s k a k s i k t ä h t e d e s a g a o n k a k s t ä h t e t õ e l i s e l t l i g i s t i k k u j a t i i r l e v a d K e p l e r i s e a d u s t e j ä r g i t e i n e t e i s e ü m b e ü l d i s e k ü l g e t õ m b e m õ j u l.



99. joon. W. Struve.

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

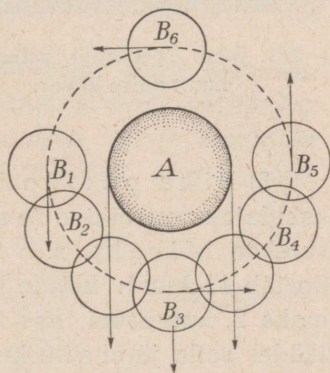
Kaksiktähed esitavad oma heleduse ja värvuse poolest mitmesuguseid huvitavaid tüüpe. Mõnikord on tähepaari mõlemad liikmed võrdse heleduse ja ühesuguse värvusega, nagu näit. tähel ζ S u u r e s V a n k r i s (M i z a r), kus nad paistavad säravalt-valgete tähtedena. Kui aga üks liikmeist on tei-

sest heledam, siis sageli esineb neil kauneid värvide kontraste, nagu näit. tähel β L u i g e s, mille peamine täht on ruugjaskollane, kaaslane aga sinine.

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

106. Muutlikud tähed. On tähti, mis perioodiselt muudavad oma heledust. Oma iseloomult võib neid jagada mitmesugusteks eri liikideks.

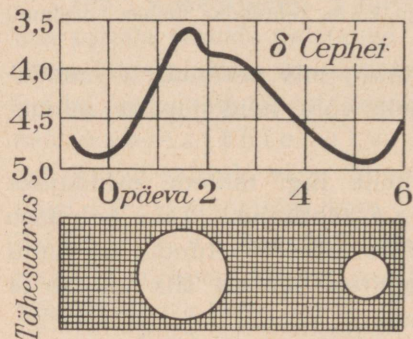
1) **Katmismuutlikud.** Selle liigi tähtede esindajaks on Algol ehk täht β Perseuse tähtkujus. Tähe heleduse muutumise periood on lühike, kestes ainult 69 tundi; 61 tunni vältel paistab ta muutumatu 2,3. suuruse tähena, siis hakkab ta korruga tumenema, jõudes 4 tunni järel 3,5. suuruse tähe heleduseni; 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 aja muutumata, kuid tähe vaatesuunaline kiirus muutub korrapäraselt heleduseperioodi 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 (100. joon.). Seesuguseid muutlikke tähti, mis õieti pole muud kui kaksiktähed, on teada õige suur hulk. Huvitavamaid neist on β Lüüras ja ζ Veomeses.



100. joon. Algoli tüüpi tähe heleduse muutumise skeem. A — peatäht, B — kaaslane, mis asendis B_3 katab peatähte, asendis B_6 aga on ise kattu- nud peatähga.

2) **Tsefeiidid.** Huvitava ja väga tähtsa muutlike tähtede liigi moodustavad nn. tsefeiidid. Tüüpiliseks esinda-

jaks on 4. suuruse täht δ Cepheuse tähtkujus. Tema heledus muutub väga korrapäraselt 5 päeva jooksul. — Tsefeiidide heleduse muutumise põhjuseks peetakse termodünaamilisi protsesse tähe seesmuses, mille mõjul toimub tähe gaasilise keha perioodiline paisumine ja kokkutõmbumine („pulsseerumine“), järelikult ka tähe heleduse muutumine.



101. joon. Tsefeidi heleduse muutumise kõver.

Tsefeiidide heleduse muutumise kõver on väga korrapärane (101. joon.); seda iseloomustab äkiline tõus ja pikaldasem langemine; perioodi vâlde on väga kindel, olgugi et siin pole tegemist tähe katmisega kaasläse poolt. Nende tähtede uurimine näitas, et valguse muutumise perioodi vâlde 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 ja järelikult ka nende kaugust (vst. parallaksi).

3) Pika perioodiga muutlikud tähed. Selle liigi esindajaks on täht α (o mikron) Vaala tähtkujus, mida kutsutakse Mira'ks, s. o. imelikuks. Heleduse muutuse periood kestab 11 kuud: kolme kuu jooksul muutub täht järjest heledamaks 2. suuruseni, siis kolme kuu jooksul ta jälle kahaneb, jäädes selle järel 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 tunnistab, et tähe atmosfääris toimuvad protsessid, mis on ligidalt seotud tähe heleduse muutumisega.

107. Uued tähed. Eri liigi muutlike tähtede rühmas moodustavad nn. uued tähed (ladina keeli: *nova*), mis ilmuvad taevas äkitselt, suurendavad kiiresti oma valgust, jõuavad heleduse tipule, millele järgneb aeglasem valguse kahanemine, ja kaovad viimaks meie silmist.

Üks selline hele täht ilmus 125 aastat e. Kr. ja andis tõuke kreeka astronoomile Hipparch'ile tähtede nimestiku koostamiseks. Teist väga

heledat ajutist tähte, mis lõkendas Kassiopeja tähtkujus aastal 1572, vaates 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. Heledamaist ajutistest tähtedest, mis ilmusid uuemal ajal, võiks nimetada uut tähte Perseuse tähtkujus talvel 1901. a., Kotka tähtkujus suvel 1918. a. ja Herkulese tähtkujus talvel 1934. a.

Uute tähtede ilmumise põhjuste kohta on esitatud mitmesuguseid seletusi. Tõenäoselt on nähtuse põhjuseks muutused tähe seesmisel hhituses, millele järgneb tähe keha suur paisumine koos aine laialipaisumisega kolossaalsete pursete kujul.

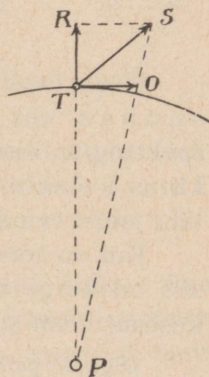
108. Tähtede liikumine. Sageli nimetatakse tähti kinnist tähtedeks, sest et nende asendid üksteise suhtes ei näi muutuvat; tähed oleksid just kui kinnistatud kõva taevavõlvi külge, mis ühtlaselt pöörleb ümber Maa.

Maa aastase liikumise tagajärjel muudavad tähed perioodiliselt oma näivaid asendeid taevavõlvil (aberratsioon, parallaks). Seesugust 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 taevavõlvi küljel liiguvad. Sellist tähe nihkumist taevavõlvi küljel teiste tähtede suhtes kutsutakse tähe omaliikumiseks. Esimene, kes mõnede heledamate tähtede (Siirius, Aldebaran) omaliikumist taevavõlvi küljel tähele pani, oli inglise astronoom Halley XVIII sajandil.

Tähtede omaliikumine on üldiselt väga väike, ja et seda avastada, on tarvilik tähtede väga täpselt määratud asendeid pikema aja tagant võrrelda.

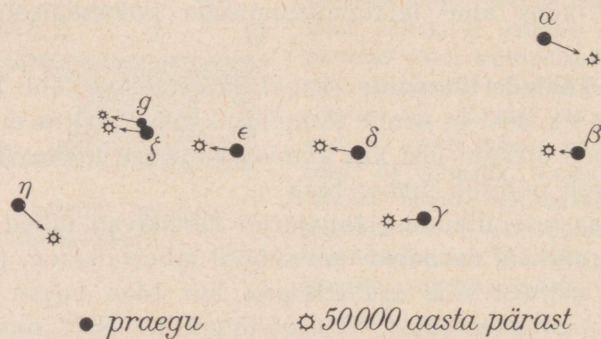
Praegusajal on teada mitme tuhande tähe omaliikumine. Kõige suurem tähe praegutuntud omaliikumine on ainult umbes 10" aastas. Harva on aga need suuremad kui 1".



102. joon.

Kuid omaliikumise väiksusest hoolimata muutuvad pika aja jooksul kõik meie tuttavad tähtkujud tundmatuseni. Et tähtede omaliikumine taevavõlvil on suunatud suurringi kaart mööda, siis on võimalik määrata, kuidas esineks mõni tuttav tähtkuju, näit. Suur Vanker, meie järeletulijaile mõnekümne tuhande aasta pärast või kuidas ta paistis meie esivanemaile kauges minevikus (103. joon.).

Kui on teada omaliikumise nurkkiirus ühes tähe kaugusega, siis võib kergesti arvutada tähe omaliikumise lineaarset kiirust. Kuidas?



103. joon. Suure Vankri tähtede liikumine.

Peale omaliikumise kiiruse on tähel veel kiirus vaatesuunas 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 (102. joon.). Olgu TO ja TR vastavalt omaliikumise ja radiaalne kiirus, siis TS , kui komponentide TO ja TR summa, on tähe kiirus ruumis päikesesüsteemi suhtes.

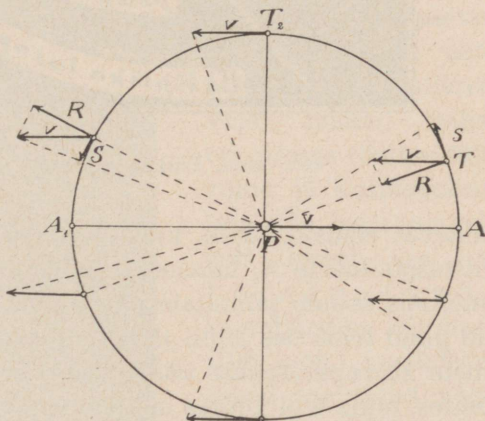
Arvutades tähtede kiirusi leiti, et need on harilikult mitukümmend kilomeetrit sekundis, kuid ei puudu ka juhud, mil nad on palju suuremad.

1. Arktuuruse omaliikumine taevavõlvil on $2'',3$ aastas; tähe paralaks $= 0'',1$; radiaalne kiirus $= -5 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Mitu km sekundis on tähe omaliikumise lineaarne kiirus ja kiirus ruumis päikesesüsteemi suhtes?

2. Täht Vega 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?

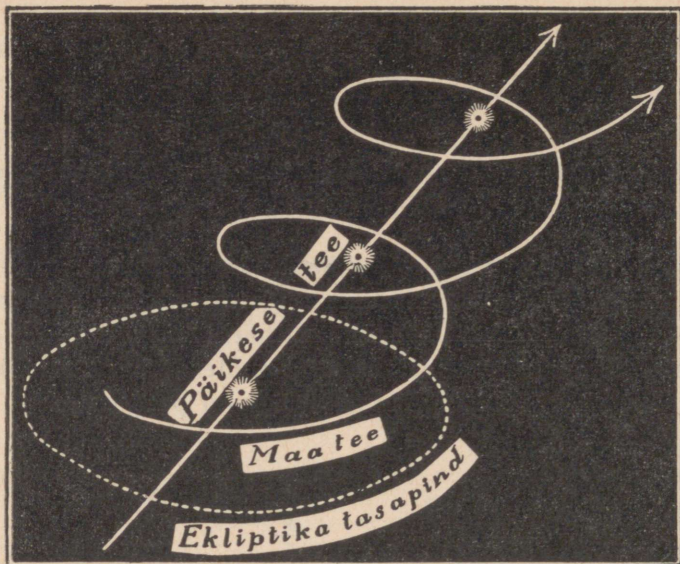
109. Päikesesüsteemi edasiliikumine ruumis. Eespool oli tähtede radiaalne ja omaliikumise kiirus võetud Päikese kui liikumatu punkti suhtes. Et Päike on harilik täht, siis on loomulik oletada et ka Päike liigub tähtede suhtes. Arvutame, kuidas Päikese liikumine tähtede liikumistes vastu peegeldub.

Vaatleme mitmesugustes kohtades taevavõlvil tähti T, T_2 jne. (104. joon.), mis loeme lihtsuse pärast üksteise suhtes paigalolevaks ja mille suhtes Päike P 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 vastupeegeldus, kaheks komponendiks — radiaalkiiruseks, mis asetatud vaatesuunas, ja omaliikumise kiiruseks, mis asetatud taevavõlvil. Siis on võimalik tähele panna järgmisi liikumise korrapärasusi.



104. joon. Päikesesüsteemi liikumise mõju tähtedele.

Sellel taeva-poolkeral, mille pooluses asetseb punkt A , kuhu poole Päike liigub tähtede keskel, näivad tähed sellest punktist



105. joon. Päikesesüsteemi liikumine ruumis.

minevat eemale, laiali, kuna aga vastaspoolkeral tähed näivad vastaspoolusele A_1 lähenevat, koonduvat. Nähtus on samalaadiline, mis esineb jalutajale puiestikus, kus talle näib, nagu lähed sid puud tema ees laiali ja koondusid selja taga. Tähtede liikumiste korrapärasusest võib järeldada Päikese liikumist tähtede suhtes, mida tegi kuulus astronoom *William Herschel* juba XVIII sajandi lõpupoolel. Osutus, et koht, kuhupoole liigub päikesesüsteem tähtede suhtes, ehk nn. *apeks*, 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 (105. joon.).

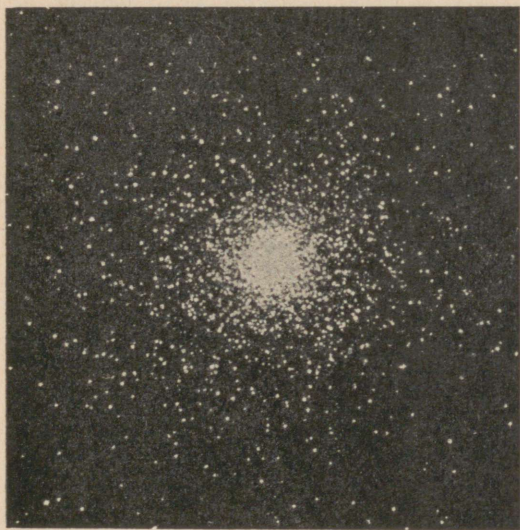
Samale otsusele võib jõuda ka radiaalkiiruste vaatlemisel. Sealpool, kuhu Päike liigub, näivad tähed meile liginevat, teisel pool aga meist kaugenevat.

Tõeliselt on nähtus keerulisem, sest tähed ei püsi üksteise suhtes paigal, vaid neil on igasuunalised kiirused ja eelnevat võib järeldada ainult suure arvu tähtede kiiruste keskmise väärtuse põhjal.

XVIII. Maailma ehitus.

110. **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 sagaraks.

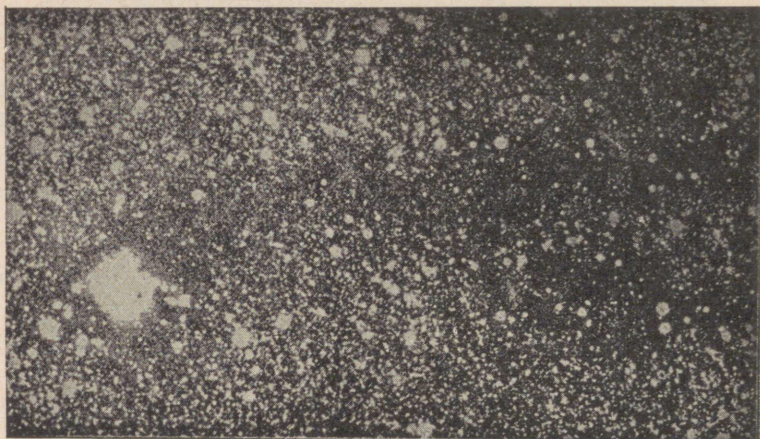
Üks kõige tuttavamaid täheparvi on nn. Sõel ehk Plejaadid. Palja silmaga võib selles eraldi näha umbes 7 tähte, kuid suuremate pikksilmade abil — mitu sada. Samalaadiliste moodustiste liiki, mida kutsutakse hajunud täheparvedeks, kuuluvad ka Hüaadid, täheparved Perseuse tähtkujus, Vana Sõel ehk Praesepe (Sõim) jt. Neis parvedes tähed pole ühte



106. joon. Kerakujuline täheparv, nn. kerasparv.

sattunud juhuslikult, vaid nende vahel on olemas tõeline füüsiline ja kosmoloogiline side. Iseäranis selgelt ilmneb see nn. kerasparvede korrapärasel ehitusel (106. joon.), kus keskel tähed asetsevad väga tihedalt. Väiksemate pikksilmade läbi paistavad nad kettasarnaste valkjate udulaidena, kuid tugevaima teleskoobis pakuvad nad kaunist ning suurepäraselt vaadet, lagunedes tuhandeks tähtedeks.

Kerasparvede kaugust võib määrata muutlikkude tähtede, nn. tsefeiidide abil (vt. lk. 129); osutus, et ka kõige ligemad



107. joon. Linnutee osa fotograafitult.

kerasparved (nagu Herkulese ja Kentauri tähtkujus) on meilt paarkümmend tuhat valgusaastat kaugel, kuna hajunud parved on meile võrdlemisi ligidal — ainult mõnedsajad valgusaastad.

111. Linnutee. Kõige silmapaistvam ja laiaulatuslikum täheparv on Linnutee. Ta paistab meile tuhmilt helendava hõbevalkja udulise vööna ehk paelana, mis käib üle kogu taeva peaaegu suurringina, jagades taevaskera kaheks võrdseks poolkeraks. Linnutee läbib järgmisi heledamaid tähtkujusid, mis on näha meie laiuses: Suur Peni, Sõnn, Veomees, Perseus, Kassiopeja. Luige tähtkujus jaguneb ta kaheks haruks, mis ühinevad uuesti lõuna-poolkeral.

Linnutee tähest struktuuri eeldas juba vanaajal Demokritos (umbes 400 a. e. Kr.). Suurte pikksilmade, kuid eriti fotograafia abil on võimalik näidata, et Linnutee tõeliselt koosneb väga paljudest tähtedest (107. joon.). See on keerulise ehitusega väga laialdane tähtede süsteem, nn. galaktiline (*galaksis*, kreeka keeli, tähendab: *linnutee*) süsteem, millesse hariliku tähena kuulub ka meie Päike.

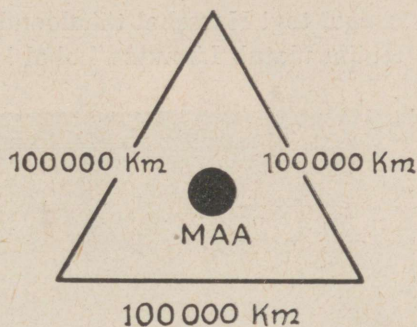
112. Linnutee ehk Galaktika tähesüsteemi ehitusest. Valguskiir, mis levib kiirusega 300 000 km sekundis (vt. 108. joon.),

jõuab $8\frac{1}{3}$ minutiga läbida kauguse, mis lahutab Maad Päikesest. $5\frac{1}{2}$ tunniga 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 arvata-vasti isegi palju elutatavaid „maailmu“, millest rääkis 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 piiramatu ruum ehk avarus, mis täidetud miljonite tähtedega. Neid vaadeldes tõuseb küsimus, kas on tähtede-maailm, *universeum* ehk kosmos korrapärane ehitis nagu päikesesüsteem.

Sellele küsimusele püüdis vastust anda kuulus täheteadlane *W. Herschel* (vt. lk. 139) 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. Linnuteest eemale minnes kahaneb tähtede sagedus korrapäraselt, kuna kõige vähem tuleb tähti nähtavale 90° eemal ehk nn. Linnutee pooluste juures. Sellist nähtust kutsutakse galaktiliseks koonduseks ja



108. joon. Üks „valgusekund“ — kolmnurga külgedest koosnev pikkus, s. o. teekond, mille valgus läbib ühe sekundi jooksul, võrrelduna Maa ekvaatori suurusega.

see hõlmab mitte ainult harilikke tähti, vaid ka teisi mitmesuguseid kosmilisi moodustisi, nagu näiteks täheparvi ja gaasilisi udugusid.

Oletades, et tähed oma päris- ehk absoluutse heleduse poolest on võrdsed ja et nad on ruumis paigutatud võrdse sagedusega, tegi Herschel täheloenduste põhjal järelduse, et tähtede maailm ulatub Linnutee kohal kaugemale avarusse kui mujal.



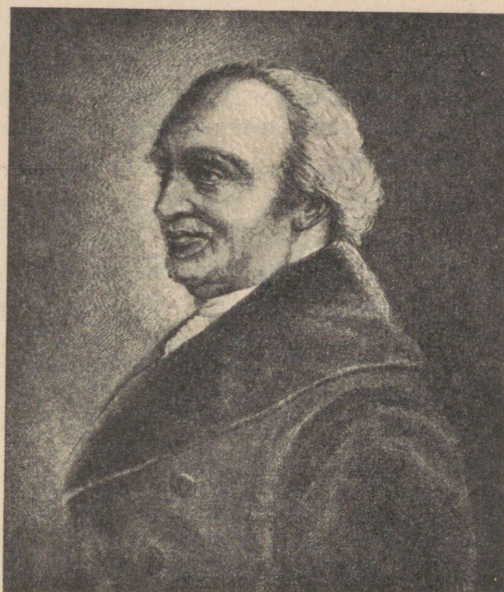
109. joon. Andromeda udukogu.

Kui Päike asetseb kohas P tähe-maailma sees (111. joon.), siis päikesesüsteemis asetsevale vaatlejale paistavad taevavõlvi osas AA_1 tähed, mis on paigutatud 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 perspektiivisest; ta on meie tähe-maailma kaugemal, näiliselt üksteisele lähemal asetsevate tähtede valguse liitumine ühiseks pilvetaoliseks helenduseks.

Nõnda jõudis Herschel otsusele, mida hiljemini kinnitasid ka uuemad statistilised uurimised, et Linnutee tähtede parv, mille keskkohta lähedal asetseb meie Päike, on ruumis piiratud ja tal on lapergune sferoidiline kuju (111. joon.), mis meenutab taskukella, kumerat klaasi või spordiketast. Nagu uurimised näitasid, ei asetse meie Päike 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 keskkohal asetseb meilt vaadatuna A m b u r i ehk Sagittariuse tähtkujus taeva lõuna-poolkeral ja on meist ligi 30 000 valgusaastat kaugel.

Vaatamata sellele, et taevas näiliselt esitab meile suurt kokkukõla ja rahu pilti, liiguvad seal tähed tõeliselt mitmekümne ja mitmesaja kilomeetri kiirusega sekundis, alistudes meie tähesüsteemi külgetõmbe üldmõjule. Tähtede suurused, võrreldes neid üksteisest lahutava kaugusega, on väga väikesed (vrd.: kaks nööpnõelapead teineteisest 30 km kaugusel), mistõttu tähtede kohtumised on üsna haruldased ja individuaalsed külgetõmbed tähtede vahel väga nõrgad.



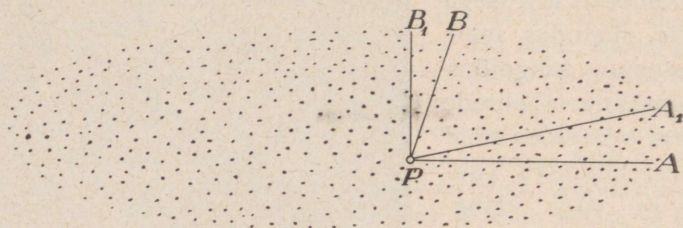
110. joon. W. Herschel.

Kuid peale erisuunalise liikumise evivad tähed veel ka üldist tiirlevat liikumist Galaktika keskuse ümber (vrd. päikeselaikude erisuunalisi liikumisi ja Päikese pöörlemist). Sellist nähtust kutsutakse Galaktika pöörlemiseks ehk rotatsiooniks. Kohas, kus asetseb meie Päike, on Galaktika pöörlemiskiirus umbes $300 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$ ja pöörlemisperiood ligi 250 miljonit aastat.

Nõnda on Linnutee tähesüsteem korrapärane omaette tervik nagu päikesesüsteem, kuigi võrratult keerulisem ja suurem. 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 asetseb 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, arvestades meie tähesüsteemi hiiglasuurt ulatust, seevõrra väike, et ühe kuupkilomeetri kohta tuleb ainult 0,00005 milligrammi ainet.



111. joon. Tähesüsteemi läbilõike skeem W. Herschel'i järgi.

Vaadates meie tähesüsteemile arengu seisukohast, tuleb lugeda tõenäoseks, et Linnutee tähed pole esialgselt suurest udukogust tihenemise teel tekkinud üheaegselt, vaid on startinud erisugustel ajamomentidel. Väga pika aja jooksul tähtede seesmine ehitus, aine jaotus tähesüsteemis ja üksikute tähtede liikumisteede kujud muutuvad, mistõttu aja jooksul muutub ka tähesüsteemi üldine välimus.

1. Kui meie Päikest kujutella nööpnöelapeana, läbimõõdus 1 mm, kui kaugelt sellest, samas mõõtkavas võetud, tuleks asetada meile lähim täht α Centauri, umbes samasuguse nööpnöelapeana nagu Päikegi? (Vastus: 27,5 km.)

2. Kujutelles päikesesüsteemi läbimõõtu (Pluto tee) ühe millimeetriga, kui suurena peaks samas mõõtkavas esinema Linnutee süsteemi läbimõõt? (Vastus: ~ 80 km.)

113. Udukogud ja nende liigitus. Peale tähtede esinevad Maailma avaruses veel nn. **udukogud** ehk **udud**. Taevavõlvil paistavad nad kui nõrga valgusega tuhmilt helendavad udu-

või pilvetaolised laigud, mida nähakse pikksilmade abil. Kuid iseäranis palju avastati neid fotograafilisel teel.

W. Herschel, kes oma suurte teleskoopidega avastas palju täheparvi, mis palja silma või nõrgajõulise pikksilma abil vaadates esinesid udusarnaste laikudena, pidas esialgu võimalikuks, et kõik udukogud laguneksid tähtedeks, kui aga tarvitatava pikksilma optiline lahutusvõime oleks küllalt tugev. Kuid hiljemini pidi ta oma arvamust muutma, pannes tähele, et on olemas tähti, mis ümbritsetud udulise pärjaga. Niisugune tõsiasi viis Herschel'i otsusele, et udusarnane aine tõeliselt esineb maailmaruumis ja et täht on selle uduga ühenduses, millest ta arvatavasti koondumise teel on tekkinud.

Herschel'i arvamus, et on olemas tõelisi udukogusid, leidis tõestuse alles pärast spektrilise analüüsi meetodi tarvituselevõtmist. Tuli ilmsiks, et paljude udukogude spekter on tüüpiline aine gaasilise oleku spekter — üksikute heledate joontega. Spektri põhjal oli võimalik tõestada tuttavate ainete (vesinik, hapnik, lämmastik) olemasolu udukogudes.

Oma välise kuju ja ilme poolest võib udukogusid jaotada järgmisteks liikideks:

1) **Planetaarsed gaasilised udu**, millel on korrapärase ringi või ellipsi kuju, mis sarnaneb planeedi kettaga. Nende liiki kuulub näiteks ka rõngakujuline udu Lüüra tähtkujus (112. joon.). Oma keskmises osas näitavad nad sagedasti udulisi tähti või tihendusi, mille mass Päikesega võrreldes on palju suurem ja temperatuur kõrge ($\sim 20\,000^{\circ}$). Nende välisnägu — tsentraalne tihendus, mida ümbritsevad rõngad — tuletab meelde päikesesüsteemi sündimise pilti üldtuttava Kant-Laplace'i hüpoteesi järgi, olgugi et siin on tegemist palju suuremate kosmiliste moodustistega kui päikesesüsteem.



112. joon. Planetaarne rõngakujuline udukogu Lüüra tähtkujus.

2) Gaasiliste udude liiki kuuluvad ka nn. k o r r a p ä r a t u d u d u d; need on laialipaisatud pilvesarnased helendavad gaasimassid, mis katavad sageli taevavõlvi laias ulatuses, nagu näit. nn. kuulus O r i o n i u d u k o g u (113. joon.). On selgitatud, et sellel udukogul on füüsiline ühendus temas asetsevate tähtedega, mis arvatavasti tihenemise teel udust on kujunenud.



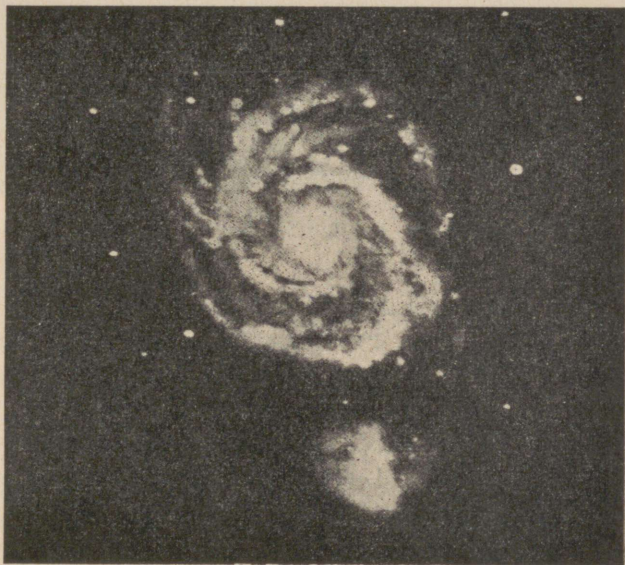
113. joon. Orioni udukogu.

3) T u m e d a d u d u d, mille olemasolu võib järelda sellest, et siin-seal täherikkail taevaaladel esinevad kohad, milles 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 korrapäratuiks udukogudeks, milliseist hiljemini arenevad planetaarsed udukogud ja tähed.

4) S p i r a a l i k u j u l i s e d e h k s p i r a a l - u d u k o g u d. Spektriline analüüs näitas, et nende spekter on Päikese ja tähtede spektri sarnane, millest järgneb, et nad ei koosne hõredaist gaasidest nagu planeeditaolised ja korrapäratud udud. Spiraaludukogud on ainult näiliselt nebuloosse ehk udulise materia tombud. Tõeliselt aga on nad tohutult suured, väga kauged tähtede parved, milledes tähed suure kauguse tõttu asetsevad näiliselt üksteisele nii ligi, et pikksilm ei suuda neid üksteisest eral-

dada. Üks silmapaistvamaid ja meile võrdlemisi ligemaid on *Andromeda* udukogu (109. joon.), mille kaugus on ligi miljon valgusaastat. Spiraal-udukogude kosmiline asend ja tähtsus on hoopis teissugune kui eelmistel liikidel. Nad kuuluvad kosmiliste moodustiste rühma, mis asetsevad Linnutee süsteemist väljaspool ja mis oma suuruselt ja ehituselt on umbes selle sarnased.



114. joon. Spiraal-udukogu.

114. Välisgalaktilised tähesüsteemid. Nagu nägime, on Linnutee hiiglasuur täheparv, mis omab korrapärast ehitust ja on 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 moodustis, vaid miljonite valgusaastate kaugusel meist asetseb palju teisi meie tähesüsteemiga sarnaseid miljardite tähtede peresid (115. joon.). Sellised tähesüsteemid asetsevad kaugel väljaspool



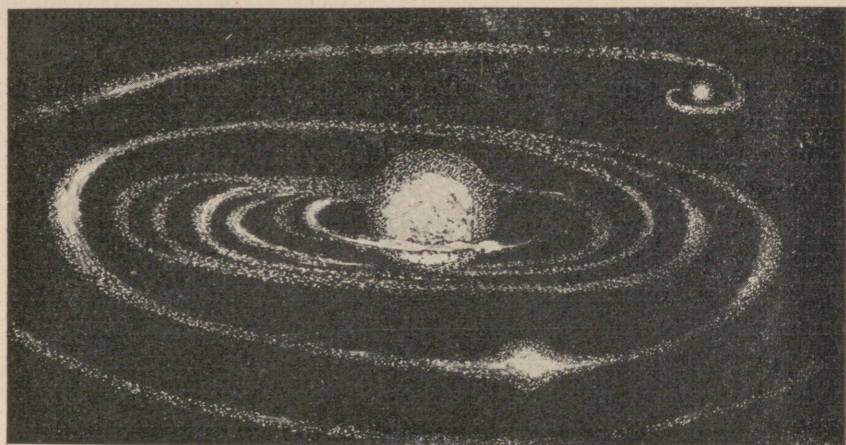
115. joon. Üks välisgalaktilisi udukogusid, vaadatuna servalt. Niisugusena arvatavasti paistaks meie tähesüsteem, kui seda oleks võimalik vaadelda väljastpoolt mõne miljoni valgusaasta kaugusest.

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 (vt. § 113, 4. osa). Pikksilmaga saab neist näha paljusid ja praegusaja suuremate teleskoopide abil fotograafides on võimalik neid avastada miljoneid.

Väärrib märkimist, et välisgalaktilisi tähesüsteeme pole näha Linnutee vöös. See nähtus seletub kergesti galaktilise süsteemi tasapinnas hajutatud gaasilise ja tolmusarnase aine olemasoluga, mis neelab valguskiiri ja nõrgendab või ei lase üldse tajuda selle taga asetsevate tähtede valgust.

Üks tuntumaid välisgalaktilisi tähesüsteeme on Andromeda udukogu (109. joon.), 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, moodustades kõrgema järgu süsteeme. Niisuguseid galaktikate sagaraid on avastatud mitmes kohas taeva-



116. joon. Päikesesüsteemi kujunemine nebulaarhüpoteesi järgi.

võlvil, näiteks Veroonika Juuste ja Neitsi ning Pegasusse 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. Kosmogoonilisi hüpoteese.

115. Kant-Laplace'i nebulaarhüpotees ja teisi vaateid. Väga suure tõenäosusega on kindel, et korrapärasus, mis esineb päikesesüsteemi ehituses, ei võinud ilmuda juhuslikult. Selle korrapärasuse seletamiseks avaldasid saksa filosoof Kant (1724—1804) ja prantsuse matemaatik Laplace (1749—1827) üldjoontes sarnanevaid mõtteid, mille järgi päikesesüsteemi liikmed on aja jooksul tekkinud kosmilise tolmu ja meteoriitide (Kant) või gaasi (Laplace) pilvest, mis kord esines meie päikesesüsteemi asemel.

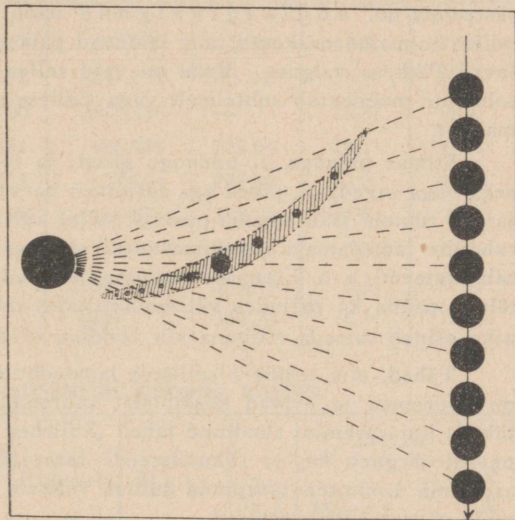
Laplace'i järgi arenes päikesesüsteem esialgsest udukogust, mis oli hõõguvalt palav ja ulatus Päikesest vähemalt kuni kõige kaugemate planeetideni. Ta võis kujult sarnaneda kerakujuliste udukogudega, milliseid juba W. Herschel õige palju tundis. Selline udukogu oli pöörlevas liikumises; ta koosnes võrdlemisi tihedast tuumast, millest hiljemini 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, järelikult pidi udukogu aine tsentrile lähemale koondudes aja jooksul kiiremini pöörlema hakkama. Selle tulemuseks oli, et udukogu, mis esialgu püsis kerakujulisena, muutus ikka lapikumaks. Tema teljelt kõige enam eemaldunud osades (ekvaatoril), mis liikusid suurima lineaarse kiirusega, omandas kesk-tõuke-tung viimaks suuruse, mis võrdus külgetõmbega; selle tagajärjel sai uduline rõngakujuline mass iseseisvuse ja eraldus udukogu edasisel koondumisel viimasest täiesti. Ta tihenes hiljemini keraliseks tombuks, millest kujunes planeet. Kuid udukogu jahtumisel koondus see ise ikka enam ja hakkas kiiremini pöörlema, mille tulemuseks oli järjest uute rõngaste eraldumine ja neist uute planeetide sündimine. Kaaslased võisid tekkida planeedi udutombust umbes samal viisil.

Nõnda seletuks kokkukõla 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, tunduvalt erineb Päikese ekvaatori tasapinnast. Seepärast on uuemal ajal tähelepanu äratanud nn. planetesimaalne hüpotees, mille esitas astrofüüsik Jeans. Selle järgi päikesesüsteem tekkis väljastpoolt mõjuvate jõudude tegevusel. Mõne miljardi aasta eest läks meie Päikese ligidalt mööda üks teine päike (täht). Viimasest tingitud tõmbetungi mõjul tekkisid meie Päikeses hiiglasuured tõusu- ja mõõnalained, mis paiskasid ainet Päikese kehast eemale ruumi. Paisatud aine osad, nn. planetesimaalid, tiirlesid ümber Päikese ja tihenesid vedelaks või kõvaks; edaspidiseil

kokkupõrkeil, ühinemisel ja koondumisel arenesid neist aegamisi planeedid (117. joon.). — Kuna tähtede kohtumised neid eraldavate väga suurte kauguste tõttu on äärmiselt haruldased, siis peaks ka planeetide tekkimine tähtedel esinema ülimal määral haruldase sündmusena. Uusimad vaatlused aga näivad osutavat vastupidist. Sellest järgneb, et ka Jeans'i vaateisse nende autori poolt avaldatud kujul tuleb suhtuda ettevaatusega.

116. Linnutee ja teiste selletaoliste tähesüsteemide arenemisest. Mõnede teadlaste poolt nebulaarhüpoteesile tehtud täienduste järgi võisid planeedid tekkida esialgse udukogusees, mitte aga selle piiridel, nagu arvas Laplace. Sellisel kujul evib see hüpotees suuremat tähtsust ja tõenäosust ning seda võib viljakalt rakendada ka väga suurte kosmiliste moodustiste arengu seletamiseks, nagu seda on Linnutee ja teised temasarnased tähesüsteemid.



117. joon. Planeetide tekkimise skeem Jeans'i järgi.

Tähtede-maailma arengu vaatlemisel lähtutakse harilikult seisukor-
rast, milles väga hõre nebulaarne (*nebula* = udu) aine kosmilise tolmu või gaasiosakeste näol täidab peaaegu ühtlaselt määratu suurt maailmaruumi. Et hajutatud kosmiline aine on gravitatsiooniliselt ebastabiilses tasakaalus, siis jaguneb ta üksikuiks suurteks pilvedeks, mille massid on umbes võrdsed meie Linnutee süsteemi massiga. Gravitatsioonilise külgetõmbe mõjul omandab tohutu suur mass keraalse kuju, ja et osakeste liikumised selles massis pole tasakaalustatud, siis omandab ta pöörleva liikumise. Viimast võisid mõjustada või esile kutsuda ka lähemalasuvate samajärguliste masside edasilikumised 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 matkivad oma edasisel liikumisel samasugust ruumilist jaotust, mis esines udukogu osakestel sel ajajärgul, kui neist tekkisid tähed.

On tähelepandav, 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 tihenenu, kuna aga muu osa kosmilise tolmaine näol püsib Linnutee tasapinnas võrdlemisi õhukese kihina. Analooiline nähtus esineb meie päikesesüsteemis nn. z o d i a a g i v a l g u s e näol, mille tekitavad väikesed kosmilise tolmaine osakesed, mis leiduvad päikesesüsteemi tasapinnas ja hajutavad Päikese valgust. Vahe on vaid selles, et zodiaagivalgust põhjustav tolmaine moodustab suhteliselt väga väikese murdosa kogu päikesesüsteemi massist.

Silmas pidades, et udukogu gaasi- ja tolmuosakesed kohtuvad üksteisega väga sagedasti, tähed aga äärmiselt harva, tuleb esile nähtus, 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. Linnutee tasapinna lähedal. Me võime niisugust nähtust tähele panna ka paljudes välisgalaktilistes tähesüsteemides, kus nebulaarne aine esineb tumeda triibuna või vöödina (115. joon.).

Tähed, mis tekkisid sellisest lamendatud ja ühtlasi tihedamast kihist, on nooremad ja evivad keskmiselt suuremaid masse (valged hiiglasuured tähed) kui varemini sündinud tähed (kollased ja punased kääbustähed). Eelnevast järgneb ka, et liikumisteede tasapinnad esimestel tähtedel peavad asetsema Linnutee tasapinna suhtes rohkem kaldu kui viimastel tähtedel, mida näitavad ka vaatlused.

Esitatud kosmagooniliste vaadete tõepärasust kinnitavad tähtede ruumilise jaotuse ja liikumise uurimised ning tähtede evolutsiooniteooria. Kõrvutades looduse tõelisi fakte esitatud kosmagooniliste vaadetega, leiame nende vahel tähelepanuväärivalt rahuldava kokkukõla.

Tabeleid.

1. Planeetide teede asend, kuju, suurus ja tiirlemisperioodid.

	Keskmine kaugus Päikesest		Tiirlemisperiood aastais ja keskm. päevades		Keskmine liikumise kiirus	Tee tasapinna kalle ekliptika suhtes
	Miljoneis km	Astron. ühikuis	Sideeriline	Sünoodiline		
Merkur . . .	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	686,980	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'
Neptun	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.

	Pöörlemis-periood	Ekvaatoriline läbimõõt (Maa=1)	Ruumala (Maa=1)	M a s s (Maa=1)	Raskus pinnal	Tihedus		Albedo
						Maa = 1	Vesi = 1	
Päike . . .	25 ^d —27 ^d	109,1	1 300 000	331 950	27,89	0,256	1,41	—
Merkur . . .	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?
Neptun	15 (?)	3,92	60	17,16	1,12	0,29	1,58	0,52
Kuu	27 ^d ₃	0,273	0,0203	$\frac{1}{81}$	0,17	0,60	3,33	0,07

M ä r k u s: Pluto kohta vastavad täpsemad andmed veel puuduvad.

3. Heledamate tähtede asendid
(1942. a.).

Nimi	Suurus	α	δ
α Andromedae	2,2	0 t 5,4 m	+ 28° 46'
β Cassiopejæ	2,4	0 6,1	+ 58 50
α Cassiopejæ	2,5 (muutuv)	0 37,2	+ 56 13
α 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 (Kanoop)	—0,9	6 22,7	—52 40
α Canis Majoris (Siirus)	—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 58,4	+ 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 (Vega)	0,1	18 35,0	+ 38 44
α Aquilæ (Altaïr)	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	362	Betelgeuse	0,9	272
Vega	0,1	27	Aldebaran	1,1	59
Arktuurus	0,2	41	Spica	1,2	326
Kapella	0,2	49	Pollux	1,2	33
Rigel	0,3	362	Antares	1,2	362
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
Altair	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
Ateena	+37° 58'	1	34,9	Madrid	+40° 24'	23	45,2
Berliin	+52 24	0	52,4	Melbourne	—37 50	9	39,9
Bombay	+18 54	4	51,3	Moskva	+55 45	2	30,3
Brüssel	+50 48	0	17,4	New York	+40 45	19	4,1
Budapest	+47 29	1	16,2	Pariis	+48 50	0	9,3
Capetown	—33 56	1	13,9	Riia	+56 54	1	36,5
Genf	+46 12	0	24,6	Rio de Janeiro	—22 53	21	7,1
Helsingi	+60 10	1	39,8	Rooma	+41 54	0	49,9
Kairo	+30 5	2	2,1	San Francisco	+37 47	15	50,3
Kopenhaagen	+55 41	0	50,3	Stokholm	+59 21	1	12,2
La Plata	—34 55	20	8,2	Tokio	+35 39	9	19,0
Leningrad	+59 56	2	1,2	Varsavi	+52 13	1	24,0
Lissabon	+38 43	23	23,3	Washington	+38 55	18	51,7
London (Greenwich)	+51 29	0	0	Viin	+48 14	1	5,4
Madras	+13 4	5	21,0				

6. Eesti linnade geograafilised koordinaadid.

N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist		N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist	
		h	m			h	m
Antsla	57° 50'	1	46,1	Paide	58° 54'	1	42,2
Elva	58 13	1	45,7	Paldiski . . .	59 21	1	36,2
Haapsalu . . .	58 57	1	34,1	Petseri	57 48	1	50,4
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
Otepää	58 3	1	46,0				

7. Tähtsamate tähtkujude ja tähtede nimed.

Peale teadusliku (ladinakeelse) on antud ka eestikeelne, kui see erineb esimesest; sulgudes on antud vanad rahvanimed.

- | | |
|--|---|
| 1. Andromeda | 6. Bootes, Karjane |
| 2. Aquarius, Veevalaja | Arcturus, Arktuurus |
| 3. Aquila, Kotkas (Vanad
Sauatähed, Jaani Kepp) | 7. Canis Major, Suur Peni
Sirius, Siirius (Orjatăht) |
| 4. Aries, Jäär | 8. Canis Minor, Väike Peni |
| 5. Auriga, Veomees | 9. Capricornus, Kaljukits |
| Capella, Kapella (Jõulutäht) | 10. Cassiopeia, Kassiopeja
(Vardatähed) |

- | | |
|--|---|
| 11. Centaurus, Kentaur | 22. Ophiuchus, Maokandja |
| 12. Corona borealis, Põhja-
kroon (Kuhjalava, Taeva-
tahr) | 23. Pegasus |
| 13. Cygnus, Luik (Suur Rist) | 24. Perseus (Küünlapäeva-
tähed) |
| 14. Delphinus, Delfiin ehk
Pääsukala (Väike Rist,
Peetri Rist) | 25. Pisces, Kalad |
| 15. Draco, Lohe ehk Lendmadu | 26. Praesepe, Sõim (Vana Sõel,
Moosese Sõel) |
| 16. Gemini, Kaksikud | 27. Sagittarius, Ambur |
| 17. Hercules, Herkules | 28. Scorpius, Skorpion |
| 18. Leo, Lõvi | 29. Taurus, Sõnn
Pleiades, Plejaadid (Sõel)
Hyades, Hüaadid ehk Vih-
matähed |
| 19. Libra, Kaalud | 30. Ursa Major, Suur Karu
(Suur Vanker) |
| 20. Lyra, Lüüra ehk Kannel
(Vanad Reinad)
Vega, Veega | 31. Ursa Minor, Väike Karu
(Väike Vanker)
Polaris, Põhjanaan |
| 21. Orion (Koot ja Reha, Saua-
tähed, Orjapähed)
Betelgeuse, Beteigeuze
Rigel, Riigel | 32. Virgo, Neitsi |
-

S I S U K O R D.

	Lk.
1. trüki eessõna	3
3. trüki eessõna	4
I. Taevavõlv ja taevakehad.	5
1. Kosmograafia ülesanne 5. — 2. Taevavõlv 6. — 3. Maemaatiline horisont 6. — 4. Taevakehade liigitus 7. — 5. Tähtkujud 10.	
II. Taevaskera pöörlemine ja taevakoordinaadid.	11
6. Taevaskera ööpäevane pöörlemine 11. — 7. Tähe ööpäev 13. — 8. Asendi määramine taevaskeral 13. — 9. Hori-sondilised koordinaadid 15. — 10. Ekvaatorilised koordinaadid 17. — 11*. Side δ , z ja φ vahel kulminatsioonimomendil 19.	
III. Maa pöörlemine ümber telje.	21
12. Taevaskera pöörlemise seletamine 21. — 13. Üldisi argu-mente Maa pöörlemise kasuks 22. — 14. Maa pöörlemise tões-tusi 23.	
IV. Maa kuju ja suurus.	26
15. Maa on tasane ketas 26. — 16. Maa on kerakujuline 27. — 17. Geograafilised koordinaadid 29. — 18. Geograafilise laiuse määramine 30. — 19*. Geograafilise pikkuse määramine 31. — 20. Maa suurus. Eratosthenese meetod Maa suuruse määra-miseks 32. — 21*. Triangulatsioonimeetod kaarepikkuse mõõt-misel maapinnal 34. — 22*. Maa kui pöördellipsoid. Lapi-kus 35. — 23*. Maa tõeline kuju. Geoid 36.	
V. Päikese näiv aastane liikumine.	38
24. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel. Eklip-tika 38. — 25*. Päikese koordinaatide muutumine 39. — 26. Päeva pikkuse olenevus Päikese deklinatsioonist 39. — 27. Zodiaagi tähtkujud. Pöörijooned 40. — 28*. Tähistäeva välisilme muutumine aasta jooksul 42. — 29*. Taevaskera pöörlemine erisugustel geograafilistel laiustel. Mittetõusvad ja mitteloojuvad tähed 42.	

*-ga on märgitud lisaküsimused, mis ei kuulu käsitlemisele ühe nädalatunni juures.

VI. Maa tiirlemine ümber Päikese.	43
30. Päikese näiva aastase liikumise seletus 43. — 31. Aastatajad 45.	
VII. Aja mõõtmine.	47
32. Täheae 47. — 33*. Ligikaudne täheaja määramine antud momendil 48. — 34*. Side täheaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsioonimomendil. Aegnurk 49. — 35. Tõeline ja keskmine päikeseae 50. — 36*. Ajavõrrand 51. — 37*. Päikesekell 53. — 38. Kohalik ja ühtlusaeg 53. — 39. Troopiline ja kodanlik aasta. Kalender 55. — 40. Juuliuse ja gregooriuse kalender 56.	
VIII. Taevakehade kauguse ja suuruse määramine.	58
41. Kuu ja Päikese kaugus Maast 58. — 42. Kuu ja Päikese parallaks 59. — 43. Kuu ja Päikese suuruse määramine 61. — 44*. Tähtede aastaparallaks 62.	
IX. Kuu tiirlemine ümber Maa.	62
45. Kuu tiirlemine ümber Maa 62. — 46*. Tähtede kattumine 63. — 47. Kuu faasid 63. — 48. Tuhkvalgus 66. — 49*. Kuu pöörlemine 66. — 50. Varjutused 66. — 51. Kuuvarjutused 67. — 52. Päikesevarjutused 69. — 53*. Kuu- ja päikesevarjutuste ennustamine ning sagedus 70.	
X. Ptolemaiuse ja Koperniku süsteem. Kepleri seadused.	70
54. Rändtähed ja nende liikumised 70. — 55. Ptolemaiuse süsteem 71. — 56. Koperniku süsteem 73. — 57*. Siseplaneetid 74. — 58*. Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletus 74. — 59. Kepleri seadused 75.	
XI. Gravitatsiooniseadus ning järeldusi sellest.	78
60. Ajalooline ülevaade 78. — 61. Gravitatsioonitug 79. — 62. Gravitatsioonitugi ja raskustungi samasus 79. — 63. Üldine gravitatsiooniseadus 80. — 64*. Maa mass ja tiheus 81. — 65*. Päikese massi määramine 82. — 66. Tõus ja mõõn 83. — 67*. Neptuni ja Pluto avastamine 85.	
XII. Päikesesüsteemi ehitus.	85
68. Päikesesüsteem 85. — 69. Päikesesüsteemi koostis 86. — 70. Päikesesüsteemi korrapärasus 87. — 71*. Planeetide kaugused ja nende korrapärane järjestus 88. — 72. Planeetide jaotus 89.	
XIII. Päike	90
73. Üldandmeid Päikesest 90. — 74. Päikese pinna nähtused 92. — 75. Päikese pöörlemine ümber telje 94. — 76. Päikese õhkkond 96. — 77. Päikese protuberantsid 97. — 78. Päi-	

kese kroon 97. — 79. Päikese nähtuste perioodsus ja nende seos maapealsete nähtustega 98. — 80. Päikese energia ja selle kasutamine 99. — 81*. Päikese spekter ja keemiline koostis 101. — 82*. Päikese soojuse allikaid 101.

XIV. Kuu	103
83. Kuu pinnaehitus 103. — 84. Kuu pinna füüsikalised tingimused 105.	
XV. Planeedid	106
85. Merkur 106. — 86. Veenus 108. — 87. Marss 108. — 88*. Väikesed planeedid ehk asteroidid 110. — 89. Jupiter 110. — 90. Saturn 112. — 91*. Uran, Neptun ja Pluto 113.	
XVI. Komeedid ja meteorid	114
92. Komeedid, nende teed ja liikumine 114. — 93. Komeedikuju ja ehitus 115. — 94*. Komeedi spekter ja keemiline koostis 117. — 95. Perioodilised komeedid 117. — 96. Lendtähed ehk meteorid 118. — 97. Boliidid ja aeroliidid 118. — 98*. Meteoride voolud ja nende seos komeetidega 119.	
XVII. Tähed	121
99. Tähtede heledus 121. — 100. Tähtede arv 122. — 101. Tähtede kaugused 123. — 102*. Tähtede absoluutne suurus 124. — 103. Tähtede värvus, spekter ja temperatuur 125. — 104. Hiidtähed ja käbustähed 126. — 105. Kaksiktähed 128. — 106. Muutlikud tähed 129. — 107. Uued tähed 130. — 108. Tähtede liikumine 131. — 109. Päikesesüsteemi edasiliikumine ruumis 133.	
XVIII. Maailma ehitus	135
110. Täheparved 135. — 111. Linnutee 136. — 112. Linnutee ehk Galaktika tähesüsteemi ehitusest 136. — 113. Udukogud ja nende liigitus 140. — 114. Välisgalaktilised tähesüsteemid 143.	
XIX. Kosmogoonilisi hüpoteese	145
115. Kant-Laplace'i nebulaarhüpotees ja teisi vaateid 145. — 116*. Linnutee ja teiste selletaoliste tähesüsteemide arenemisest 147.	
Tabeleid	149

A

13427

147577