

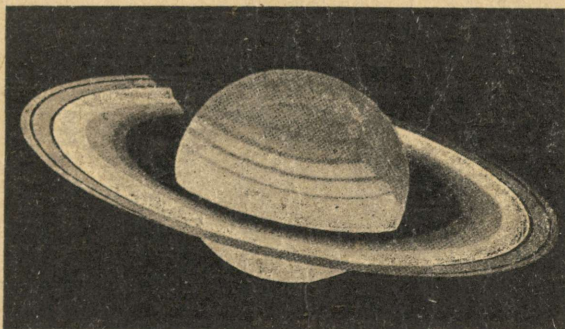
Duplum

J. LANG — D. ROOTSMAN

KOSMOGRAAFIA

KOOLIDELE JA ISEÕPPIMISEKS

2. PARANDATUD JA TÄIENDATUD TRÜKK



19120

K./Ü. „LOODUS“, TARTU

V. Kurrik

METEOROLOGIA

SISU:

I. Meteoroloogilised elemendid. Õhkkonna kõrgus ja koosseis. Kiiretamine. Temperatuur. Õhurõhumine. Õhu niiskus. Pilved ja udu. Sademed. Lumi ja jää. Elektri- ja optilised nähtused.

II. Õhu liikumine. Tuul. Tuule suund ja tuule kiirus. Tsüklo-
nid ja antitsüklonid. Kohalikud ja kindlad ehk alalised tuuled.

III. Kliima ja ilmade ennustamine.

77 joonise, kaardi ja päevapildiga. Hind 4 kr. 50 senti.

Juba esialgsel lehitsemisel jätab raamat hea mulje selgete ja näitlikkude piltide, jooniste, diagrammide ja tabelite poolest.

V. Kurriku raamatut võib nimetada mitte ainult esimeseks eesti-keelseks, vaid ka Eesti meteoroloogia õpperaamatuks. Autor ei unusta kuski, kus võimalik, kujutamast ka Eesti ilmastiku olusid. Rikas on selle poolest kolmas osa, milles kindlate arvude varal seletatakse kultuurtaimede kasvatamise võimalusi meie kodumaal.

V. Kurriku „Meteoroloogia“ ilmumine on kõrvaldanud tarviduse võõrkeelsete õpperaamatute järele sellel alal. Nagu autor oma ees-
sõnas tähendab, on raamat määratud laiemale tarvitajate ringile.

Lõpp-kokkuvõttes olgu öeldud:

Raamat on hea, hoolsalt ja sügav-asjatundlikult läbi töötatud ja seni ainuke oma alal. Seda raamatut võib kasuga tarvitada iga üldhariduse omandanud isik.

Loodame, et peale noorsoo ka maateaduse õpetajad ja kõik isikud, kes tegelikult elus ilmade tundmisest huvitatud, eeskätt põllume-
hed, seda kasulikku käsiraamatut ostma töttavad.

J. S.

„Vaba Sõna“.

Olles heaks õpperaamatuks, on V. Kurriku teos ühtlasi ka heaks käsiraamatuks paljudele. Eriti võib niisuguse raamatu ilmumisest rõõmu tunda tegelik põllumees.

tt.

„Kaja“.

A. Tõllassepp

MEIE ÕHKKOND

90 lk., 4 joon. Hind 95 senti.

Arvesse võttes huvitavat ainet, ladusat keelt ja terve käsitluse kokkukõla teaduse praeguse seisukorraga, on kogumulje raamatust väga hea. Ka raamatu välimus, trükk ja paber on korralik.

A. R.

„Postimees“.

KOSMOGRAAFIA

KOOLIDELE JA ISEÕPPIMISEKS

J. LANG,
TARTU LINNA KOOLINÕUNIK

D. ROOTSMAN,
ASTRONOOMIAPROFESSOR TARTU ÜLIKOOIS

2. PARANDATUD JA TÄIENDATUD TRÜKK

K.Ü. „LOODUS“, TARTU, 1932

*HSM Kooliraamatute Komisjoni poolt 1. trükis keskkoolidele
tarvitamiseks soovitatud.*



K.Ü. „Looduse“ keeleline korrektor H. Pürk o p.

A-8091

K. Mattieseni trükikoda o./ü., Tartus, 1932.

1. trüki eessõna.

Käesoleva töö kirjutamise põhjuseks oli 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 reaalharu tarvidusi, kui kosmograafiaale on antud kaks nädalatundi. Autorite arvates on kogu materjali 2 nädalatunniga võimalik omendada reaalharus 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 otstarbekohase 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 praegusis algkooli geograafiaõpperaamatuis ekslikke seletusi matemaatilise geograafia osas. Arvestades meie raamatute kitsast tarvitajate ringkonda, mis teeb võimatuks igaks eri-otstarbeks raamatu kirjastamise, on autorite arvates käesolevat raamatut võimalik tarvitada ka iseõppijail.

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

Autorid rõhutavad kõige kindlamalt, et kosmograafiat ei saa mitte ainult palja raamatu järele õppida, vaid tingimata peab käsitledavaid objekte ja nähtusi **ise vaatlema**. 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 süvenemise otstarbel 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 tarvitanud neid, mis autorite arvates juba üldiselt tarvitusel või tarvitusele tulevad.

Tartus, lehekuul 1926.

Autorid.



2. trüki eessõna.

Teise trüki redigeerimisel on autorid arvestanud võimalikult kõiki näpunäiteid. mis on tehtud HSM Kooliraamatute Komisjoni kui ka teiste arvustajate poolt, Enamik tehtud parandusist on peamiselt redaktsioonilist laadi. Kuid on tehtud rohkesti ka sisulisi muudatusi ning täiendusi. Sellest hoolimata on §§-de numratsioon jäetud endiseks; seega pole mingisuguseid raskusi mõlema trüki kõrvuti tarvitamisel.

Ka uues trükis vastab raamat maksvatele õppekavadele. Humanitaarharus, kus kasutada ainult 1 tund nädalas, tuleb piirduda peamiselt kirjeldava osaga, jättes taga-plaanile matemaatilise elemendi. Arvestades õppekavades väljendatud nõudeid, pole õpetajal raske vastavalt kohalikele töötamistingimusele fikseerida oma töökavas õppe-raamatust käsitlusele tulevad osad. Seepärast ei soovinud autorid omalt poolt mõjustada ainevalikut töökavade koostamisel.

Meie kehva eestikeelse astronoomilise kirjanduse puhul juhivad autorid tähelepanu „Tähetorni kalendri-le“ kui paratamatult tarvilikule abiraamatule kosmograafia õpetamisel. Peale kalendaariumi osa sisaldab „T. kalender“ rohkesti astronoomilisi artikleid, mida võib kasutada täiendavaks lugemiseks ning materjaliks referaatide kirjutamisel. Seepärast ei tohiks ühelgi keskkoolil puududa „T. kalendri“ kõik aastakäigud.

Autorid loodavad, et tehtud muudatused ja täiendused kasuks tulevad kosmograafia õpetamisel ja et „Kosmograafia“ uus trükk koolidelt sama lahkelt vastuvõttu leiab kui esimenegi. Ühtlasi avaldavad autorid tõsiselt tänu kõigile lahkeile arvustajaile, kes oma märkustega on kaasa aidanud raamatu väärtuse tõstmiseks.

Tartus, lehekuul 1932.

Autorid.

I. Taevavõlv ja mis on näha sellel.

1. **Millega teotseb kosmograafia.** Päeval näeme taevas Päikest, öösi Kuud ja tähti. Sageli nimetame kogu Maad maailmaks. Ka Päike, Kuu ja tähed moodustavad igaüks omaette Maailma. Laiemas mõttes sõnaga „**Maailm**“ (võõrkeelse sõnaga — Universum, Kosmos) tähendame kogu olemasolevat loodust: Maa, Päike, Kuu, tähed jne. Teadmisi Maailmast saame sel teel, et oma meelte abil hoolega paneme tähele nähtusi, mis toimuvad meie ümber, ja mõtleme nende üle järele, püüame neid üksteisega siduda. Muidugi, meie ei tunne mitte kogu Maailma, kogu olemasolevat, vaid ainult võibolla võrdlemisi väikest osa sellest, nimelt seda osa, millest ulatuvad veel mõnesugused nähtused meie teadvusse. Inimeste teadmiste arenemisega laieneb ja läheb mitmekesisemaks ning sügavamaks ka meile tuntud Maailm.

Kosmograafia püüab anda meile tuntud Maailma osa ehitusest lühikese ülevaatliku kirjelduse. Meile on seda tarvis, et määrata õigemalt enese suhtumist Maailmasse (filosoofiline tähtsus ilmavaate kujundamise seisukohalt). Ka on meil täpsam koordineerimine ruumis (koha määramine Maa pinnal) ja ajas (õige aja määramine) võimalik ainult siis, kui tunneme ligemalt Maailma ehitust (praktiline tähtsus). Ei saa jätta nimetamata ka esteetilist mõnu, mida pakub meile Kosmose vaatlemine ja tundmaõppimine.

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

Taevavõlv paistab meile igal pool enam-vähem õõnsa poolkerana, mille keskpunktis asetseb vaateleja silm. Niisugune taevavõlvi kuju on tingitud meie silma omadusest — näha kõike üle teatud piiri eemal olevaid asju samas kauguses. Et nägemise tingimused on igas suunas enam-vähem ühesugused, siis on taevavõlv kerakujuline,

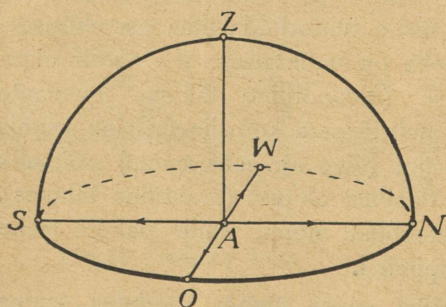
ta on selleks pinnaks, millele projekteerime kõik kauged asjad ja nähtused: Päike, Kuu, tähed, meteorid, välg jne.

Lähem tähelepanemine näitab, et taevavõlv paistab püstsuunas meile lähemal kui rõhtsuunas, s. o. taevavõlv on l a m e. Taevavõlvi lamedus tekib sellest, et rõhtsuunas näeb vaatleja palju mitmesuguseid asju (puud, majad jne.), mille tõttu meile p a i s t a b taevavõlv kaugemale nihkuvat, kuna püstsuunas on meil vaateväli lage.

Puhas selge taevast paistab meile helesinisena. Taeva värv põhjuseks on õhusakesed (-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 taevast paistab meile mitte puhassinisena, vaid mitmes teises värvis — punasena, rohelisena, kollasena jne.

1. Mispärast ei näe meie tähti päeval?
2. Missugust värvi paistab meile taevast öösi?
3. Millest järeldame, et taeva värv on päikesevalgusest, et taevast ei ole niiõelda oma värvi?
4. Kus näib taevavõlv lamedam: maal või merel, tasasel või künklikul maal?

3. Matemaatiline horisont. Lähtekohaks ruumis koordineerimisel on vaatleja silm, sest siin koonduvad valguskiired, mis



1. joon. Matemaatiline horisont.

toovad meile teateid kaugest asjust. Tõmbame läbi vaatleja silma (A) püst- ehk vertikaalsihi (seda osutab niit, mille otsas ripub raskus). Pikendame vaatleja silmast läbi minevat püstsihti ülespoole lõikumiseni taevavõlviga punktis Z (1. joon.). Nimetame püstsihi ja taevavõlvi lõikepunkti **seniidiks** (muidugi punkt A suhtes). Kujutleme läbi vaatleja silma tasapinna, mis on risti püstsihiga AZ.

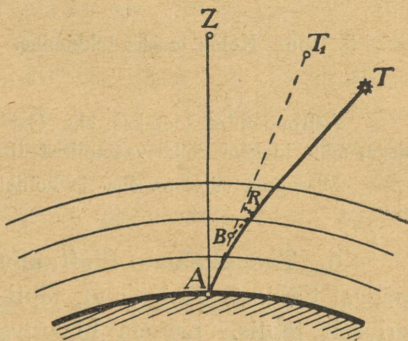
Nimetame selle tasapinna rõhtsaks tasapinnaks ehk **matemaatiliseks horisondiks** (muidugi punkt A suhtes).

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

1. Missugustel punktidel on seesama seniit (sellesama seniidiga punktide geom. koht) ?

2. Kas on võimalik, et kahel isekohal võetud punktil oleks seesama maatematiline horisont ?

4. Refraktsioon. Maa on ümbritsetud õhkkonnaga. Õhu tihedus väheneb järjest maapinnalt kõrgemale tõustes. Taevakehadelt (Päike, tähed jne.) Maa juurde tulevad valguskiired peavad enne õhkkonnast läbi minema, kui nad satuvad vaatleja silma. Väiksema tihedusega õhukihtidest suurema tihedusega õhukihtidesse minnes (või ümberpöörduvalt) muudab valguskiir oma suunda ehk murdub; seetõttu ei paista täht alati selles suunas, kus ta on tõepoolest, vaid kaldub kõrvale oma tõelisest vaatesuunast valguse murdumise seaduste põhjal (2. joon.). Niisugust nähtust nimetatakse astronoomiliseks refraktsiooniks. Refraktsiooni mõjul paistavad tähed ja teised taevakehad horisondi suhtes kõrgemal kui nad seda on tõepoolest. Refraktsiooni toime on kõige suurem horisondi lähedal ($35'$), seniidis võrdub see nulliga (mispärast?).



2. joon. Astr. refraktsioon.

Päikese ja Kuu ketas muutub horisondi lähedal lapikuks. Seleta nähtust refraktsiooni põhjal!

Ka maapinnal asetsevad asjad ei paista sageli õhu ebaühtluse tõttu seal, kus nad on tõepoolest. Niisugust nähtust nimetatakse terrestrialiliseks refraktsiooniks. — Too näiteid nn. õhu virvendamise kohta! Seleta, millest see tuleb!

5. Koit ja eha. Päikese vaatepiiri alla vajumisega ei alga veel otsekohe öö, vaid üleminek päevast öösse toimub pidevalt — valgus kahaneb pikkamisi. Taevas punetab veel tükk aega pärast Päikese loojamist. Samuti on lugu ka hommikul enne Päikese tõusu. Üleminekut öölt päevale (hommikul enne Päikese tõusu) nimetame koiduks, üleminekut päevalt ööle (õhtul pärast Päikese loojangut) —

kindlaks teha, et tähed jagunevad kahte liiki: kinnis- ja rändtähed. — Kinnistähed on need, mis ei muuda oma asendit taevavõlvil teiste tähtede suhtes; nagu helenduvad naelapead paistavad nad kinnistatud olevat taevavõlvile ning püsivad seal igaüks oma kohal. Peale selle tunneme kinnistähti nende vilkumisest; ka paistavad meile kinnistähed teleskoobis täpikestena samuti kui paljalegi silmale. Loomult on kinnistähed suured tulised hõõguvad kehad, mis ilmaruumis igale poole levitavad valgust ja soojust nagu meie Päikegi. Loendatud kinnistähete tunnused on tingitud suurest kaugusest, mis meid kinnistähedest lahutab. Kõige lähemalt kinnistähtelt on valgus 4,3 aastat meie juurde teel. Peaaegu kõik tähed kuuluvad kinnistähete liiki. Sageli tarvitame sõna „kinnistäht“ asemel lihtsalt „täht“. — Rändtähtede tunnused on kinnistähete omadele otse vastupidised. Nimeta nad! Loomult sarnanevad rändtähed suurel määral Maaga. Rändtähti võib korraga näha vaid mõned üksikud (Veenus, Marss, Jupiter, Saturn jne.). Kõik rändtähed ehk planeedid kuuluvad Päikese perekonda, 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. Harilikult kustub niisugune täht enne maapinna lähedale jõudmist. Need on lendtähed; lendtähed — väikesed ainekillukesed, mis ilmaruumist Maa õhkkonda sattudes hõõrdumise mõjul kuumaks muutuvad, helenevad ja viimaks ära põlevad.

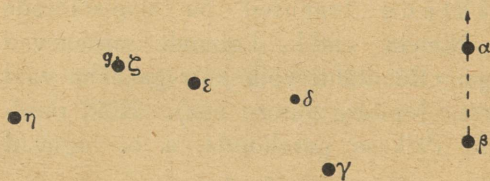
Haruldaste külalistena palja silmaga vaatlejale esinevad meile sabaga tähed ehk komeedid.

Heleda vööna enam-vähem põhja—lõuna sihis käib üle taeva Linnutee. See on suur tähtede parv, mille hulka kuulub ka meie Päike. (Tuleta meelde eesti muinasjuttu Linnutee tekkimisest!)

1. Mitu korda on Päikese pind- ja ruumala Maa omast suurem?
2. Mispärast paistab Kuu peaaegu sama suure kettana kui Päikegi?
3. Väljenda lähema kinnistähe kaugus km-tes!
4. Missugused rändtähed on praegu palja silmaga nähtavad?
5. Vilkumistäht tekib tähtelt tuleva peenikese valguse kiirtekimbu alusest suunamuutumisest murdumise mõjul Maa õhkkonnas. Planeedilt tulev kiirtekiir on küllalt tugev, jäme, sellepärast ei näe meie üksikute kiirte suunamuutumist. Too analoogiaid inimeste (sõdurid, õpilased) korraldatud ridade liikumisest.

7. Tähtkujud. Taevaga tutvumiseks on kasulik ühendada üksikuid tähti kujudeks, mis meile hästi tuttavad, nagu kolmnurk, ruut, ring jne. Niisuguseid tähtede rühmitisi nimetatakse tähtkujudeks. Suurem osa tähtkujude nimetisi on väga vanad (mitu tuhat aastat), pärit Kreekast ja Kaldeast. Ka meie esivanemad on paljudele tähtkujudele oma algupärased nimed andnud, nagu Kuhjalava, Reha, Koot jne. — Tähtkuju üksikute tähtede nimedena tarvitatakse kreeka keele tähti α , β , γ jne., kus harilikult kõige heledam märgitakse α -ga, teised heleduse järjekorras β , γ jne.

Kõige kergem on alata tähtkujude tundmaõppimist Suurest Vankrist, mille 4. joon. abil põhjataevas kergesti ära tunneme. Rattad



4. joon. Suur Vanker.

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 pikendades noole suunas

jõuame kaunis heleda täheni, mis Põhjanaela nime kannab. Nagu varsti näeme, asetseb Põhjanael maailma pooluse lähedal, seepärast paistab Põhjanael alati samas kohas; ta on kui helenduv naelapea, mis põhjataevasse löödud. Põhjanael on Väikese Vankri aisa otsmine täht.

Raamatu lõpul oleva kaardi abil otsi üles teised tähtsamad põhjataeva tähtkujud: Kassiopeia, Veomees, Luik, Lüüra, Põhja-Kroon (Kuhjalava) ja teised. — Edaspidisest selgema kujutluse saamiseks on taevaga otsene tutvumine paratamatult tarvilik. Selleks tuleb kasutada võimalikult igat selget õhtut juba õppetöö alul. Meie ilmastik on taeva vaatlusteks üldiselt väga ebasoodus. Seepärast tuleb ära kasutada kõik soodsad vaatlusvõimalused.

1. Raamatu lõpul oleva kaardi abil tutvu meil praegu õhtuti näha olevate tähtkujudega!

2. Pane tähele, kuidas tähed, nagu Päike ja Kuugi, idas tõusevad ja läänes alla vajuvad!

II. Taevaskera ja täheaeg.

8. Taevavõlvi ööpäevane pöörlemine. Taevaskera. Asetume selgel öhtul või ööl õue nõnda, et mõni lõunataeva hele täht paistaks just mõne lähedal-oleva silmapaistva asja kohal (aia-posti ots, korstna äär, katuse serv jne.). Sel viisil määrame kindlaks vaatesuuna, millel asetseb täht vaatluse alul, sest kaks punkti (vaatleja silm ja antud asi) määravad ainult ühe sirge. Natuke aega (15—20 min.) hiljemini samasse seisukohta asudes näeme, et tähelepandav täht on endisest vaatesuunast nihkunud tublisti lääne poole. —Tee see vaatlus tingimata esimesel võimalusel!

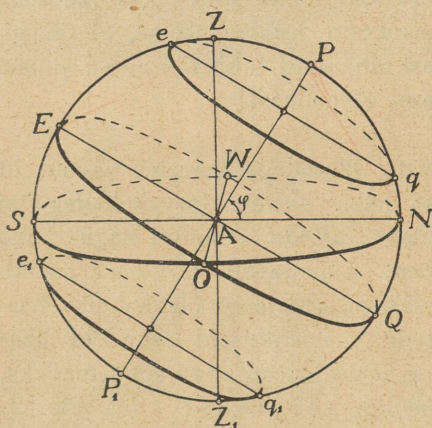
Samalaadilisi vaatlusi ka teiste tähtedega korrates näeme, et taevavõlv ühes kõigi tema pinnal näha olevate taevakehadega ei seisa mitte paigal, vaid pöörleb **idast läände**. Samuti nagu Päike ja Kuu — tõusevad ka tähed idast, saavutavad kõrgeima asendi lõunas ja vajuvad alla vaatepiirile läänes. Meie 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.

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 sellepärast nähtav, kuna teine pool on vaatepiiri all ning sellepärast meile nähtamatu.

9. Tähe öö-päev. Paneme tähele, mis kella ajal läheb mõni täht üle kindla vaatesuuna täna; olgu see näiteks kl. 8 öhtul. Sama nähtust homme tähele pannes näeme, et üleminek toimub ligi 4 min. varemini, s. o. kl. 7,56 min. Et täht ei ole muutnud oma seisukohta taevavõlvil, siis järeldame, et ajavahemik, mille jooksul teeb täht ühe täistiiru, s. o. 23^h56^m , võrdub ajavahemikuga, mille jooksul teeb täistiiru taevaskera. Nimetame ajavahemiku, mille jooksul taevaskera teeb ühe täistiiru, **tähe öö-päevaks**.

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

10. Asendi määramine taevaskeral. Taevaskera keskpunkti (A) on alati vaatleja silm. Sellest järeldame, et meil on tege-



5. joon. Taevaskera.

mist siin nähtusega, mis oleneb meie silma ehitusest. Taevaskeral seisukoha määramise otstarbel anname erilised nimed mõnele joonele, punktile ja tasapinnale.

Sirget PP_1 (5. joon.), mille ümber pöörleb taevaskera, nimet. **maailma-teljeks**. Maailma-telg lõikub taevaskeraga kahes punktis (P ja P_1), mis nimet. **taeva poolusteks**. Meie horisondi kohal on **põhjapoolus** (P), temale otse vastas asetseb **lõunapoolus** (P_1). Nagu definitsioonist näha, on poolused geomeetriliselt defineeritud punktid.

Praegu asetseb põhjapooluse läheduses ($\sim 1\frac{1}{2}^\circ$ kaugusel) võrdlemisi hele täht — Põhjanael, mille abil on kerge põhjapooluse ligikaudset asukohta määrata. — Vaatleja silmast (A) läbiv püst- ehk vertikaaljoon lõikub taevaskeraga seniidis (Z). Seniidi vastaspunkti (Z_1) nimetatakse **nadiiriks**. Kujutleme tasapinna läbi vaatleja silma, pooluse ja seniidi. See on **taeva meridiaani-tasapind**, mis lõikudes taevaskeraga annab ringjoone (ZPP_1), mida kutsutakse **meridiaaniks**. Meridiaani-tasapind jagab taevaskera kaheks pooleks — ida- ja läänepool. Horisondi tasapinnaga ($NOSW$) lõikub meridiaani-tasapind mööda sirget SN , mida nimet. **keskpäeva-jooneks**. Keskpäeva-joone üks ots (N) näitab põhja, teine (S) lõunasse.

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, q_1 jne.), mille tasapinnad on risti maailma-teljega. Kõik tähed liiguvad oma ööpäevases liikumises paralleelselt ekvaatoriga, moodustades 24 tähetunni jooksul taevaskerale ringid.

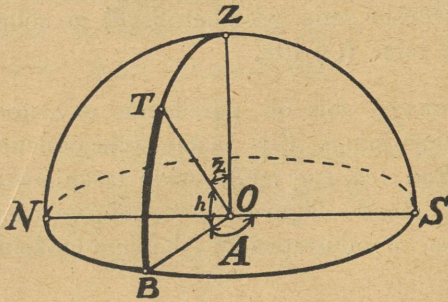
Ühes taevaskeraga ümber maailma-telje ringi käies jõuavad tähed kõige kõrgemasse (vst. madalamasse) asendisse horisondi suhtes siis, kui nad asetsevad meridiaani-tasapinnas. Nimetame tähe meridiaanist läbimineku momenti tema **kulminatsioonimomendiks**. Neid on kaks: ülemise (kõrgeim asend) ja alumise (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 teibaist mudel, kus on ära tähendatud maailma-telje, ekvaatori, keskpäeva-joone jne. sihid.
4. Missuguses taevaskera kohas on tähtede ööpäevane liikumine kõige kiirem?

G. sua

11. Horisondilised koordinaadid. Koordinaatide all üldse mõistetakse suurus, mille abil määratakse ära punkti asend kas mõnesugusel pinnal, joonel või ruumis. Taevakoordinaatide abil määrame ära täpsalt taevakeha asendi taevaskeral. Lihtsamaks taevakoordinaatide süsteemiks on nn. **horisondilised koordinaadid**: asimuut ja kõrgus. 6. joon. on kujutatud taevavõlv. Vaatleja asetseb punktis O , SZN on meridiaani ja SBN matemaat. horisondi tasapind, Z — seniit. Oletame, et vaatleja tahab ära määrata täht T asendit horisondi suhtes. Selleks tõmbame tasapinna läbi antud tähe T ja vertikaaljoone OZ . See tasapind (TZO) lõikub horisondi-tasapinnaga mööda sirget OB ja moodustab meridiaani-tasapinnaga SZN nurga SOB , mille nimetame asimuudiks. Nii siis **asimuut** (A) on nurk

meridiaani-tasapinna ja antud punktist läbi mineva vertikaaltasapinna vahel. Asimuudi suurust mõõdab joonnurk SOB ehk temale



6. joon. Horisondilised koordinaadid.

vastav kaar SB , kusjuures nullpunktiks on lõunapunkt S . Asimuuti mõõdetakse lõunapunktist (0°) alates läänesuunas üle põhjapunkti (180°) kuni lõunapunktini (360°). Nii siis on läänepunkti asimuut 90° , idapunkti asimuut 270° jne.

Varemini mõõdeti asimuuti lõunapunktist alates kahele poole: ida ja lääne suunas 180° -ni (põhjapunkt). Astronoomide rahvusvahelise kongressi otsusel (Cambridge, 1925) on nüüd tarvitusele võetud asimuudi mõõtmine ainult läänesuunas: 0° -st kuni 360° -ni.

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

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

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

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

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

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

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

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

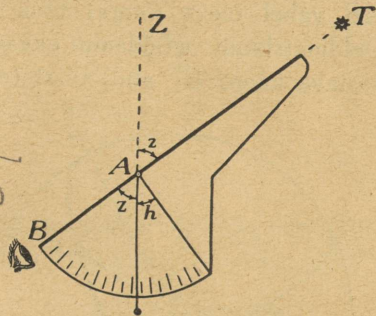
4. Mis kuupäeval saavutab Päike meil kõige suurema kõrguse?

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

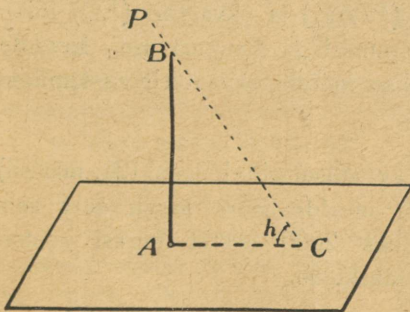
6. Tee papist või lauätükist (hädakorral paberist) 7. joon. kujutatud riist kõrguse või seniidikauguse mõõtmiseks ning mõõda sellega Päikese kulminatsiooni kõrgus, pooluse kõrgus jne. Kuhu tuleb teha 0°-punkt, et skaala näitaks z (vst. h) suurst? Harjutuseks mõõda lähedal-olevate asjade kõrgusi (vst. seniidikaugusi)!

7. Vanad kreeklased ja egiptlased tarvitasid Päikese kõrguse mõõtmiseks **gnomonit** (8. joon.), mis pole muud midagi kui rõhtsale lauale püsti pandud varras (AB). Kuidas on võimalik niisuguse riista abil Päikese kõrgust määrata?

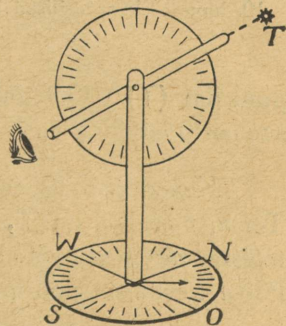
8. Kuidas otsustavad sagedasti Päikese kõrguse üle karjased?



7. joon. Riist kõrguse mõõtmiseks.



8. joon. Gnomon.



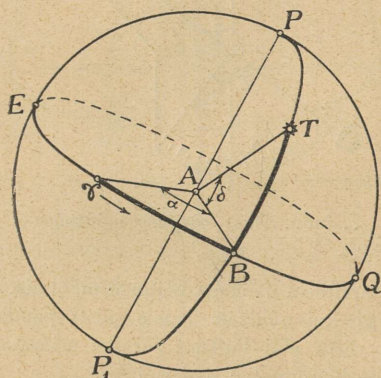
9. joon. Teodoliit.

9. Täpsamaks kõrguse ja asimuudi mõõtmiseks tarvitatakse nn. **teodoliiti**, mis on skemaatiliselt kujutatud 9. 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.

12. Ekvaatorilised koordinaadid. Ekvaatorilised koordinaadid määravad ära taevakeha asendi taeva-ekvaatori suhtes.

Olgu 10. 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 (õigemini vaatesuuna AT ja selle projektsiooni AB vahel oleva nurga) tähe **käändeks** ehk **deklinatsiooniks** (δ). Deklinatsiooni mõõdame ekvaatorilt alates (nurga BAT ehk sellele vastava kaare BT abil) 0° -st (ekvaator) 90° -ni (poolus). Ekvaatorilt



10. joon. Ekvaatorilised koordinaadid.

põhja poole loetakse deklinatsioon positiivseks (+), lõuna poole negatiivseks (-). Sellega siis on põhjapooluse $\delta = +90^\circ$, lõunapooluse $\delta = -90^\circ$ 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 ära teine koordinaat — **otsetõus** (α), mis näitab deklinatsiooni poolringi ($PTBP_1$) ja ekvaatori (EQ) lõikepunkti B kaugust nn. **kevade-**

punkti (γ). Otsetõusu mõõdetakse mööda ekvaatorit **vastupäeva** suunas 0° -st 360° -ni.

Kevadepunktis asetseb Päike kevadisel pööripäeval (21. märtsil). Tema märgiks on γ , mis tuleb meelde jätta sarvi, sest selle mõiste tarvituselevõtmise aegu umbes 2000 aastat tagasi asetses Päike kevadisel pööripäeval Jäara tähtkujus.

Üles märkida taevaskeral punktid, mille α ja δ on: $0^h, 0^\circ$; $6^h, 60^\circ$; $9^h, 30^\circ$; $18^h, -45^\circ$; $12^h, -30^\circ$ jne.

Kuidas oleneb tähe ööpäevase liikumise kiirus kändest?

Kumb on suurem: kas pooluse kõrgus horisondist või seniidi kaugus ekvaatorist (kääne)? kas pooluse seniidikaugus või ekvaatori kõrgus horisondi suhtes?

Otsetõusu võime mõõta kaare- või nurgakraadides, kuid sageli on kasulik mõõta otsetõusu ka ajas. Teame, et taevas-

kera pöörduv ümber maailma-telje 360° ehk täistiiru võrra ühe tähe ööpäeva (24^h) jooksul. Järelikult taevaskera

pöörangule 360° vastab täheajas 24^h

"	1°	"	"	4^m
"	$1'$	"	"	4^s
"	$1''$	"	"	$\frac{1}{5}^s$

Ümberpöördult,

1^h -le täheajas vastab taevaskera pöörang 15°

1^m -le " " " " $15'$

1^s -le " " " " $15''$

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

Ekvaatorilisi koordinaate võime mõõta teodoliidi abil, kui seada selle püsttelg maailma-teljega rööbiti. Kõrgusele vastab siis deklinatsioon ja asimuudile otsetõus. Vahe seisab ainult selles, et asimuuti loetakse lõunapunktist lääne, otsetõusu aga kevadepunktist (Υ) ida poole (kui vaadata lõunasse). Kirjeldatud põhimõtteil ehitatud eriline riist on kujutatud 11. joon. ja nimetatakse ekvatoriaaliks.

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

2) Joonista taevaskera ühes kohaliku horisondiga (pooluse kõrgus õieti võtta!). Oletame, et kevadepunkt asetseb idapunktis. Märgi taevaskeral õieti järgmiste tähtede asendid:

Kapella (Jõulutäht):

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

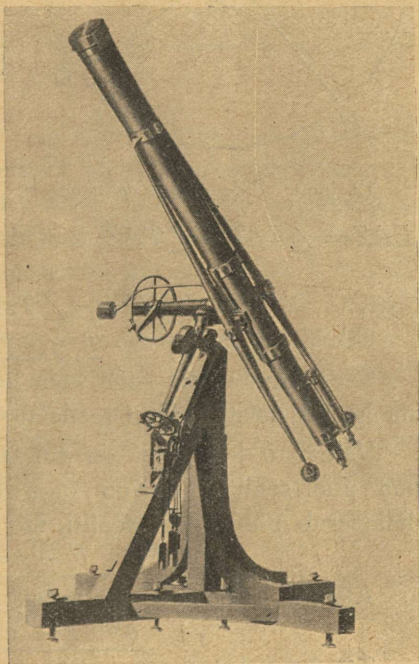
Siirius (Orjapäht):

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

Veega (α Lyrae):

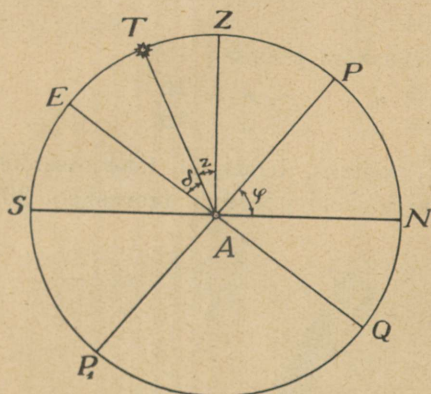
$$\alpha = 18^h 34^m; \delta = +38^{\circ} 43'$$

Hinda joonise põhjal ligikaudu nende horisondilised koordinaadid!



11. joon Tartu ülikooli tähetorni Fraunhoferi refraktor, üles seatud a. 1824. Objektiivi läbimõõt 24 cm, fookuse kaugus 450 cm. Omal ajal oli suurim ja parim refraktor üle maailma.

13. Side δ , z ja φ vahel kulminatsioonimomendil. Taeva-keha (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 see toimub. 12. joon. kujutab skemaatiliselt tähe T seisu **ülem. kulminatsiooni** momendil.



12. joon. Side δ , z ja φ vahel.

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 .

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 külgedega; edasi

$\angle EAZ = \angle EAT + \angle TAZ$; asetades siit $\angle EAZ$ väärtuse võrdusse (1), saame:

$$\angle EAT + \angle TAZ = \angle PAN$$

ehk

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

See lihtne valem seob kolm suurust (δ , z ja φ) ning võimaldab leida igaüht 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 on maksev 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. 1. Kui kõrgel kulmineerub Tartus ($\varphi = 58^\circ 23'$) Kapella ($\delta = +45^\circ 55'$)?

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

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

2. Tallinnas ($\varphi = 59^{\circ}26'$) kulmineerub Siirius $13^{\circ}57'$ kõrgusel. Määrata Siiriuse δ .

$$z = 90^{\circ} - h = 90^{\circ} - 13^{\circ}57' = 76^{\circ}03'; \delta + z = \varphi;$$

$$\delta = \varphi - z = 59^{\circ}26' - 76^{\circ}03' = -16^{\circ}37'.$$

3. Määrata pooluse kõrgus Võrus, kui 22. juunil on Päikese ($\delta = +23^{\circ}30'$) ülem. kulminatsiooni kõrgus $h = 55^{\circ}39'$.

$$z = 90^{\circ} - h = 34^{\circ}21'; \varphi = \delta + z = 23^{\circ}30' + 34^{\circ}21' = 57^{\circ}51'.$$

1. Mõõda igal selgel päeval 7. joon. kujutatud riistaga Päikese kulminatsiooni kõrgus ja arvuta sellest Päikese δ ! Kuidas muutub δ päevast päeva?

2. Määra 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?

14. Täheaeg. Meie teame, et tähe öö-päevaks nimetatakse ajavahemikku, 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 mõõta aega, siis peame valima teatud momendi, millest antud kohas tähe öö-päevi lugema hakkame, s. o. null- ehk algusmomendi. Harilikke ehk nn. kodanlikke öö-päevi loeme keskööst, s. o. kl. 12 öösi. Tähe öö-päeva alguseks antud kohas võetakse kevadepunkti ülemise kulminatsiooni moment selles kohas. Siit järgneb, et täheaeg on ühesugune ainult kõigil neil kohtadel, mis asetsevad sama keskpäeva-joone (meridiaani) sihis, sest kõigil neil kohtadel on kevadepunkt samal momendil ülemises kulminatsioonis. Antud kohast ida pool algab tähe öö-päev varemini, lääne pool hiljemini, sest taevaskera pöörleb idast läände ja selle tõttu kulmineerub kevadepunkt idapoolsetes kohtades varemini kui läänepoolsetes.

Olgu näiteks praegusel momendil meil kevadepunkt ülemises kulminatsioonis, siis algab tähe öö-päev ja tähekell näitab 0^h . Üks tähetund hiljemini näitab tähekell muidugi 1^h ja kevadepunkt on pöördunud ühes taevaskeraga läänesuunas 15° võrra; 2 tähetunni pärast näitab tähekell 2^h ning taevaskera on pöördunud 30° võrra jne. Tähetunde loetakse tähe öö-päeva algusest (0^h) järjest 24 tun-

nini (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. (täpsamini 3^m 55^s) võrra ette käib. Muidugi on soovitatav, et tunniraag 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 maailmatelje ümber pöörduv. Selle numbrilaua raoks (osutiks) võime lugeda sirget, mis läheb läbi Põhjanaela, Kassiopeia β , Andromeda α ja Pegasuse γ , sest see suund läheb läbi kevadepunkti. Kui nimetatud sirgel asetsevad tähed (ühes nendega ka Υ) on ülemises kulminatsioonis, algab selles kohas tähe öö-päev. On nimetatud tähtedest läbiminev käändering pöördunud 15^o võrra lääne poole, näitab tähekell 1^h jne.

Täpsamaks täheaaja ümberarvutamiseks kodanlikuks ajaks tarvitatakse sellekohaseid tabeleid. Ligikaudseil peast arvutamistel võime tähetunni vältuse lugeda võrdseks kodanliku aja tunniga.

Mitu sekundit on tähetund lühem kodanlikust tunnist? Vasta sama küsimus minuti kohta!

15. Ligikaudne täheaaja määramine antud momendil. Ligikaudselt võime määrata täheaega antud momendil järgmiselt. Nagu juba teame, asetseb Päike kevadisel pööripäeval (21. märtsil) kevadepunktis. Järelikult kulmineeruvad 21. märtsil kevadepunkt 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 öö-päevast lühem 4^m võrra, siis kulmineerub järgmisel päeval, s. o. 22. märtsil, kevadepunkt 4 min. enne kl. 12 l. ja kl. 12 l. tähekell näitab juba 4 min. järgmisest tähe öö-päevast. Et tähekell iga kodanliku öö-päeva kohta ette läheb 4 min. võrra, siis võime iga kodanliku aja keskpäeva kohta kergesti kindlaks määrata vastava täheaaja järgmiselt:

21. märtsil kl. 12 l. on täheaeg	0 ^h
22. " " 12 " " "	0 ^h 4 ^m
23. " " 12 " " "	0 ^h 8 ^m
24. " " 12 " " "	0 ^h 12 ^m
— — — — —	— — — — —

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

21. okt. kl. 12 l. on täheaeg	14 ^h
5. nov. " 12 " " "	15 ^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

Tuleb harjuda kiiresti lahendama ligikaudse täheaja leidmist, mis vastab antud kodanliku aja momendile ja ümberpöördukt: kodanliku aja leidmist, mis vastab antud täheaja momendile.

Näitena leiame, missugune kodanlik aeg vastab 10. jaan. täheajale 16^h 46^m. Eespool-näidatud viisil määrame täheaja 10. jaan. kl. 12 l. [21. jaan. kl. 12 l. on täheaeg 20^h; 21. jaan. — 10. [jaan. = 11 päeva; 11·4 min. = 44 min.; 20^h — 44^m = 19^h 16^m.] Saame 19^h 16^m. Antud momendil aga on täheaeg 16^h 46^m, järelikult on antud moment 19^h 16^m — 16^h 46^m, s. o. 2^h 30^m enne kl. 12 l., tähendab, kodanlik kell näitab 12^h — 2^h 30^m ehk 9^h 30^m enne lõunat.

Täpsaks täheaja leidmiseks tuleb kasutada sellekohaseid tabeleid (Tähetorni kalender jne.).

1. Määrata täheaeg jaani-laupäeval kl. 11 õhtul!
2. Mis näitab kodanlik aeg jõulu esimesel pühal kl. 10^h 20^m täheaja järgi?
3. Määrata täheaeg 2. veebr. kl. 1¹/₂ homm.!
4. Mis näitas tähekell sinu sündimise momendil?
5. Mis näitab tähekell iga kuu esimesel päeval kl. 12 kohaliku aja järgi?
6. Mis näitab tähekell kohaliku aja järgi: a) 3. juunil kl. 7^h 30^m; b) 26. aug. kl. 14^h 17^m; c) 14. okt. kl. 19^h 45^m; d) 27. jaan. kl. 23^h 55^m?
7. Mis näitab keskmine kohaliku aja kell, kui täheaeg on: a) 3^h 42^m 5. augustil; b) 10^h 57^m 6. dets.; c) 17^h 15^m 28. veebr.?

16. Side täheaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsioonimomendil. Aegnurk. Olgu meil taevakeha T 10. joon. tähendatud asendis. Tema otsetõusu mõõdab $\widehat{TB}$, deklinatsiooni $\widehat{BT}$. Kaar $\widehat{BQE}$ mõõdab täheaga, mis on möödunud kevadepunkti eelmisest ülemisest kulminatsioonist, s. o. täheaga (t) praegusel momendil. $\widehat{BQE}$ mõõdab aega, mis on möödunud antud taevakeha (T) eelmisest ülemisest kulminatsioonist. Nimetame selle ajavahe-miku taevakeha T **aegnurgaks** (H) antud momendil. Joonisest saame:

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

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

$$t = \alpha, \quad (3)$$

s. o. tähe (üldse taevakeha) 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 õhtul aga $(12+6)^h 16^m$ ehk $18^h 16^m$. Järelikult kulmineeruvad kõik need tähed, mille otsetõus on $18^h 16^m$ (vaata 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?

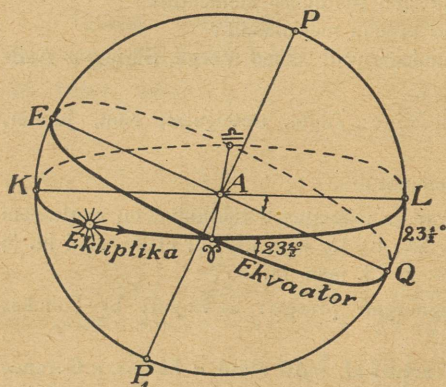
Leiame täheaja 30. aug. kl. 12 l. 21. aug. kl. 12 l. on täheaeg 10^h ; 30. aug. kl. 12 l. on täheaeg $10^h 36^m$. Võrreldes täheaga lõunal ($10^h 36^m$) Algoli otsetõusuga ($3^h 18^m$) näeme, et esimene on suurem viimasest $10^h 36^m - 3^h 18^m$, s. o. $7^h 18^m$ võrra. Tähendab, $7^h 18^m$ enne kl. 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^h30^m ; 10^h45^m ; 17^h20^m ; 22^h0^m ?
2. Missugused tähed kulmineerusid sinu sündimise momendil?
3. Missugused tähtkujud asetsevad praegu meridiaanil?
4. Missugune on täheaeg, kui kulmineeruvad tähed Veega, Siirius, α Andromedae?
5. Mis kella ajal kulmineerub täna Siirius, Algol, Beteigeise, Kuu, Jupiter, Veenus, Marss ja Saturn?
6. Millal kulmineerub täna kevadepunkt?
7. Missugused tähed kulmineeruvad ja missugused tähtkujud on meridiaani ligidal kohaliku aja järgi: a) 5. veebr. kl. 18; b) 15. aug. kl. 21; c) 26. mail kl. 3; d) 24. dets. kl. 22; e) 1. mail kl. 11^h45^m ; f) 23. jaan. kl. 23?
8. Leida järgmiste tähtede aegnurgad praegu: a) Riigel; b) Polluks; c) Arktur; d) Kapella.
9. Millal kulmineerub Tallinnas (Tartus) kl. $1\frac{1}{2}10$ öhtul α Leonis, α Coronae borealis?
10. Millisel päeval kulmineerub Kapella (Jõulutäht) kl. 8 öhtul kohaliku aja järgi?

III. Päikese näiv aastane liikumine.

17. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel (taevaskeral). **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 seisukohast tublisti ($\sim 13^\circ$) ida poole. Tähendab, Kuu ei seisa kinnistähtede suhtes paigal, vaid liigub kaunis kiiresti idasuunas. Terasemalt tähele pannes võime Kuu liikumist tähtede keskel märgata ka juba ühe tunni jooksul ($\sim \frac{1}{2}^\circ$). — Hele täht Arktur paistab öhtul septembris ja oktoobri alul madalas läänetaevas. Oktoobri lõpul kaob ta eavalgusse. Novembris aga võime Arkturit juba näha hommikuti koidu ajal. Seega on Päike tema suhtes nihkunud vasemale poole. — 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. Täpsamalt võime kindlaks teha Päikese liikumise taevaskeral koordinaatide määramise abil päevast päeva.

Selleks mõõdame iga päev kulminatsioonimomendil Päikese kõrguse (h) ja sellele momendile vastava täheaja (t). Neist



13. joon. Ekliptika.

andmeist arvutame (kuidas? v. §§ 13 ja 16) iga päeva kohta Päikese käände (δ) ja otsetõusu (α). Märgime nüüd Päikese igapäevsed seisukohad 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 $K\gamma L$ (13. joon.), mis lõikub ekvaatoriga (EQ) $23\frac{1}{2}^\circ$ nurgi. Päikese liikumine ekliptikal toimub vastupidises suunas taevaskera pöörlemise suunale (vastu päeva, läänest itta). Kevadisel pööripäeval (21. märtsil) asetseb Päike ekliptika ja ekvaatori lõikepunktis, nn. kevadepunktis (γ), jätkates sealt liikumist noole suunas. Tagasi kevadepunkti jõuab Päike järgmise aasta kevadiseks pööripäevaks (21. III).

✓ **18. Päikese koordinaatide muutumine.** 13. joon. põhjal on kerge jälgida Päikese koordinaatide muutumist aasta jooksul. 21. märtsil asetseb Päike kevadepunktis (γ); tema $\alpha = 0^h$ ja $\delta = 0^\circ$. Tee γL 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 $\cap$ (sügispunkt, 23. sept.) on Päikese $\alpha = 12^h$, $\delta = 0^\circ$ ja punktis K (22. dets.): $\alpha = 18^h$, $\delta = -23\frac{1}{2}^\circ$.

1. 13. joon. põhjal katsu jõuda selgusele, kas on Päikese koordinaatide suuruse muutumine ühtlane, s. o. võrdeline ajaga.

2. Millal muutub Päikese otsetõus kõige kiiremini ja mispärest? Millal kõige aeglasemalt? Vasta sama küsimus käände kohta!

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

4. Millal veereb Päike otse läänes ja tõuseb idas?

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

6. Missuguse joone moodustab Päikese aastane tee ümber maailma-telje?
 7. Joonesta taevaskeral ekvaator ja ekliptika ning tähistä Päikese ligikaudne asend 10. aug., 15. okt., 1. det., 5. veebr. ja 1. mail!
 8. Arvuta ligikaudu, millal on Päike järgmiste heledate tähtede ligi:
 a) Altair, b) Spica, c) Procyon, d) Beteigise.

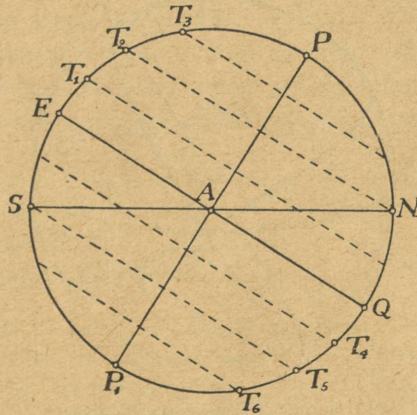
9. Missugused tähtkujud kulmineeruvad keskööl: a) täna; b) kuu aega varem ja kuu aega hiljem; c) kevadise (sügisese) öö ja päeva võrduse ajal; d) Päikese suvise (talvise) seisangu ajal?

10. Missugused tähtkujud kulmineeruvad Päikese tõusu ajal: a) 21. märtsil, b) 22. juunil; c) 23. sept.; d) 22. detsembril?

11. Millal Kapella (Siirius, Arktur) on ühenduses Päikesega (otsetõusud võrdsed)?

✓ **19. Päeva pikkuse olenevus Päikese deklinatsioonist.** Horisont lõikab suure ringina taeva-ekvaatori pooleks (14. joon.). Järelikult on kõik taevakehad, mis asetsevad ekvaatoril ($\delta = 0^\circ$), ööpäeval ümber maailma-telje pöörlemisel pool aega (12^h) horisondi kohal ja sama kaua (12^h) horisondi all. Siit järgneb Päikese kohta, et 21. märtsil ja 23. sept. on päev ja öö ühepikkused: siis on öö ja päeva võrdus (*aequinodium*).

Ka selgub 14. joonisest, et deklinatsiooni suurenedes pikeneb taevakeha horisondi kohal olemise aeg, deklinatsiooni vähenedes toimub vastupidine nähtus. Nii näiteks täht T_1 , mille kääne 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.



14. joon. Päeva pikkuse olenevus käänest.

Küsimust Päikese kohta otsustades näeme, et päev on seda pikem, mida suurem on Päikese deklinatsioon, ja ümberpöörduvalt. Järelikult on päev kõige pikem enne jaanipäeva (22. juunil), sest siis on δ maks., ja kõige lühem enne jõulu (22. det.), sest siis on δ miin.

Et Päikese δ ei muutu päevast päeva mitte samal määral, siis ei muutu ka päeva pikkus mitte ühtviisi. Enne jaanipäeva ja jõulu on Päikese tee (ekliptika) enam-vähem paralleelne ekvaatoriga, sellepärast muutub Päikese δ (kaugus ekvaatorist) 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 (14. joon.) horisondi SN suhtes?

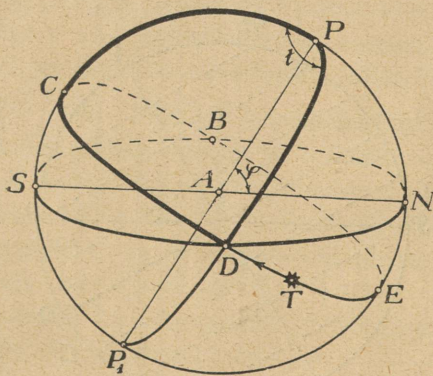
2. Millist tingimust peab rahuldama täht, et ta puudutaks horisonti ülemises (vst. alumises) kulminatsioonis?

3. Jälgi kalendris päeva pikkuse muutumist jaanipäeva ja jõulu, kevadise ja sügisese pööripäeva aegu! Nimeta muutuse suurus päevas minutites!

4. Rahva kalendri järgi „seisab“ Päike enne jaanipäeva ja jõulu 2 nädalat. Millega on see arvamus põhjendatud?

5. Millal muutub päeva pikkus kõige kiiremini, millal kõige aeglasemini?

6. Kas Päikese otsetõusu muutumine võib mõjustada päeva pikkust?



15. joon. Päevase kaare pikkus.

Näiteks, kui Päikese $\delta = 0$, siis $\cos t = -\tan \varphi \cdot \tan 0^\circ = -\tan \varphi \cdot 0 = 0$ ja $t = 90^\circ$;

järelikult päeva pikkus $= \frac{2 \cdot 90^\circ}{15^\circ} = 12$ (tundi).

1. Leia kõige suurem ja väiksem päeva pikkus Tallinnas ($\varphi = 59^\circ 26'$), Tartus ($\varphi = 58^\circ 23'$) ja oma kodukohas!

20. Päeva pikkuse arvutamine.

Tähistame t -ga taevakeha ööpäevase paralleelringi kaare suuruse kraadides horisondilt meridiaanini (15. joon. $\widehat{CD}$). Selle kaare (t) suurusest oleneb taevakeha horisondi kohal olemise aja vältus (nähtavus). Sfäärilise trigonomeetria abil võib tuletada kaare t leidmiseks järgmise valemi:

$$\cos t = -\tan \varphi \tan \delta, \dots (1)$$

kus φ on pooluse kõrgus antud kohas ja δ antud taevakeha deklinatsioon. Selle valemi abil on kerge leida iga taevakeha horisondi kohal asetseva ehk nn. päevase kaare pikkust, kui on antud δ .

2. Eritle valemi (1) põhjal t olenevust δ -st, kui $\varphi = \text{const.}$, ja φ -st, kui $\delta = \text{const.}$
3. Millal tõusevad ja loojavad täna Plejaadid (Kastor, Jupiter, Veenus)?

21. Zoodiagi tähtkujud. Pöörjooned. 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, Capre, Amphora, Pisces.

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

Umbes paar tuhat aastat tagasi, kui ekliptika mõiste tarvitusele võeti, asetses Päike kevadisel pööripäeval (21. märtsil) Jäära tähtkujus. Sealt siis ka kevadepunkti märk (γ) — jäära sarvede sümbol. Selle aja jooksul on kevadepunkt tublisti lääne poole nihkunud (põhjus — vaata pretsessioon) ja asetseb nüüd Kalade tähtkujus.

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

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

22. Ekliptikalised koordinaadid. Peale horisondiliste ja ekvaatoriliste koordinaatide tarvitatakse astronoomias sageli veel ekliptikalisi koordinaate. Taevakeha asendi määramine taevaskeral toimub siin ekliptika tasapinna suhtes. Deklinatsioonile vastab kaugus ekliptikast, mida nimet. astronoomiliseks laiusseks (β), ja otsetõusule vastab astronoomiline pikkus (λ), mis mõõdab kaugust kevadepunktist.

1. Missugused on (ligikaudu) Päikese ekliptikalised koordinaadid täna?
2. Jälgi Päikese ekliptikaliste koordinaatide muutumist aasta jooksul!
3. Taevakeha $\alpha = 6^h$ ja $\delta = +50^{\circ}$. Leia selle taevakeha ekliptikalised koordinaadid!

IV. Aja mõõtmine.

23. Täheaeg. Varemini (§ 9) nägime, et looduse poolt meile antud aja mõõtmise ühikuks on tähe öö-päev, s. o. ajavahemik, mille jooksul taevaskera teeb ühe täistiiru. Tähe öö-päev jagatakse 24 tähetunniks jne.

Hoolimata sellest, et tähe öö-päev ideaalselt konstantse ajavahemikuna meile kergesti kättesaadav, ei ole täheaeg siiski tarvitamist leidnud igapäevses (kodanlikus) elus. Mispärast?

24. Tõeline ja keskmine päikeseaeg. Meie elu töö- ja puhkusaeg on ligidalt seotud päeva ja ööga, mis tingitud Päikese ööpäevasest liikumisest, sellepärast on otstarbekohane võtta tarvitusele igapäevses elus päikeseaeg.

Nimetame **tõeliseks päikese öö-päevaks** ajavahemikku Päikese kahe teineteisele järgneva samanimelise kulminatsiooni vahel, s. o. näiteks ajavahemikku Päikese ül. kulminatsioonist järgmise ül. kulminatsioonini. Kahjuks ei ole kõik tõelised päikese öö-päevad võrdsed (põhjus: 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 öö-päevadest ühe aasta jooksul. Keskmine päikeseaeg ongi võetud tarvitusele igapäevses elus. Keskmine päikese öö-päev jagatakse 24 tunniks, tund 60 minutiks, minut 60 sekundiks.

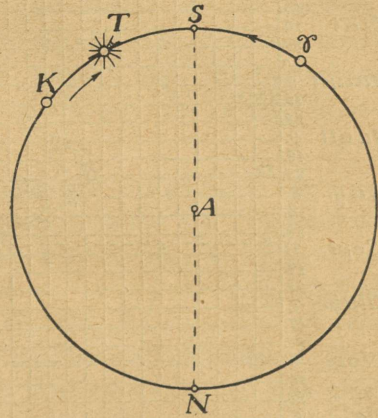
Päikese kulminatsioonist kõneldes mõeldakse alati Päikese ketta tsentri kulminatsioonimomenti.

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 päikesega Maale kõige lähemast punktist ehk nn. perigeest. Teine keskmine päike liigub ühtlaselt mööda ekvaatorit ja läheb samal momendil ühes esimese keskmise päikesega läbi kevadepunkti. Nii tõeline kui ka esimene ja teine keskmine päike tarvitavad sama palju aega taevaskeral ühe täistiiru tegemiseks. Teise keskmise päikese otsetõus võrdub alati esimese keskmise päikese pikkusega.

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

Astronoomid lugesid (varemini (kuni 1. jaan. 1925) öö-päeva alguseks teise keskmise päikese ülemise kulminatsiooni momenti, s. o. kl. 12 päeval. Mispärast? Seega algas astronoomiline öö-päev 12 tunni võrra hiljemini kodanlikust öö-päevast. Nüüdsel ajal loevad astronoomid öö-päeva alguseks sama momenti nagu kodanlikuski elus, s. o. kl. 12 öösi.

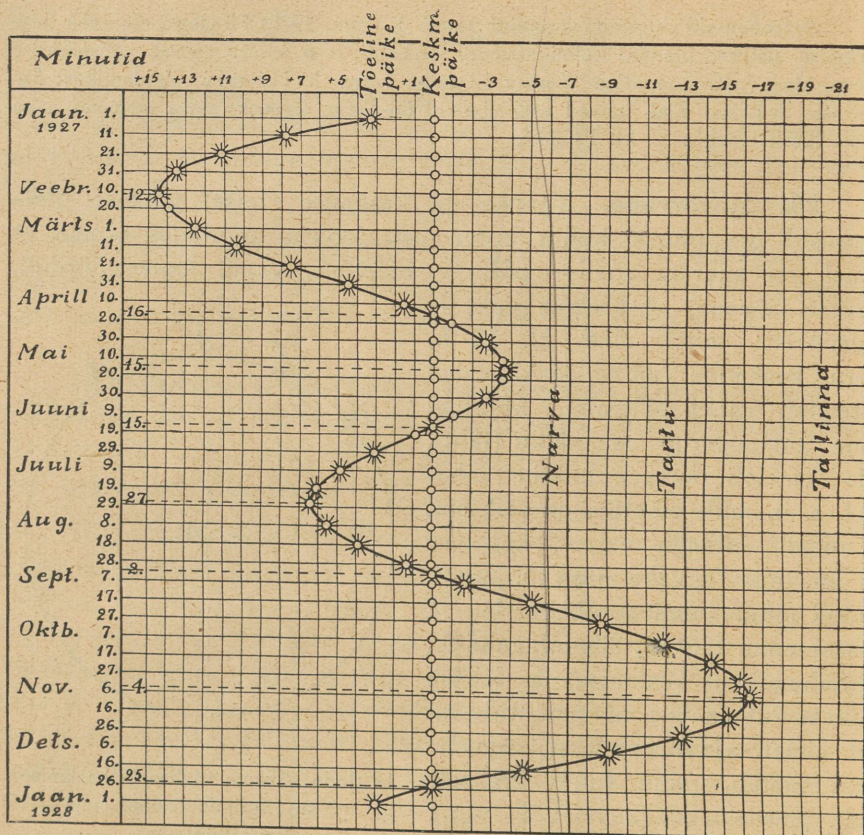
25. Ajavõrrand. Tõelise ja keskmise (teise) päikese otsetõusid iga päeva kohta kogu aasta jooksul arvutades näeme, et vahel on suurem tõelise päikese otsetõus, vahel ümberpöördukt. Sellest järgneb, et tõeline päike ei kulmineeru mitte alati kl. 12 l., nagu keskmine päike, vaid vahel varemini, vahel hiljemini. Muidugi enne kulmineerub see päike (täht), mis asetseb kevadepunktile lähemal, s. o. mille otsetõus on väiksem, ja nimelt niipalju varem, kui suur on otsetõusude vahe ajas (16. 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.



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

Järgnev graafik (17. 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 lõikepunktid!) 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, meil näiteks nn. Ida-Euroopa kellaeg, siis sellele vastavalt erineb ka tõelise päikese kulminatsioonimoment keskpäevast. Graafikul tõmmatud jämedad püstjooned näitavadki tõelise päikese kulminatsioonimomendi ja ametliku keskpäeva (kl. 12 Ida-Euroopa aja järgi) vahet Narvas, Tartus ja Tallinnas. Siit selgub, et näiteks Tallinnas tõeline päike ei kulmineeru kunagi kl. 12 lõunal, vaid hiljemini, 12. veebruaril koguni 35 min. Kuidas on lugu selles suhtes Tartus, Narvas, sinu kodukohas? Kui suur on tõelise päikese kulminatsioonimomentide maksimaalne vahe?

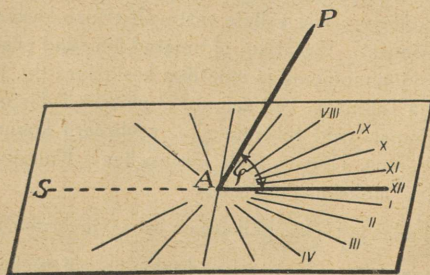
1. Kui suur on täna keskpäeval keskmise ja tõelise päikeseaja vahe (ajavõrrand)?
2. Kumb kulmineerub täna enne ja mitu minutit: kas keskmine või tõeline päike?



17. joon. Ajavõrrandi muutumise graafik.

3. Kust see tuleb, et sügisel (novembris) on hommikupoolik (Päikese tõusust kl. 12-ni) õhtupoolikust pikem, kevadel (veebruaries) aga ümberpöörduvalt?

4. Mis kuupäeval langeb kl. 12 lõunal püstipandud varva vari päikesepaistelt otse põhja poole?



18. joon. Päikese kell.

26. Päikese kell. Päikese kell kuulub vanemate ajamõõtmisriistade hulka. 18. joon. kujutab üht lihtsamat neist oma ehituse poolest. Rõhtsale tasapinnale on kinnitatud maailmatelje 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 Ida-Euroopa kellaaja vahet (§§ 25 ja 27).

1. Ehita enesele päikese kell nõnda, et varju heitev varb oleks asetatud püsti!
2. Nimeta mõned teised vanal ajal tuntud ajamõõtmis-riistad!

27. Kohalik ja ühtlusaeg. Meie 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 punktel on sama kohalik aeg. Et taevaskera pöörleb idast läände, siis on näiteks Tartu kohalik aeg Tallinna kohalikust ajast ees, Narva kohalikust ajast taga jne.

Praktilistel põhjustel, liiklemise hõlbustuse otstarbel, ei ole soovitatav, et iga koht võtaks tarvitusele oma kohaliku aja. Sellepärast on harilikult kogu riigis tarvitusel sama aeg, mis on kohalikuks ajaks ainult teatud kohal. Praegusel ajal on veelgi kaugemale mindud riikidevahelise liiklemise hõlbustamisel 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-ist $7\frac{1}{2}^{\circ}$ ida ja sama palju lääne poole (19. joon.). See on nn. Lääne-Euroopa kellaeg.

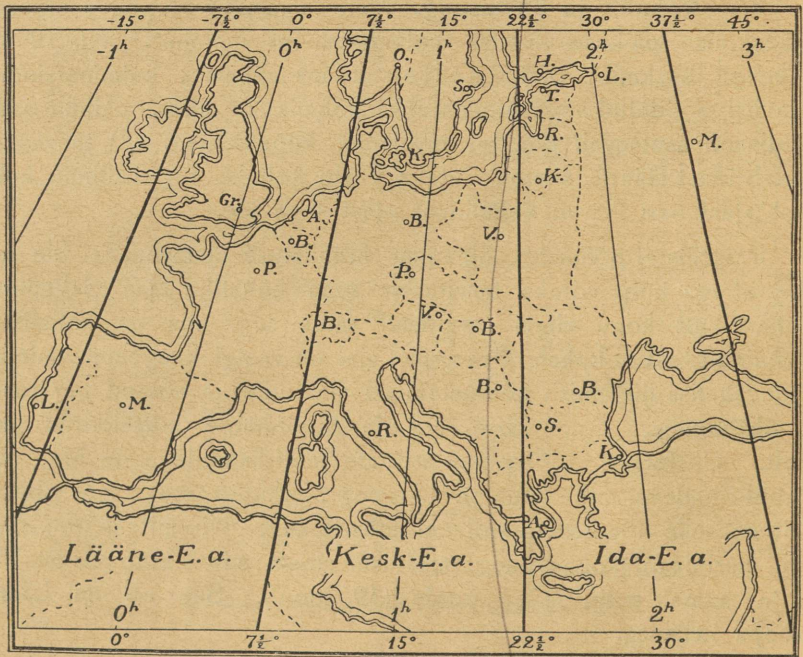
Järgmises ribas ida poole on maksev nn. Kesk-Euroopa kellaeg, mis on Greenwichi ajast 1^h võrra ees. Veel järgmises ribas on tarvitusel nn. Ida-Euroopa kellaeg, mis on Gr-i ajast 2^h ees jne.

Vabariigi Valitsuse määrusega 27. apr. 1921 on meil 1921. a. 1. maist alates kogu Vabariigis tarvitusel Ida-Euroopa kellaeg. Ta on Tartu kohalikust ajast 13 min., Tallinna kohalikust ajast 21 min. võrra ees (vaata 17. joon.).

Ida-Euroopa kellaeg on tarvitusel ka meie naabermais Soomes ja Lätis, kuna Rootsis, Leedus ja Poolas maksab Kesk-Euroopa aeg.

Daatumiraja. Kujutleme, et kaks maailmarändurit, Westman ja Eastman, väljusid reisule Londonist 15. okt. Esimene neist läks teele lääne-, teine idasuunas. Westman peab igale uuele ühtlusaaja 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 mõlemi ränduri kellaaegade vahe muutunud 24 tunni ehk terve ööpäeva 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 (Ameerikast Jaapanisse) üle sõites kuupäevade



19. joon. Ühtlusaegade ribad.

arvu 1 päeva võrra suurendada, idast lääne suunas üle sõites vastavalt 1 päeva võrra vähendada. Seel teel säilitatakse kokkukõla reisijate ja kohalikkude elanikkude kuupäevade vahel. Greenwichi vastasmeridiaani aga nimetatakse seetõttu daatumi rajaks.

Esimesil ümbermaailmarändureil (Magalhães) oli suuri sekeldusi daatumi raja mittearvestamise tõttu.

Missugustest maakohtadest kulgeb Greenwichi vastas- ehk antimeridiaan?

1. Nimeta hõlbustused ühtlus-aja tarvitamisel!
2. Leia, kui palju on Eesti ida- ja läänepoolseima punkti kohalik aeg Ida-Euroopa kellaaajast taga!

3. Eesti Vabariigi algupäevil tarvitati kõige esiti Helsingi, hiljemini Tallinna (Lasnamäe) kohalikku aega. Mispöolest ei olnud see otstarbekohane? Leia praeguse ja endiste aegade vahe!

4. Mis kuupäeval kulmineerub Londonis Veega kl. 9 õhtul Ida-Euroopa aja järgi?

5. Kui palju erineb meie kodumaa linnades kohalik aeg seaduslikust (l.-E.) ajast?

6. 19. joon. põhjal jälgi, missuguses ühtluse-aja ribas asetsevad tähtsamad Euroopa riigid.

28. Troopiline, sideeriline ja kodanlik aasta. Kalender. Ööpäevast suurem loomulik ajavahemik, mille järgi loodus ja inimene oma elu korraldab, on nn. **troopiline aasta**, s. o. ajavahemik Päikese kahe teineteisele järgneva kevadepunktist 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 ööpäeva ehk 365 p. 5 tundi 48 min. ja 46 sek. Et kevadepunkt ei püsi paigal, vaid Päikese liikumisele vähehaaval vastu nihkub (vaata pretsessiooni), siis jõuab Päike kevadepunkti enne kui ta on lõpetanud täie tiiru tähtede keskel. Ajavahemik, mille jooksul Päike teeb mööda ekliptikat tähtede keskel liikudes täistiiru (360°), nimet. Päikese **sideeriliseks** ehk **täheliseks aastaks**. Tema vältus on 365,2563 keskmist ööpäeva. Nagu näha, on sideeriline aasta troopilisest 0,0141 keskmise päeva ehk ~ 20 min. võrra pikem.

Igapäevses elus tarvitusel olev aasta, nn. **kodanlik aasta**, peab olema võimalikult kokkukõlas troopilise aastaga, kui looduse elu loomuliku perioodiga. Ka on praktilisel põhjusil tarvilik, et kodanliku aasta algus langeks ühte kodanliku ööpäeva algusega (kl. 12 öösi). Mispärast? Need praktilised nõuded teevad kodanliku aasta korraldamise kaunis raskeks. Kodanliku aja-arvamise ehk kalendri korraldamiseks on tehtud väga palju ettepanekuid, millest suuremal määral tarvitamist on leidnud kaks: Juuliuse ja Gregooriuse kalender.

29. Juuliuse ja Gregooriuse kalender. Troopiline aasta (365,2422) ei väljendu täpsalt keskmistes ööpäevades. Sellepärast tuleb kodanliku ehk kalendri-aasta pikkuseks võtta mõni ümmargune

arv, mis troopilise aasta pikkusele kaunis lähedal. Lahutame sel otstarbel troopilise aasta pikkuse päevades reaks järgmiselt:

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

Juuliuuse kalendri järgi on võetud kodanliku aasta pikkuseks saadud arendusrea kaks esimest liiget, s. o. $365\frac{1}{4}$ keskmist öö-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 Juuliuuse kalendris 3 aastat järgemööda 365-päevased ehk **liht-aastad**, kuna neljas aasta on 366-päevane ehk **lisapäeva-aasta**.

Juuliuuse kalendri pani maksma 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 lisapäeva-aastad 4., 8., 12. jne., s. o. kõik aastad, mille arv jagub neljaga. Saadud lihtsa juhise abil on alati kerge määrata, kas on antud aasta Juuliuuse kalendri järgi liht- või lisapäeva-aasta. Lisapäev lisatakse juurde veebruarikuu lõppu, millel on selle tõttu 29 päeva.

Juuliuuse kalender on väga lihtne, kuid vähe täppis. Nagu arendusreast näha, me ei arvestanud rea kolmandat liiget ($-\frac{3}{400}$), mis annab 400 aasta jooksul 3 päeva. Et kodanlik aasta troopilisest mitte ei erineks, tuleks Juuliuuse kalendrist iga 400 aasta kohta 3 päeva välja jätta. See parandus pandi maksma Rooma paavsti Gregorius XIII poolt a. 1582 ja on tuntud Gregooriuuse kalendri nime all. Vana viga parandati ära a. 1582, ja et edaspidi vigu ei koguneks, otsustati iga 400 a. kohta välja jätta Juuliuuse kalendrist 3 päeva järgmisel viisil. Vana vea äraparandamise tõttu võis Juuliuuse kalendrit õigeaks lugeda a. 1600 (täpsamini öieti a. 1582, mis aga 1600 vähe erineb). Et nüüd 400 aasta jooksul tuleb välja jätta 3 päeva, siis on muidugi otstarbekohane need väljajäetavad päevad 400 aasta kohta enam-vähem ühtlaselt ära jagada. Lihtsa reegli saamiseks otsustati välja jätta lisapäevad (366-es) neist täis-aastasadadest (1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300, 2500 jne.), kus sadade arv ei jagu neljaga, kuna need täis-

aastasajad (1600, 2000, 2400 jne.), kus sadade arv jagub neljaga, endiselt lisapäeva-aastaiks jäävad. Sellega saavutati enam-vähem ühtlane 3 päeva väljajätmine Juuliusse kalendrist iga 400 aasta kohta ja reegli lihtsus.

Lühidalt võime kõike eeleldut kokku võtta järgmiselt: Gregooriuse kalender on parandatud Juuliusse 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 Juuliusse kalendri järgi on lisapäeva-aastad. Kõigi teiste aastate päevade arv on Juuliusse ja Gregooriuse kalendri järgi ühesugune.

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

V. Maa pöörlemine telje ümber.

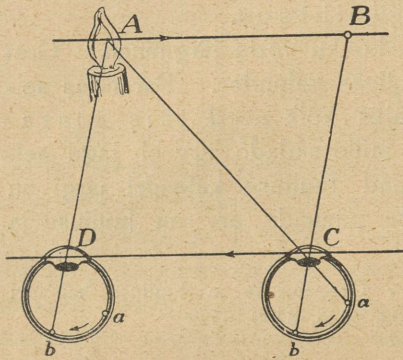
30. **Taevaskera pöörlemise seletamine.** Otseste vaatluste abil oleme loonud enestele kujutluse taevaskerast, millele on kinnistatud lõpmatu hulk tähti ja mida mööda liiguvad Päike, Kuu, planeedid ning teised taevakehad. Taevaskera ühes kõigi temal näha olevate taevakehadega ei püsi paigal, vaid pöörleb 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 — harituid ja harimatuid — ühtviisi valdab? Tunneme ju igapäevsest 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 asjade (majad, telegraafitulpad jne.) tähelepanemine vabastab meid sellest illusioonist.

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

2. Liikumisillusiooni näitena tee järgmine katse. Laua ääres istudes toeta käsi küünarnukis 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?

3. Too veel mõned illusiooni näited!

Liikumisillusioonid on kergesti võimalikud meie silma ehituse tõttu. Nagu 20. joon. näha, võib silm saada asjast (küünal) kahel

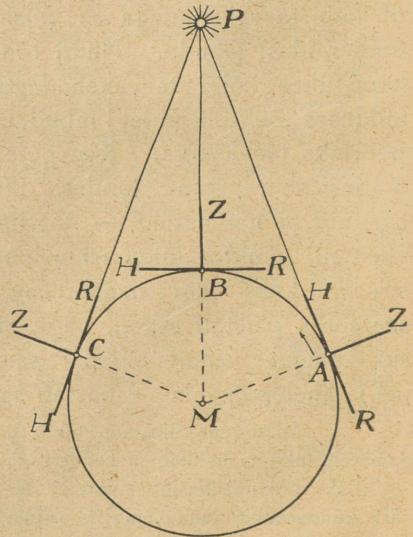


20. joon. Liikumisillusiooni tekkimine.

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 sama palju vastassuunas, s. o. C -st D -sse, kus $CD = AB$. On aga mõlemal juhul muutus silmas sama, siis ei ole meil ainult silma abil kuidagi võimalik otsustada, kumb liikumine oli silmas tekkinud kujutise liikumise põhjuseks. Tahame selgusele jõuda, siis tuleb otsustamiseks teisi nähtusi appi võtta.

Samuti on meil võimalik taevaskera pöörlemise illusiooni seletada Maa pöörlemisega enese telje ümber vastassuunas taevaskera pöörlemisele, s. o. läänest itta. Silm saab mõlemal juhul täitsa sama pildi. Nagu 21. joon. näha, saame Maa pöörlemise abil läänest itta kergesti seletada Päikese päevast teekonda taevavõlvil üle meie vaatepiiri, nii näiteks kohas A Päike tõuseb, kohas B — kulmineerub ja kohas C — loojab.

31. Üldised argumendid Maa pöörlemise kasuks. Juba üksikud vana Kreeka astronoomid (Aristarchos Samosest, III a. s. e. Kr., Seleukos, II a. s. e. Kr.) avaldasid arvamust, et taevaskera pöörlemist ümber maailma-telje võib seletada Maa pöörlemisega ümber enese telje. Kuid need mõtted ei suutnud leida pinda toleaja teadusmeeste laiemais ringkonnas ja jäid seetõttu unustusse.



21. joon. Taevaskera pöörlemise seletamine.

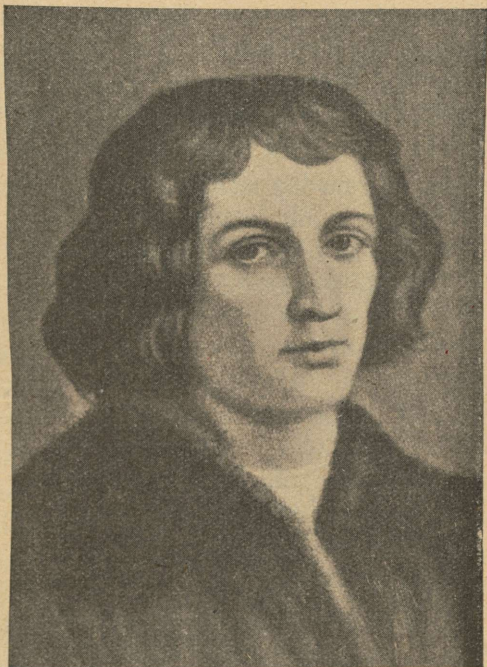
Alles uue aja alul tõi Kopernik (1473—1543) Maa pöörlemise õpetuse uuesti päevakorrale, seda lähemalt põhjendades.

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

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

2. Kõigi kinnistähtede pöörlemisperiood on ühepikkune, hoolimata mitmesugusest kaugusest maailmateljest. See oleks liiga kunstlik korraldus kauguse ja aja suhtes.

Nikolai Kopernik, poola astronoom, sündis 19. veebr. 1473. a. Thornis suurkaupmehe pojana. Õppis esiti Krakovi ülikoolis, pärast Itaalias Bologna, Padua 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, piiskopp Watzelrode ihuarstiks, pärast oma surmani (24. veebr. 1543) Frauenburgis toomhäraks (toomkiriku vaimulik). Pühendas kogu oma vaba aja täheteadusele. Tema elutöö „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ („Taevastähtede pöörlemisest“) ilmus trükist pisut aega enne ta surma.



Nikolai Kopernik.

3. Iga keha liikumisel mööda ringjoont peab olema tung, mis seda keha tema liikumisel hoiab ringjoonel, nn. kesktõmbe- ehk tsentripetaaltung. Selle tungi suurus ($f = \frac{4\pi^2 mR}{T^2}$) on võrdeline massi

ja raadiusega ning pöördvõrdeline perioodi ruuduga. Arvestades taevakehade kaugusi Maast peaksid olema mõjumas väga suured tungid, mis hoiavad taevakehi ringjoonelisel liikumisel. Nii, näiteks, kuluks Päikese massi iga kilo hoidmiseks ringjoonel ümber Maa liikumisel tung, mille tugevus oleks umbes 80 kilo, samuti peaks mõjuma iga kilo Siiriuse (kaugus Maast 8,8 valgusaastat) massi hoidmiseks tema liikumise teel umbes 50000 tonni suurune tung jne.

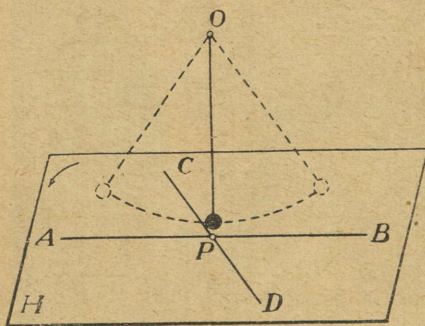
Kõik ülalnimetatud taevaskera pöörlemise seletamisel tekkinud raskused kaovad, kui asume seisukohale, et Maa ei püsi paigal, vaid pöörleb vurrisarnaselt enese telje ümber.

32. Maa pöörlemise tõestused. 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 hiljemini avastati looduses kui ka katselisel teel rida nähtusi, mis end ainult Maa pöörlemise abil lihtsasti seletada annavad ja seetõttu on tõestuseks, et Maa pöörleb. Toome siin mõned nn. Maa pöörlemise tõestustest.

33. Foucault' katse. Katse näitab, et vabalt võnkuval tasapendilil on omadus säilitada oma võnkumistasapinda ka siis, kui pendli niidi kinnituspunkt ruumis edasi nihkub või niit ühes pendli massiga on pandud keerlema. Tee see katse!

Tuginedes sellele pendli omadusele tegi prantsuse füüsik Fou-

cault (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



22. joon. Pendli võnkumine poolusel.

võnkumise algust võis panna tähele, et võnkumistasapind ei püsi paigal, vaid pöörduv päripäeva (lõunaots idast läände). Nähtust võime seletada ainult Maa pöörlemise abil läänest itta.

Oletame, et vaatleja asetseb põhjapoolusel ja pendel OP on

pandud võnkuma tasapinnas OAB (22. joon.). Kui Maa pöörleb läänest itta, siis peab pendel tükk aega hiljemini võnkuma juba näiteks tasapinnas OCD , sest horisonditasapind H ühes Maaga ei püsi mitte paigal, vaid pöörduv vastu päeva, kuna pendli võnkumise tasapind ruumis jääb endiseks.

Et Maa teeb ümber telje pöörlemisel ühe täistiiru ühe täheööpäeva (24^h) jooksul, siis pöörduv 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 pöörduv pendli tasapind 1 tunni jooksul $15^\circ \sin \varphi$.

1. Eritule valemist $\alpha = 15^\circ \sin \varphi$ laiuse φ muutudes 0° -st 90° -ni!

2. Leida α Tallinna, Tartu ja Pariisi jaoks!

Märkus. Foucault' katset võib teha ka päris lühikese (~ 2 m) pendliga klassiruumis. Vaata Zeitschr. f. den physik. u. chem. Unterricht, 1921, nr. 4.

34. Raskustungi kiirenduse vähenemine ekvaatori suunas.

Füüsikast teame, et tasapendli poolvõngu vältus

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

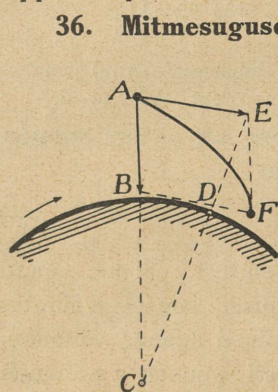
kus l on pendli pikkus ja g raskustungi kiirendus. Sama pendli ($l = \text{const.}$) perioodi t mitmesugusel geograafilisel laiusel määrates leiame, et ta ekvaatori suunas suureneb ja pooluse suunas väheneb. Sellest järeldame valemi (1) põhjal, et ekvaatori suunas g väheneb ja pooluse suunas suureneb (kuidas?). Nähtus leiab rahuldava seletuse, kui oletame, et Maa pöörleb, sest siis kulub osa iga keha raskustungist kesktõmbe-tungiks, mis hoiab seda keha ringjoonelisel liikumisel Maa telje ümber. Et aga sama perioodi juures (kõik Maa punktid pöörlevad sama perioodiga — 24^h) kesktõmbe-tungi suurus on võrdeline pöörlemise raadiusega, mis suureneb pooluselt ekvaatori poole, siis järelikult suureneb kesktõmbe-tung kehade pöörlemisel ümber Maa telje samuti ekvaatori suunas. Kehade raskusest kesktõmbe-tungi arvel ekvaatori lähedal rohkem lahutades kui pooluse lähedal, jääb loomulikult vähem järele. Sellest siis ka raskustungi väiksem kiirendus (g) ekvaatori lähedal ja võnkumisperioodi (t) pikenemine.

Esimesena pani tähele raskustungi kiirenduse (g) vähenemist ekvaatori lähedal prantsuse õpetlane Richer (loe: rišee) a. 1672. Ta sõitis uurimise otstarbel Pariisist Lõuna-Ameerikasse — Cayenne'i (5° p. l.). Täpsaks ajamõõtmiseks võttis Richer kaasa Pariisist pendelkella, mille iga löök võrdus sekundiga (sekundpendel).

Imelikul kombel jäi kell, mis Pariisis täiesti õigesti käis, Cayenne'is öö-päeva jooksul 2 min. 8 sek. taha. Tuli pendlit lühendada, et kell käiks õieti. Kuid Pariisi tagasi tulles hakkas kell ette käima.

Nähtusele andis õige seletuse kuulus Newton raskuse kiirenduse muutumise põhjal Maa pöörlemise tõttu. Peale selle oleneb raskustungi suuruse muutumine Maa pinnal veel Maa kujust ning masside jaotusest Maa sees (vt. § 45).

35. 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 (23. joon.) A -st B -sse, (torn) AB nihkub Maa pöörlemise tõttu ida poole seisu ED . Liites liikumised AE ja AB rööpküliliku reegli põhjal saame langeva keha lõppseisu punktis F , mis asetseb vertikaalsihist ED ida pool.



23. joon. Vabalt langev keha kaldub ida poole.

36. Mitmesugused nähtused, mis tõestavad Maa pöörlemist.

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

Maa kuju — lapik pooluste suunas — on sarnane pöörlevate kehade tasakaalu kujuga, järelikult peab Maa kui mitte praegu, siis vähemalt varemajal olema pöörenud.

Passaattuuled, mis puhuvad põhja-poolkeral kirde — edela, lõuna-poolkeral kagu-loode suunas, tekivad õhuvoolu kõrvalekaldumisest põhja-lõuna sihist Maa pöörlemise mõjul.

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

VI. Maa kuju ja suurus.

37. Maa on tasane ketas. Lagedal väljal enese ümber vaadates saame mulje, et Maa on tasane ketas, mille äärel 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. Seepärast on loomulik, et inimese esimeseks kujutelmaks Maast on tasane ketas.

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

✓ **38. Maa on kerakujuline.** Maa kerasust õpetasid esimestena püthaagorlased juba umbes 500 a. e. Kr. Nende arvates pidi Maa olema kerakujuline, sest kera on oma kujult kõigist kehadest kõige täielikum. Nagu näeme, ei olnud Maa kerasuse õpetuse aluseks esialgu mitte tähelepanekud loodusest, vaid puhtspekulatiivsed (teoreetilised) mõttekujutused. Püthaagorlaste algatatud õpetuse Maa kerasusest võtsid omaks pärastised suured kreeka mõttetargad Platon ja Aristoteles. Viimane toob oma töös „Taevast“ rea nähtusi, mis räägivad Maa kerasuse kasuks. Sellega oli küsimuse spekulatiivsest käsitlusest üle mindud loodusteaduslikule käsitlusele — vaatluste abil.

Meile tuttavad Maa kerasuse tõestused olid peaaegu kõik tuntud vana Kreeka teadusmeestele, seega siis üle 2000 a. vanad. Toome tähtsamad neist.

1. Laeva lähenedes kaldale näeme kõige esiti suitsu, siis masti otsi, korstnaid, laeva lage ja viimaks keret; laeva kaugenedes kaovad silmist laeva osad vastupidises järjekorras. See nähtus kordub Maa pinnal igal pool ja igas suunas, järelikult peab Maa pind olema igas suunas enam-vähem ühtviisi kumer.

a. Too veel mõned samalaadilised nähtused Maa kumeruse tõestuseks (mägi, kõrge torn, Päikese tõus jne.)!

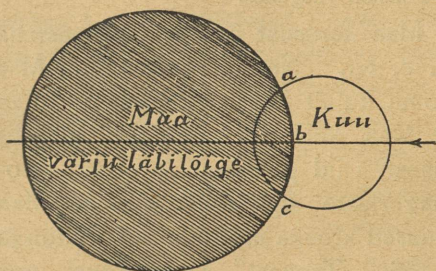
b. Kas võime järeldada neist nähtustest Maa kerasust?

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

a. Missugustel tingimustel annab silinder (koonus, ketas) koonusetaolise varju? Võrdle seda juhtu keraga!

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

39. Geograafilised koordinaadid. Nagu nägime, võime lugeda Maad esimeses ligikaudsuses kerakujuliseks. Seepärast võime antud koha asendi kindlaksmääramisel Maa pinnal tarvitada samasugust joonte ja pindade süsteemi, nagu seda tegime varemini asendi määramisel taevaskeral (§ 12). Kordame siin lühidalt juba geograafiast tuntud mõisteid (25. joon.).

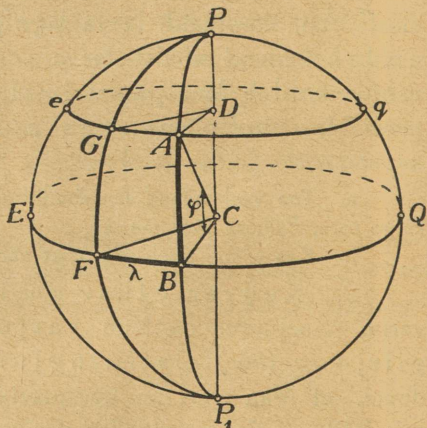


24. joon. Varju piirjoon on ringjooneline.

des Maa kui kerapinnaga annab ekvaatori-tasapind ekvaatorijooned. 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 meridiaanitasapind meridiaanijooned. Harilikult nimetame antud koha (A) meridiaaniks poolringi, mis ühendab poolused ja läheb läbi selle koha (PAP_1).

Antud koha (A) geograafiliseks laiuseks (φ) nimetatakse selle koha kaugust ekvaatorist ($\widehat{AB}$), mõõdetud antud kohast läbi minevat meridiaani mööda, kaaremõõttudes. Meridiaanikaare asemel võime geogr. laiuse mõõtmisel tarvitada ka vastavat kesknurka ($\angle ACB$). Laiust mõõdetakse ekvaatorist alates põhja- ja lõuna-

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). Lõiku-



25. joon. Geogr. koordinaadid.

suunas 0° -st (ekvaator) kuni 90° -ni (poolus). Vahetegemiseks tuleb iga kord ära tähendada, mis suunas on laius mõõdetud. Põhjalaius loetakse positiivseks (+), lõunalaius negatiivseks (—).

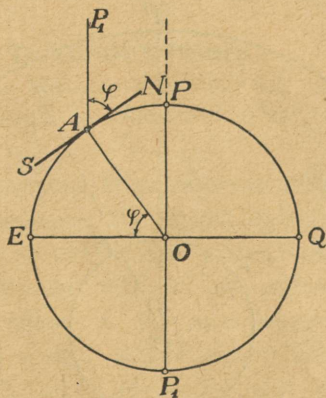
Geogr. pikkuseks (λ) nimet. antud koha (A) meridiaani kaugust nn. nullmeridiaanist, mõõdetud ekvaatori (BF) kaare abil. Muidugi võime kaare asemel tarvitada ka vastavat kesknurka ($\angle BCF$). Nullmeridiaaniks (PGP_1) võime võtta iga meridiaani. Otsustabekohasus nõuab, et kõik tarvitaksid sama nullmeridiaani.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

Sageli on kasulik väljendada kahe koha geograafiliste pikkuste vahe ajas (λ^h), mis näitab, palju aega kulub Maa pöördumiseks pikkuste vahele vastava nurga võrra. Nagu varemini (§ 12) nägime, vastab 1^h 15° -le, 2^h 30° -le jne.

1. Võrdle geograafilisi koordinaate ekvaatoriliste koordinaatidega!

2. Kuidas oleks võimalik mõõta geograafilist pikkust antud kohast läbi minevat rööbikut mööda?

✓ **40. Geograafilise laiuse määramine.** Maa pöörlemine telje ümber tekitab meis illusiooni, nagu pöörleks taevaskera ümber maailma-telje. Tähendab, maailma-telje siht ongi õieti maatelje siht. Asendi vahetamine maapinnal ei muuda meil maailma-telje sihti, sest maapinna punktide kaugus maateljest on niivõrt 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 (26. joon.) antud koha A geogr. laius $\varphi = \angle AOE$; maailma-telje siht AP_1 antud kohas moodustab horisondiga SN nurga P_1AN , mille nimetasime pooluse kõrguseks antud kohas. Et $AP_1 \parallel OP$, siis $\angle AOE = \angle P_1AN$, kui nurkad vastastikku risti külgedega ($AO \perp AN$ ja $EO \perp AP_1$; mispärast?).



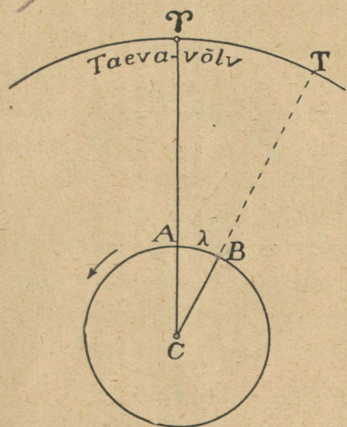
26. joon. Geogr. laius võrdub pooluse kõrgusega.

Järelikult antud koha geograafiline laius võrdub selle koha pooluse kõrgusega.

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

1. Kui kõrgel kulmineerub Jõulutäht (Kapella) Tallinnas ja Tartus? Missugusel laiusel kulmineerub ta seniidis?
2. Kui kõrgel kulmineerub Arktur Roomas?
3. Leia Päikese ülemise kulminatsiooni kõrgus Tallinnas (Tartus) suvisel ja talvisel pööripäeval!
4. Leia Päikese kõige suurem ja kõige väiksem kulminatsioonikõrgus Eestis!
5. Missugusel geogr. laiusel Päike täna ei looja (ei tõuse), vaid puutub vaatepiiri alumises (vst. ülemises) kulminatsioonis?
6. Kas on Tallinnas (üldse Eestis) näha täht, mille $\delta = -33^{\circ}15'$?
7. Missugused tähed Eestis ei looja üldse (ei tõuse)?
8. Kus asetseb Tartu ja Tallinna antipood?
9. Missugusel rööbikul kulmineerub seniidis Aldebaran ja Siirius?
10. Missugused tähed tõusevad Pariisis, kuid Londonis mitte?
11. Mitu korda aasta jooksul on Päike seniidis ekvaatoril?

41. Geograafilise pikkuse määramine. Olgu 27. joon. kujutatud Maa ja taevaskera läbilõige ekvaatori tasapinnal. Määrame, näiteks, ekvaatoril asetsevate punktide A ja B geogr. pikkuste vahe. Oletame, et antud momendil kulmineerub kevadepunkt (Υ) kohas A . Siis on selles kohas täheaeg 0^h . Olgu punkt B lääne pool punktist A 15° võrra. Siis kulmineerub kevadepunkt B -s 1^h hiljem, s. o. tähekell näitab sel momendil A -s 1^h , B -s 0^h ja kohalikkude täheaegade vahe on 1^h , mis vastab Maa pöördumisele 15° võrra. Sama arvuga võrdub ka antud kohtade geograafiliste pikkuste vahe.



27. joon. Geograafiliste pikkuste vahe.

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

Sama füüsilise momendi kindlaksmääramiseks on meil kasutada mitmesugused võimalused: telegraafi, raadio, telefoni signaalid, kuuvarjutuste algus- ning lõppmomendid jne. Ka on võimalik kronomeetri (täpsa kella) abil mõne koha, näiteks nullmeridiaani, aega, õigemini selle aja järgi käivat kella, kaasas kanda, kuna kohalik aeg tuleb määrata otseste vaatluste abil.

1. Mis näitab kohaliku aja kell praegu Greenwichis (New Yorkis, San Franciscos, Tokios, Kalkuttas, Moskvas, Berliinis, Roomas)?
2. Millal (I.-E. a.) ja kui kõrgel kulmineerub Kapella täna Viljandis?
3. Missugune täht kulmineerub Pärnus 10. nov. kl. 8 õhtul (I.-E. a.) $30^{\circ}15'$ kõrgusel?
4. Millal kulmineerub α Geminorum (Kastor) Rakveres kl. 7 õhtul (I.-E. a.)?
5. Kus kohal maapinnal kulmineerub täht, mille $\alpha = 6^h$ ja $\delta = 30^{\circ}$, 16. nov. kl. 10 õhtul (I.-E. a.) 60° kõrgusel?
6. Mis kuupäeval ja kui kõrgel on Kapella Tokios ülemises kulminatsioonis kl. 7 õhtul I.-E. aja järgi?
7. Leia Mustvee geogr. koordinaadid, kui 10. dets. Siirius kulmineerub Mustvees kl. $1^h 37^m$ I.-E. aja järgi $14^{\circ} 33'$ kõrgusel!
8. Missugune täht kulmineerub 15. jaan. $19^h 30^m$ I.-E. aja järgi Narvas $60^{\circ}15'$ kõrgusel?
9. Missugused tähed kulmineeruvad praegusel momendil kohal, mis asetseb Tartust 95° ida pool?
10. Kus kohal maapinnal on jõulu-laupäeval Kapella ülemises kulminatsioonis $73^{\circ}34'$ kõrgusel kl. $23^h 38^m$ Tartu kohaliku aja järgi?
11. Millal (I.-E. a.) ja kui kõrgel kulmineerub 15. okt. Algol Moskvas?
12. Kus kohas 30. sept. kl. 9 õhtul I.-E. aja järgi on täht α Tauri (Aldebaran) seniidis?
13. Kus kohas praegu on seniidis Päike (Kuu, Veenus, Jupiter)?
14. Taevagloobuse abil lahenda ligikaudu küsimused: a) Millal I.-E. aja järgi tõuseb täna Päike (Kuu) Londonis ja Tallinnas? b) Missugused tähed on praegu Pariisi (Melbourne'i) vaatepiiri kohal?

42. Maa suurus. Eratosthenese meetod Maa suuruse määramiseks. Nagu teame, oli vanal ajal esimeseks Maa kujutluseks tasane ketas. Sellele kujutlusele tuginedes 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 täiesti määratud, kui teame tema raadiust. Vaatame, kuidas on võimalik Maa raadiust mõõta. Kujutame läbi antud koha ja Maa keskpunkti tasapinna põhja — lõuna

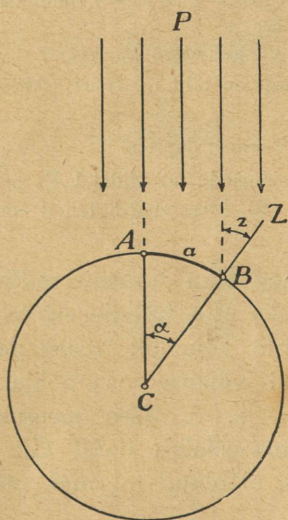
suunas. See tasapind annab lõikudes maapinnaga ringjoone, sest iga kera ja tasapinna lõikejoon on alati ringjoon. Olgu sellel ringjoonel võetud punkt A ja B vahel oleva kaare pikkus a , temale vastav kesknurk α ja raadius R . Geomeetriast teame, et sama ringjoone kaarte pikkused on võrdelised neile vastavate kesknurkadega. Kogu ringjoone pikkusele ($2\pi R$) vastab kesknurk 360° , kaarele a aga α° . Siit 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.).



28. joon. Eratosthenese meetod.

Eratosthenese meetod on järgmine. Oletades, et Aleksandria ja Süene (nüüdne Assuan Ülem-Egiptuses) asetsevad samal meridiaanil, määras Eratosthenes nende kohtade kauguse (suure ringi kaare a) ja sellele vastava kesknurga (α). Kauguse määramiseks tarvitas Eratosthenes karavanide liikumise põhjal saadud andmeid, mille järgi Süene kaugus Aleksandriast oli 5000 staadiumi. Kesknurga α määras Eratosthenes astronoomiliselt. Oli teada, et Süenes suvisel pööripäeval (22. juunil) paistab Päike keskpäeval seniidis, kuna samal ajal Aleksandrias on Päike seniidist $7^\circ 12'$ eemal. Nagu 28. 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:

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

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

Kahjuks ei ole seni suudetud päris kindlaks teha staadiumi pikkust, mis Eratosthenes oma Maa suuruse mõõtmisel tarvitas. Seetõttu pole ka võimalik hinnata Eratosthenese mõõtmise täpsust. Võttes staadiumi pikkuseks 300 egiptuse küünart ehk 157,5 m, saame Maa meridiaani pikkuseks Eratosthenese järgi $\sim 39\,700$ km, mis erineb ainult 300 km võrra selle tõelisest pikkusest (40 000 km).

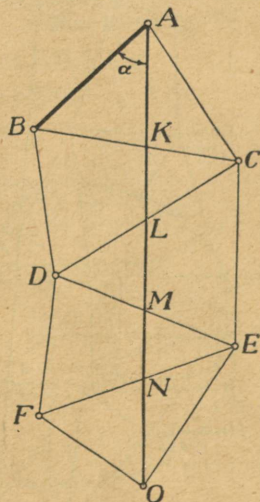
Kuigi E. nii täpsalt Maa meridiaani pikkuse oleks määranud, siis tuleks seda lugeda kahtlemata juhuseks, sest mõõtmisel saadud andmed nii suurt täpsust ei kindlusta. Meie teame nüüd, et Aleksandria ja Süene ei asetse samal meridiaanil, vaid viimane esimesest $\sim 3^\circ$ ida pool, ei ole ka nende geogr. laiuste vahe mitte $70^\circ 12'$, vaid $70^\circ 7'$. Muidugi kõige vähem täpsalt oli mõõdetud Aleksandria ja Süene vaheline kaugus.

Olgugi E. saadud arvud Maa suuruse kohta ekslikud, õige on siiski meetod, mis ta selle juures tarvitas. E. meetodit on tarvitanud kõik pärastised Maa suuruse määrajad meie päevini. Ka ei ole E. järeletulijad umbes 1800 aasta jooksul suutnud leida uusi teid tema poolt avastatud meetodi rakendamisel. Kuigi geogr. laiuste vahe mõõtmine toimus enam-vähem täpsalt, valmistas äravõitmatuid raskusi otsene meridiaani kaarepikkuse mõõtmine mööda maad suuremas ulatuses. Täpsamad resultaadid Maa suuruse kohta saadi alles siis, kui võeti tarvitusele uus nn. triangulatsiooni- ehk kolmnurkade meetod Maa meridiaani kaare mõõtmiseks.

43. Triangulatsiooni-meetod kaarepikkuse mõõtmisel maa-pinnal. Et maad mööda samas suunas pikema kauguse mõõtmist takistavad väga mitmesugused asjad (metsad, veekogud, mäed jne.), võttis hollandi õpetlane Villebrord Snellius (1580—1626) XVII sajandi alul selleks tarvitusele kolmnurkade omadusel põhineva kaudse mõõtmisviisi. See nn. triangulatsiooni-meetod (*triangulus* — kolmnurk) on järgmine.

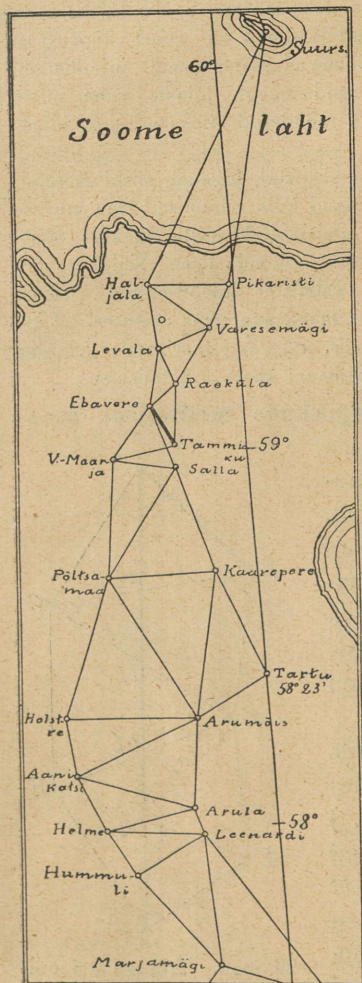
Olgu meil näiteks tarvis mõõta mööda maad kaare pikkus AO . Selleks valime mõlemal pool sihti AO punktid ($B, C, D, E, F, \dots$) nõnda, et igauhest oleksid näha kõik teised nii-öelda naaberpunktid, näiteks punktist D on näha punktid B, C, E ning F , jne. See asjaolu võimaldab igas punktis ära mõõta kõik nurgad, mis moodustavad vaatesuunad sellest punktist teistesse naaberpunktidesse.

Ühendades 29. joon. tähendatud viisil punktid sirgetega saame kolmnurkade võrgu ($\triangle ABC, BCD, CDE$ jne.), kus on teada



29. joon. Triangulatsiooni-võrk.

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*.



30. joon. Triangulatsioonivõrk Eestis.

Nagu näha, on pikkuse *AO* leidmiseks tarvis täpsalt 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. Selles õieti seisabki triangulatsioonimeetodi suurim väärtus. Ka on täppis nurkade mõõtmine palju kergem kui joonte mõõtmine.

Snellius rakendas oma meetodit esimesena meridiaani 1^o pikkuse määramiseks (1614—1616). Snelliuse mõõtmise tulemused ei olnud just väga täpsad. Pärast Snelliust on triangulatsioonimeetodit tarvitatud väga mitmel korral ja kohal Maa meridiaanikaare pikkuse mõõtmiseks. Suuremate triangulatsioonimõõtmiste hulka kuuluvad XVIII sajandi lõpul Prantsusmaal toimetatud meridiaanikaare mõõtmised meetermöödustiku rajamise otstarbel ja XIX sajandi esimesel poolel (1816—1855) Venemaal toimetatud meridiaanikaare mõõtmine 25°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 30. joon. näha. Ka oli selle suurema kraadmõõtmise algatajaks ja juhatajaks tolleaegne Tartu ülikooli täheteaduse-professor Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793—1864) (pilti vt. § 141).

44. 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^o-le vastav meridiaanikaare pikkus geogr. laiuse suurenedes, nagu juurde- lisatud tabelist näha (Clarke'i järele).

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

Siit järeneb, et Maa pole mitte päris kerakujuline, vaid pisut kokku surutud ehk lapik pöörlemistele sihis. Geomeetristest kujunditest vastab sellele Maa kujule kõige rohkem nn. pöördellipsoid, mille lühem ja ühtlasi pöörlemistele vastaks Maa teljele. 31. joonis kujutab tublisti liialdatud Maad pöördellipsoidina. Selle järgi oleksid kõik meridiaanid ellipsid, ekvaator ja rööbikud ringjooned. Praegusel ajal loetakse kõige täpsamaiks Maa ellipsoidi suuruse andmeiks Hayfordi omi (1906), mis 1911. a. täheteadlaste rahvusvahelise konverentsi poolt vastu võetud. Selle järgi on

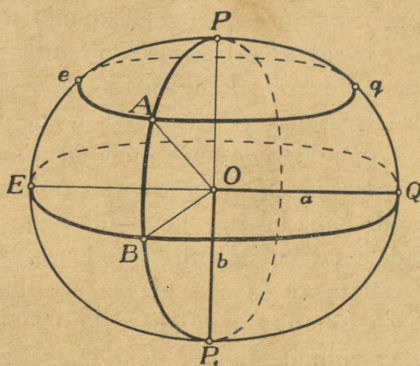
Maa ellipsoidi ekvaatoripooltelg $a = 6378,4$ km

„ „ poolusepooltelg $b = 6356,9$ „

Kera, mille suurus pind- ja ruumalalt 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 lapikuse (a) mõistet, mille all mõeldakse pooltelgede pikkuste vahe ($a - b$) suhet suurema poolteljega (a). Lapikus näitab, kuivõrt ellipsoid erineb kerakujust. Hayfordi andmete järgi on Maa lapikus



31. joon. Ellipsoid.

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. Arvuta ligikaudu Tartu laiusele vastava meridiaanikaare kõveruse raadius!
2. Joonista 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!
3. Võrdle pöördellipsoidi (Maad) apelsini (õuna) ja sidruniga!
4. Joonista paberile ellips, mille lühem telg on 10 cm ja mis vastaks Maa meridiaanile!
5. Kui suur on kera lapikus?

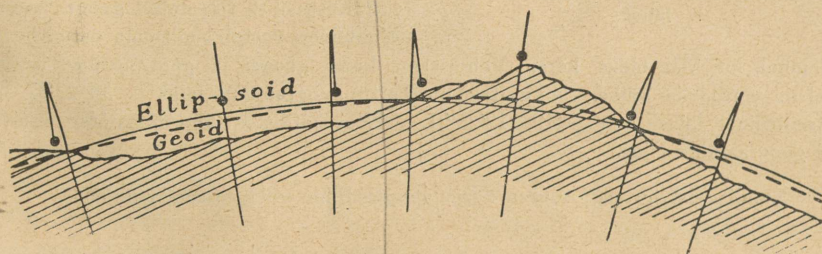
45. Maa tõeline kuju. Geoid. Kraadimõõtmiste korraldamine on seotud suurte ainelistel kulude ja teiste raskustega. Ka ei ole võimalik igal pool maapinnal, näiteks merel jne., kraadimõõtmist ette võtta. Seepärast tuleb ainult kraadimõõtmist arvestades otsustada Maa kui terviku kuju üle võrdlemisi väheste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

Viimasel ajal on hakatud kasutama Maa kuju uurimisel väga lihtsat riista, nimelt pendlit, mis ennast kergesti igal pool laseb rakendada. Nagu füüsikast teame, on pendli poolvõngu vältus pendli pikkusest ja Maa raskuse kiirendusest ($t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$). Pendli pikkus (l) ja poolvõngu vältus (t) lasevad end väga täpsalt mõõta, mida teades võime pendli valemi abil kergesti arvutada Maa raskuse kiirenduse (g). Gravitatsiooniseadusest teame, et raskuse kiirendus on kaugusest Maa keskpunktist (õigemini raskuspunktist). Tähen-dab, antud koha raskuse kiirenduse (g) suuruse põhjal võime otsus-tada selle koha kauguse üle Maa keskpunktist. Mis pendli tarvita-mise iseäranis 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 olema merepind ookeani keskel madalamal 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 mitte täiesti ei vasta 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

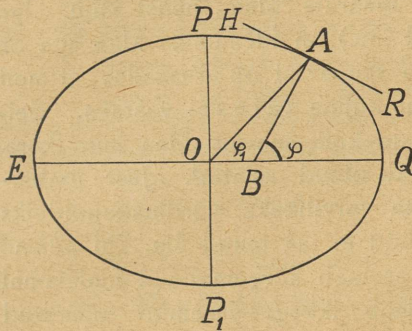
ta on olemas. Sellega tuleb üldse loobuda katsest leida lihtsat geomeetrilist kujundit, mis vastaks Maa tõelisele kujule, samuti ka võttest ainult kraadimõõtmiste abil määrata Maa tõelist kuju. Iga geomeetiline kujund (kera, ellipsoid jne.) on ideaalne, Maa aga on reaalne (individaalne) looduskeha ja 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 paratamata 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.



32. joon. Geoid.

Teame füüsikast, et vedeliku vaba pind on tasakaalu korral alati risti raskustungi suunaga. Suurem osa maapinnast on kaetud veega. Täheleb, ka merepind on igal pool risti raskustungi suunaga, sest muidu puuduks tasakaal. Kujutame nüüd, et mandril oleksid kaevatud igas suunas sügavad merepinna alla ulatuvad kanalid ja nad kõik on ühenduses ookeaniga. Veepind kanalis asetseb loomulikult mandri pinnast madalamal, ta on samuti risti raskustungiga ning merepinna otseseks jätkuks. Merepind ühes sel viisil saadud laiendusega mandri kohta 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 nivoopind. 32. joon. püüab selgitada geoidi ja ellipsoidi käiku. Nagu näha, asetseb geoidi mere kohal olev osa ellipsoidist madalamal, kuna mandri kohal on lugu ümberpöörduvalt. Geoidi pind samuti kui ellipsoidil on igal pool ainult ühtpidi kõver, nimelt nõgus Maa keskpunkti poole, sest vastasel korral võiks põhja-

poolsema koha geograafiline laius olla väiksem lõunapoolsema koha geograafilisest laiupest. Seda aga ei ole kuski leitud.



33. joon. Geograafiline ja geotsentriline laius.

Maa tõelise kuju erinevus kera-
kujust nõuab parandust ka varem-antud
geogr. laiuse definitsioonis. Et geogr.
laiuse määramine tegelikult toimub
seniidikauguse abil ja on järelikult seotud
raskustungi suunaga antud kohas,
seepärast defineeritaksegi üldiselt
geogr. laiust kui nurka (φ)
raskustungi suuna ja ekvaatoritasapinna vahel.

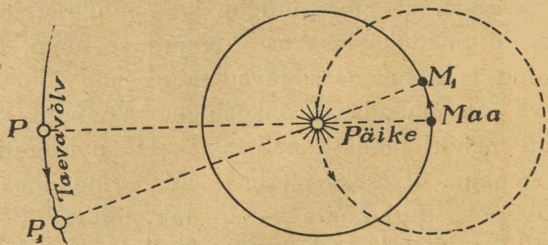
Ühendades antud koha (A) ellipsoidi pinnal ellipsoidi tsentriga (O), saame nn. geotsentrilise laiuse (φ_1). Eespool (§ 39) antud geogr. laiuse definitsioon vastab mõlemale definitsioonile

juhul, kui Maa oleks kera. Vahe sama koha geogr. ja geotsentrilise laiuse vahel on võrdlemisi väike. Nii näiteks on Tartu geograafiline laius $+58^\circ 22'47''$,² geotsentriline laius aga $+58^\circ 12'25''$,¹. Geograafilistes koordinaatides esineb alati geograafiline laius.

Kumb neist on alati suurem: kas geograafiline või geotsentriline laius?

VII. Maa tiirlemine ümber Päikese.

46. Päikese näiva aastase liikumise seletus. Nägime (§ 17), et Päike liigub taevaskeral tähtede keskel mööda nn. ekliptikat, tehes täisringi ühe aasta jooksul. Päikese mööda ekliptikat liikumist võime seletada oletades, et Maa (M) seisab paigal ja Päike (P) tiirleb ümber Maa (punktiirring) ning seetõttu paistab meile, et Päike liigub taevaskeral tähtede keskel. Kuid sama nähtuse võime ära seletada ka otse vastupidise oletuse abil, nimelt: Päike seisab paigal ja Maa tiirleb ümber Päikese ning meie, muutes Maa liikumisel enese asendit, näeme Päikest taevaskeral järjest uutes asendites. Nagu 34.



34. joon. Päikese näiv liikumine seletub Maa tiirlemisega.

Kuid sama nähtuse võime ära seletada ka otse vastupidise oletuse abil, nimelt: Päike seisab paigal ja Maa tiirleb ümber Päikese ning meie, muutes Maa liikumisel enese asendit, näeme Päikest taevaskeral järjest uutes asendites. Nagu 34.

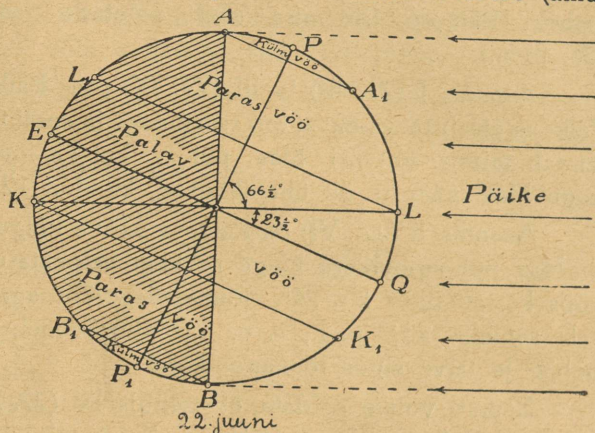
joonisest näha, on mõlemal juhul liikumissuund ühesugune. Esimest oletust tarvitasid vanaaja astronoomid (Ptolemaios), teise seletusviisi põhjendajaks oli Kopernik. Silmas pidades Päikese suurust (ainult

suur keha võib anda sel määral soojust ja valgust kui Päike), on küll loomulikum oletada, et väike Maa tiirleb ümber suure Päikese, mitte aga ümberpöörduvalt.

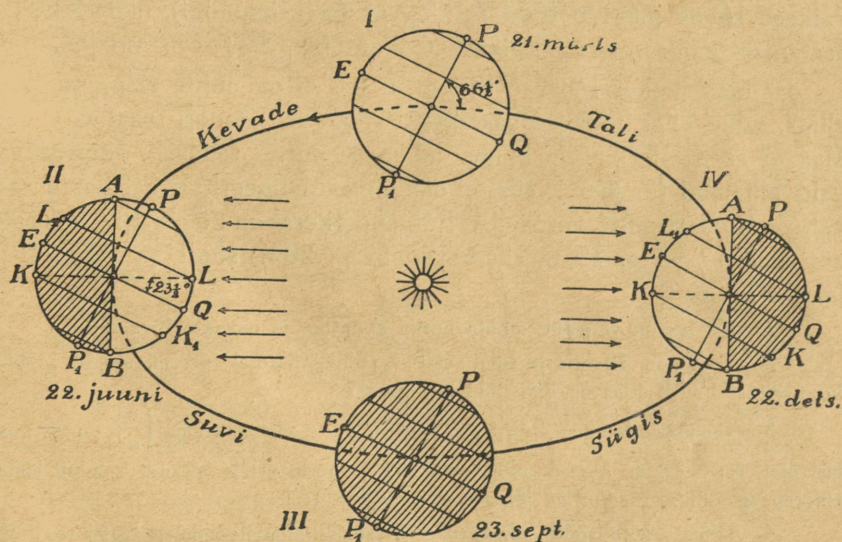
47. Aasta-

ajad. Taevaskera ööpäevase pöörlemise seletamisel nägime, et maailmatelje siht pole õieti 35. joon. Maa telg moodustab ekliptikaga nurga $66\frac{1}{2}^{\circ}$. muud midagi kui

Maa pöörlemistelje siht. Et aga maailma-telg oma sihti ruumis ei muuda (millest seda järeldame?), siis peab ka Maa telje siht Maa tiirlemisel ümber Päikese püsima kogu aja muutumata. Ekliptika



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



36. joon. Aastaegade tekkimine.

ehk Maa tee tasapind (KL) moodustab ekvaatoriga (EQ) nurga $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (35. 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 aastaaegade tekkimist (36. 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 ühtviisi 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 põhja-poolkera kõige rohkem valgustatud ning põhja-polaarvöös kestab päev üle 24^h , lõunapolaarvöös aga on öö. Päike asetseb seniidis $23\frac{1}{2}^{\circ}$ p. l., s. o. vähipöörijoonel. See on suve algus põhja- ja talve algus lõunapoolkeral.

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

Ilmade tähelepanek näitab, et kõige soojem ilm ei ole mitte siis, kui Päikese kulminatsioonikõrgus on kõige suurem, vaid umbes kuu aega hiljemini. Samuti on lugu ka kõige külmema ajaga. Aasta jagamisel nn. aastaaegadeks on võetud aluseks Päikese käände muutumine, nimelt: kevadeks nimetame aastaaega, mille jooksul Päikese kääne muutub 0° -st $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ni (maksimumini), suveks — aastaaega, mille jooksul Päikese δ muutub $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -st 0° -ni jne.

Et Maa ümber Päikese tiirlemise tee ei ole mitte 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.), siis ei ole ülemaldefineeritud aastaajad oma vältuse poolest mitte võrdsed. Põhjapoolkeral on kõige pikem aastaaeg suvi — 93 p. 15 t., siis kevad 92 p. 20 t., sügis — 89 p. 19 t. ja talv 89 p. 0 t.

1. Kuidas on võimalik mõõta nurka ekliptika ja ekvaatori vahel?
2. Palju on kevade ja suve vältus põhjapoolkeral pikem sügise ja talve koguvältusest? Kuidas on lugu lõunapoolkeral?

3. Joonista Maa tee õige kuju, teades, et ta ekstsentrisus $\left(\frac{c}{a}\right)$ on $\frac{1}{60}$; ühtlasi öieti ära märkida Maa asendid meie aastaaegade alul! Võrdle saadud ellipsit ringjoonega, mille raadius on lühema telje pikkus (b)!

4. Nimeta Maa vööde erinevusi Päikese kulminatsioonikõrguse suhtes! Arvuta Päikese kulminatsioonikõrgus pöörijoonel iga aastaja alul!

48. Kuu ja Päikese kaugus Maast. Taevakoordinaatide (otsetõus, kääne; asimuut, kõrgus) abil on meil võimalik ära määrata, mis suunas paistab antud taevakeha. Kuid vaatesuuna teadmine ei anna veel võimalust kindlaks määrata taevakeha asendit ruumis, sest samal vaatesuunal võib asetseda palju taevakehi.

Too samalaadilisi näiteid igapäevsest elust! Täpsaks taevakeha koha määramiseks ruumis tuleb teha kindlaks peale vaatesuuna veel taevakeha kaugus vaatlejast.

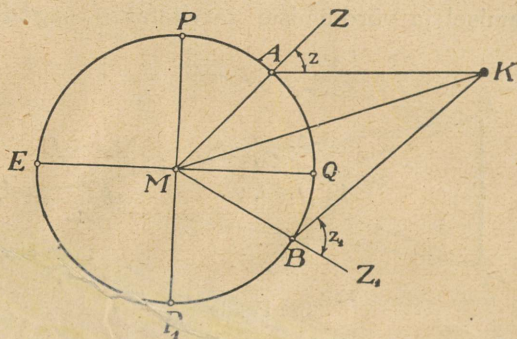
Maa kuju ja suuruse määramisel nägime, et otsese mõõtmise abil pole võimalik saada küllalt täpsaid andmeid Maa suuruse arvutamiseks. Selleks tuleb tarvitada kaudseid mõõtmisviise (triangulatsioon). On

selge, et taevakehade kauguse määramisel Maast ei või kõnetki olla otsest mõõtmisest (mõõtühiku mahutamisest mõõdetavasse pikkusse), vaid tuleb leppida ainult kaudsete mõõtmisviisidega.

Vaatame, kuidas oleks võimalik määrata meile kõige lähema taevakeha — Kuu — kaugust. Kaks vaatlejat, 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 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 384 400 km
Päikese „ „ „ „ 149 500 000 „



37. joon. Kuu kauguse määramine.

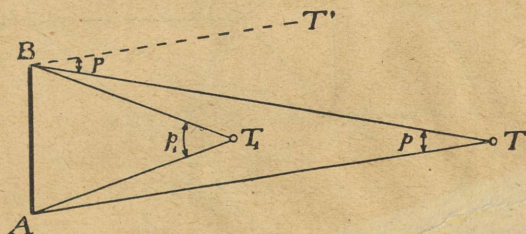
Päikese kaugus Maast võetakse ühikuks kauguste mõõtmisel päikesesüsteemis ja nimetatakse astronoomiliseks kauguseühikuks.

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)!

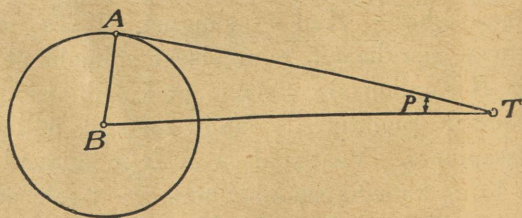
49. Kuu ja Päikese parallaks. Taevakehade kauguste määramisel ja võrdlemisel tarvitatakse sagedasti nn. **parallaksi**. Üldse



38. Parallaks.

nimetatakse parallaksiks nurka, mis näitab vaatesuuna kõrvalekaldumist üksteisest, kui sama keha (T) vaadeldakse kahest isesugusest seisukohast (A ja B). Nii näiteks (38. 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). Tõenda seda sõrme (pliatsit) silmadest kaugemale ja lähemale asetades ning iga kord parema ja vasema silmaga eraldi tähele pannes sõrme



39. joon. Horisondiline parallaks.

vaatesuuna nihkumist seinal. 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 kauguste määramisel ja võrdlemisel tarvitatakse sagedasti nn. horisondilist ekvaatorilist **parallaksi** (39. joon.),

s. o. nurka (p), mille all paistaks Maa ekvaatori raadius taevakeha (T) keskpunktist vaadatuna siis, kui taevakeha asetseks horisondi tasapinnas. 39. 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

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

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

Kuu keskm. ekv. hor. parallaks 57'

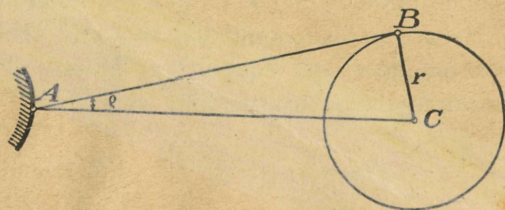
Päikese " " " " 8'',80.

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

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

Mis võime sellest järeldada Päikese ja Kuu võrdleva suuruse kohta?

Kuu (Päikese) raadiuse määramiseks tuleb mõõta nn. nurkraadius (40. joon.), s. o. nurk (ϱ), mille all paistab Kuu (Päikese) raadius



40. joon. Nurkraadius.

(BC, r) Maa pealt (A) vaadatuna. Täisnurksest $\triangle ABC$ saame:

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

kus AC on Kuu tsentri kaugus Maast. Mõõtmised näitavad, et Kuu keskmine nurkraadius on 15',8, Päikese oma aga 16'. Nende andmete abil võime valemist (1) kergesti arvutada Kuu ja Päikese raadiuse suuruse. 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. Katsuda mõõta 7. joon. kujutatud riistaga Kuu ja Päikese nurkraadius! Missuguste raskustega on siin tegemist?

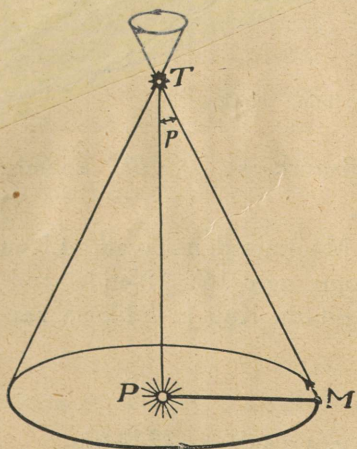
2. Võrrelda parallaksi definitsiooni nurkraadiuse omaga!

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

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

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

51. Tähtede aastane parallaks. Kopernikul ei olnud võimalik esitada Maa Päikese ümber tiirlemise tõenduseks ühtegi vaatlustel põhinevat tõestust, sest tolle aja mõõtmisriistad 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 muutumast nende suure kaugusega Maast, kus isegi 300 000 000-km-line edasinihkumine osutub liiga väikeseks.



41. joon. Tähe aastaparallaks.

Mõõtmisriistade ja vaatlusmeetodite täienemisega läks täheteadlastel korda XIX sajandi esimesel poolel kindlaks teha tähtede parallaktilist nihkumist ruumis Maa Päikese ümber tiirlemise mõjul. Tähe (T) aastaparallaksi all mõeldakse nurka (p), mille all paistab Maa tee raadius (PM) tähelt vaadatuna. 41. joon. kujutab juhtu, kus täht asetseb ekliptika pooluses.

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

$MP = MT \sin p$, millest

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

Esimesena määras tähe (61 Cygni) parallaksi Königsbergi tähetorni direktor Fr. W. Bessel a. 1838. Paar aastat hiljemini läks ka endisel Tartu tähetorni direktoril Fr. W. Struvel Pulkovos korda Veega (α Lyrae) parallaktilist nihkumist mõõta.

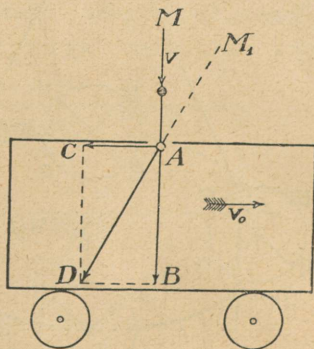
Üldse on tähtede parallaksid väga väikesed — alla $1''$, järelikult tähtede kaugused meist väga suured, nagu Kopernik ja ta õpetuse pooldajad arvasid. Kõige suurem senimõõdetud parallaks ($0''.75$) on tähel α Centauri, mis asetseb taeva lõunapoolkeral.

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

1. Määrata α Centauri kaugus Maast valguseaastais!

2. Võrrelda tähe aastaparallaksi Päikese ja Kuu ekvaat. hor. parallaksiga!

LV 52. Valguse aberratsioon. Teiseks kindlaks tõestuseks Koperniku õpetusele Maa tiirlemisest ümber Päikese on nn. valguse aberratsiooni nähtus (*aberratio* — kõrvalekaldumine). Selle nähtuse avastas täheteadlane Bradley a. 1726, otsides tähe (γ Draconis) aastaparallaksi. Valguse aberratsiooni nähtus ilmub esile valguse kiiruse ja Maa tiirlemise kiiruse liitmise järelalusena. Selgituseks toome lihtsa võrdluse (42. joon.). Oletame, et vagun liigub ühtlaselt noole suunas kiirusega v_0 ja mingisugune keha liigub ühtlaselt läbi vaguni lae kiirusega v risti vaguni liikumise suunaga. Oletame edasi, et t sek. jooksul keha jõuaks liikuda vaguni laest põrandani (tee AB); sama aja jooksul nihkuks aga vagun edasi AC võrra. Keha püüab inertsil mõjul püsida oma esialgsel liikumissuunal MA , seepärast paistab vagunisiljale, et keha liigub vaguni suhtes suunas AC , s. o. vaguni enese liikumisele vastassuunas. Kahe komponentliikumise (AB ja AC) liitmisest saame resultantliikumise AD , mille suund erineb keha esialgselt liikumis-suunast MA nurga BAD võrra. 42. joonisest selgub, et



42. joon. Liikumiste liitmine.

$$\tan \angle BAD = \frac{BD}{AB} = \frac{AC}{AB} = \frac{v_0 t}{v t} = \frac{v_0}{v} \quad (1)$$

Nii siis paistab vagunisolijale keha liikumissuund kõrvalenihutatuna esialgselt suunast nurga BAD võrra vaguni liikumise suunas (keha näib liikuvat suunas M_1D). Saadud valemist (1) selgub, et kõrvalenihkumine on seda suurem, mida suurem on vaguni kiirus keha enese kiiruse suhtes.

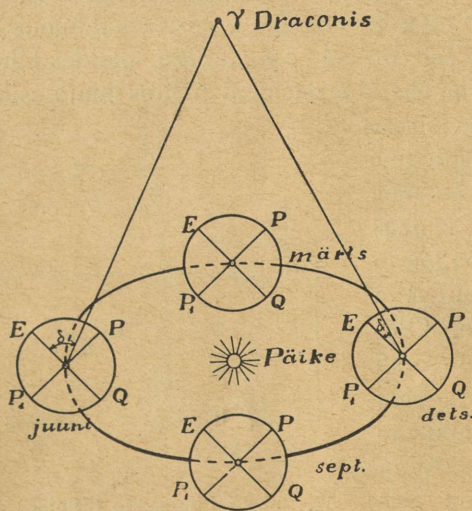
Too teisi samalaadilisi näiteid liikumissuuna näiva kõrvalekalandumise kohta (vihma langemine jne.)!

Elumiste juhtudega analoogiline on ka valguse kiiruse ja Maa tiirlemise kiiruse liitmine. Selle mõjul ei paista täht suunas, kus ta on tõepoolest (AM), vaid kaldub kõrvale Maa liikumise suunas (suund AM_1) teatud nurga võrra, mida nimet. aberratsiooninurgaks. Selle leidmiseks asetame valemis (1) v_0 asemele Maa tiirlemise kiiruse — $30 \frac{\text{km}}{\text{sek.}}$ ja v asemele valguse kiiruse — $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek.}}$

$$\text{Saame: } \tan \angle BAD = \frac{v_0}{v} = \frac{30}{300\,000} = \frac{1}{10\,000}$$

millest $\alpha = 20', 47$. Aberratsiooni mõjul näib täht alati kalduvat sinnapoole, kuhu Maa (vaatleja) liigub, kuna parallaktiline nihkumine on otse vastupidine vaatleja nihkumisele.

Tähe aastaparallaksi otsimisel valis Bradley uuritavaks täheks γ Draconis, mis asetseb ekliptika pooluse lähedal. Nagu 43. joon. näha, peaks γ Draconis käänne δ olema juunis suurem kui detsembris, kuna märtsis ja septembris peaks δ olema sama, nimelt juuni ja detsembri käände keskvaartus. Seniidikauguse määramiste abil (valemist $\delta + z = \varphi$ on $\delta = \varphi - z$) saadud vaatluse tulemused andsid Bradleyle aga



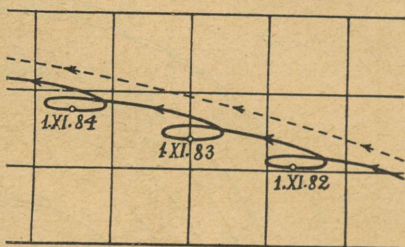
43. joon.

hoopis vastupidised resultaadid: juunis ja detsembris määratud δ väärtused olid samad, kuna septembri käänne oli märtsi käändest umbes $40''$ võrra suurem. Saadud resultaadid olid hoopis vastupidised oodatavale parallaktilisele nihkumisele; kuna parallaksi juures täht kaldub kõrvale Maa liikumisele vastassuunas, oli siin tähe nihkumine samasuunaline Maa liikumise suunaga. Esialgu ei suutnud Bradley avastatud nähtusele anda mingisugust seletust. Alles pärast pikka järelemõtlemist leidis Bradley (1728) uuele nähtusele õige seletuse.

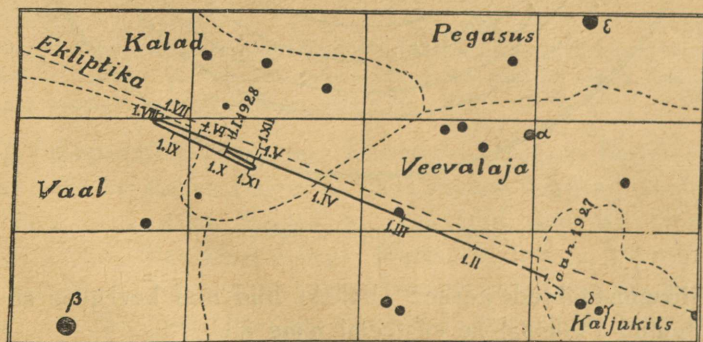
VIII. Planeetide liikumine ümber Päikese.

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

Tähele pannes rändtähtede liikumist kinnistähedde keskel näeme, et Merkur ja Veenus paistavad alati Päikese lähedal, s. o. mõni tund pärast Päikese loojangut või sama palju aega enne Päikese tõusu. Kõige suurem Merkur kaugus Päikesest on 28° , Veenusel 48° . Marss, Jupiter ja Saturn võivad paista Päikesest igasuguses kauguses, s. o. 0° -st kuni 180° -ni. Ka võib Merkur ja Veenuse liikumises iseärasuseks lugeda asjaolu, et nad liiguvad pendlitaoliselt Päikese kui tasakaalu-asendi suhtes: äärmisest läänepoolsest asendist äärmisse idapoolsesse ja tagasi, paistes seega kord Eha-, kord



44. joon. Saturni näiv liikumine 1882--1884.

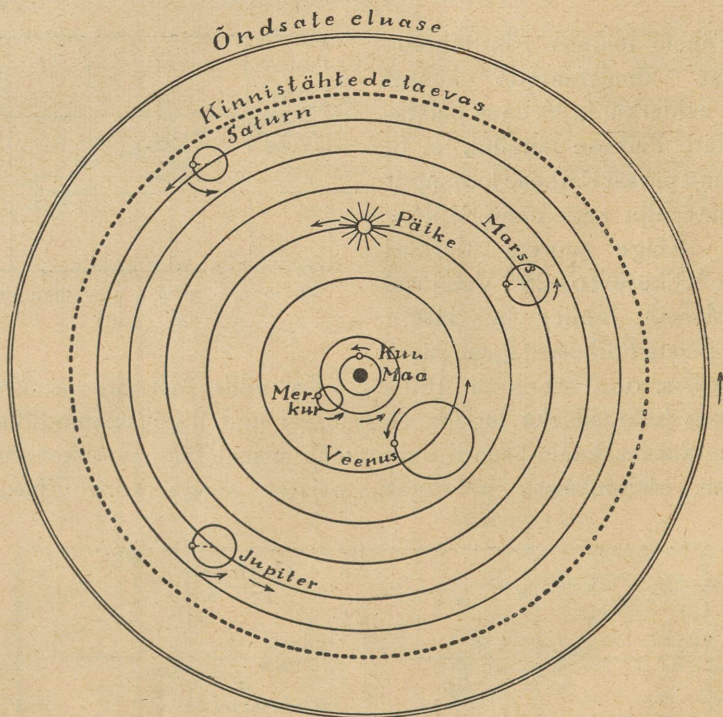


45. joon. Jupitri näiv liikumine 1. jaan. 1927 — 1. jaan. 1928.

Koidutähena. 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. silmused, nagu 44. ja 45. joon. näha. Mõne

aja pärast peatuvad nad oma vastupidises liikumises ja algavad uuesti liikumist päripidi.

54. Ptolemaiose süsteem. Kinnistähedte ööpäevast liikumist ümber Maa võib lihtsalt seletada taevaskera kui terviku pöörlemise abil ümber maailma-telje. See seletusviis püsis vanast ajast Koperniku päevini. Raskem oli vanaaja astronoomidel seletada pla-



46. joon. Ptolemaiose süsteem.

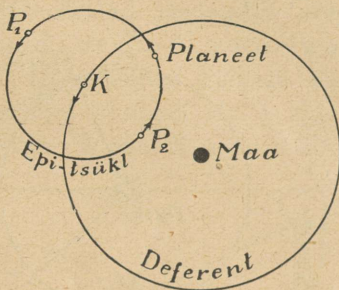
neetide liikumist tähtede keskel. Selleks löid nad keerulise süsteemi, mis on tuntud Ptolemaiose süsteemi nime all.

Klaudius Ptolemaios oli kreeka astronoom, sünd. umbes 140. a. p. Kr. Oma astronoomilised vaated Ptolemaios avaldas töös *μεγάλη σύνταξις* (Megale Süntaksis — Suur Kokkuvõte), mis hiljemini tuntud araablaste antud *Almagesti* nime all. Siin leiame kokkuvõtte vanaaja astronoomilistest vaadetest ja teadmistest.

Ptolemaiose järgi oli Maailma ehitus järgmine (46. joon.): Maa- ilma 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 kinnistähed taevas ja sellest veel eemal õndsate eluase.

Suuri raskusi sünnitas Ptolemaiosele planeetide vastupidiste liikumiste seletamine. Sellest saadi üle nn. epitsükli abil järgmisel viisil (47. joon.). Oletati, et planeet (P) ei liigu ümber Maa mitte mööda ringjoont, vaid mööda nn. epitsükli (väikest ringjoont), mille tsenter K liigub mööda orbiiti. Liites planeedi liikumise mööda epitsükli viimase tsentri 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.



47. joon. Epitsükl ja deferent.

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

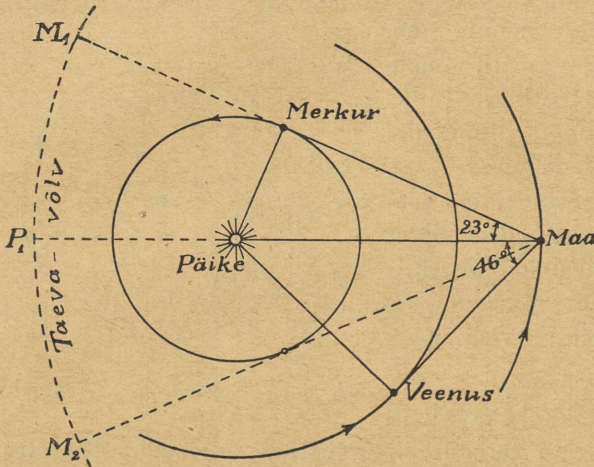
46. joonis kujutab planeetide liikumisteid ümber Päikese Ptolemaiose süsteemis. Mispoolet on Merkuri ja Veenuse deferentide asetus joonisel ekslik, kui arvestada nende kahe planeedi asendit Päikese suhtes?

55. Koperniku süsteem. Koperniku 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 kauguses Päikesest asetsevad kinnistähed. See nn. Koperniku süsteem (vt. 78. 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?

56. Siseplaneedid. Nimetame Merkuri ja Veenuse siseplaneetideks, sest nende teed asetsevad seespool Maa teed. Välisplaneetide hulka kuuluvad Marss, Jupiter ja Saturn. Nagu

48. joon. näha, on siseplaneetide pendlisarnane liikumine Päikese kui tasakaalu-asendi suhtes kergesti seletatav, projektides Maa pealt Merkuri ja Veenuse liikumisel nende asendid taevavõlvile. Samuti ei ole raske 48. joon. põhjal leida siseplaneetide võrdlevad kaugused Päikeselt, oletades, et Maa kaugus Päikeselt on võetud ühikuks.

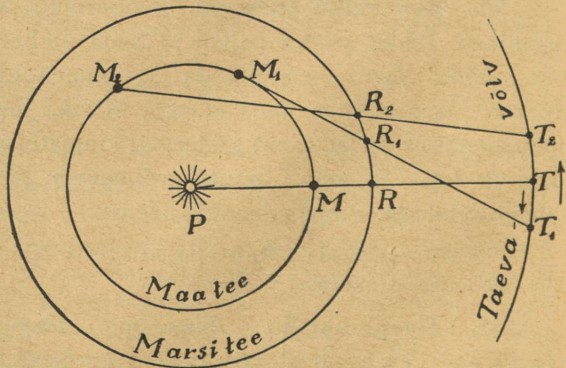


48. joon. Siseplaneetide liikumine.

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 Päikeselt on $\sin 23^\circ$ ehk 0,4.

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

57. Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletamine. Ptolemaiose süsteemis oli üheks raskemaks küsimuseks välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletamine. Koperniku süsteemi järgi toimub see väga lihtsalt. 49. joon. on kujutatud Maa ja Marsi tee ning taevavõlvi läbilõige. Asetsegu Päike (P), Maa (M) ja Marss (R) vaatluse alul samal sihil. Selles nn. vastasseisus paistab Marss taevavõlvil asendis T . Kui Maa on jõudnud asendisse M_1 , siis on selle aja jooksul Marss jõudnud



49. joon. Vastupidiste liikumiste seletamine.

58. Planeetide sideerilised ja sünoodilised perioodid ning nende määramine. Nimetame planeedi sideeriliseks perioodiks ajavahemikku, mille jooksul planeet teeb ümber Päikese ühe täistiiru (360°), s. o. planeet paistab sideerilise perioodi alul ja lõpul Päikeselt vaadatuna sama kinnistähe suunas. Planeedi sünoodiliseks perioodiks nimetame ajavahemikku Päikese, Maa ja planeedi mõnesugusest vastastikusest asendist, näiteks Maa asetseb otse Päikese ja planeedi vahel (vastasseis), kuni järgmise samasuguse nähteni (faasini).

50. joon.

Olgu Maa sideeriline periood (aasta) M_0 , planeedil (J) J_0 ; planeedi sünoodiline periood olgu S . Nagu 50. joon. näha, pöördub nurga

Et pöördumisnurgad on võrdelised ajaga, siis järgneb:

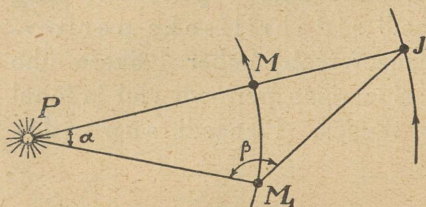
$$J_0 = \frac{SM_0}{S - M_0}.$$

Saadud valemi põhjal on lihtne arvutada välisplaneedi sideerilist perioodi sünoodilise põhjal.

Näidata, et siseplaneedi sideeriline periood J_0 väljendub valemiga

$$J_0 = \frac{SM_0}{S + M_0}!$$

59. Välisplaneetide kauguse määramine. Olgu planeet J vaatluse alul Maaga M vastasseisus. Planeedi sideerilise perioodi järele olgu Maa asendis M_1 , planeet on siis jällegi asendis J . Mispärast? Mõõdame otsese vaatluse abil nurga PM_1J ehk β . Nurga α arvutame J sideerilise perioodi abil. Kui näiteks J sideeriline periood on 11 Maa sid. aastat 315 päeva, siis kulub Maal oma tee kaare M_1M käimiseks $365 - 315$ ehk 50 päeva. Järelikult α on nurk, mille võrra pöörduv Maa tee raadius (PM_1) 50 päeva jooksul, s. o.



51. joon.

$$\alpha = \frac{360 \cdot 50}{365} \text{ ehk } \sim 49^\circ.$$

Teades nurki α ja β ei ole raske $\triangle PJM_1$ -st arvutada PJ pikust PM_1 suhtes. — Sama meetod kõlbab ka siis, kui võtta vaatluste aluseks Maa sideeriline periood.

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

Esimene seadus: Planeetide liikumisetee 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. Kõikide planeetide liikumisteed asetsevad enam-vähem samas (ekliptika) tasapinnas.

Mis võime järeldada Kepleri I seadusest planeedi kauguse kohta Päikeselt?

Teine seadus: Planeetide raadius-vektorid moodustavad liikumisel pindalad, mis on võrdelised nende liikumise ajaga.

Olgu näiteks (52. joon.) raadius-vektori poolt moodustatud pindalad $s_1, s_2, s_3, \dots$ ja neile vastavad raadius-vektori 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 raadius-vektorid võrdsed pindalad.

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

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

Kolmas seadus: Planeetide tiirlemisperioodide ruudud suhtuvad nagu nende keskmistekauguste kuubid.



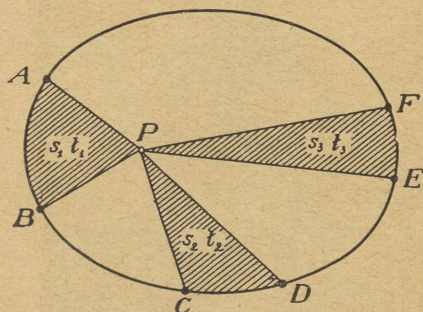
J. Kepler.

Johannes Kepler sündis 27. dets. 1571 Württembergis kehvast luteri usku perekonnas. Kehaliselt nõrk, kannatas ta noorelt rohkesti haiguste käes. Sagedad vanemate elukoha vahetused takistasid kooliskäimist. Erakordselt andekana lõpetas ta juba 20-aastaselt ülikooli teoloogiamagistrina. Kuid Keplerist ei saanud siiski teoloog. Koperniku uus õpetus, astronoomia ja matemaatika veetlesid teda enam. Matemaatikaõpetaja koolides, õueastronoom keiser Rudolf II juures, alguses Tycho-Brahe abilisena, hiljemini iseseisvalt, ennustaja (horoskoobi seadja) väepealik Wallensteini juures, vahel taga aetud ja põgenemas usu pärast, vahel rändamas ühest kohast teise majanduslikkude ja perekondlikkude raskuste pärast — vaevaline ja kannatusrikas oli Kepleri elu. Ta suri 15. nov. 1630. Kepleri töödest on tähtsamad temanimelised 3 seadust, tööd optikast (valguse murdumisest, pikksilmade ehitusest), tööd matemaatikast ja planeetide tabelid.

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 (sideerilised perioodid) 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 meeldejäämiseks on kasulik silmas pidada, et „keskmiste kauguste kuubid“ — siin algavad kõik sõnad „k“ tähega, kuna „tiirlemisperioodid“ — „t“ tähega.



52. joon.

Kepleri kolmas seadus on maksev 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 sideeriline periood on ~ 12 a. Leida Jupiteri keskmine kaugus Päikeselt, kui Maa kaugus võtta ühikuks.

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 sideeriline periood aastais, teades, et keskm. kaugus Päikeselt on 0,7 astron. ühikut!
2. Leida Marsi keskmine kaugus Päikeselt, kui Marsi sid. periood on 687 keskm. päeva!
3. Kasutades Kepleri 3. seadust näidata, et planeetide liikumise joonkiirused on pöördivõrdelised ruutjuurega nende kaugusest Päikesest! Võttes Mercuri joonkiiruse ühikuks, arvutada teiste planeetide joonkiirused ja kujutada nende suuruse muutumine graafiliselt!

IX. Kuu tiirlemine ümber Maa.

61. Üldine iseloomustus. Kuu on meie lähem naaber maa-maruumis. Ta tiirleb ümber Maa keskmiselt 384 400 km ehk 60 Maa

raadiuse kaugusel. Kuu läbimõõt paistab meile keskmiselt nurgi 31'. Sellest arvutasime, et Kuu raadius võrdub 0,27 (ligi $\frac{1}{4}$) Maa raadiusega. Siit leiame edasi, et Kuu ruumala on ~ 50 (õigemini 49) korda Maa omast väiksem. Väiksusest hoolimata on Kuu meile peale Päikese siiski tähtsam taevakeha ja nimelt oma läheduse tõttu. Meid huvitab Kuu oma mitmesuguste nähetega (faasid) ja valgusega, mida ta meile saadab. Ka on päikese- ja kuuvarjutused tingitud Kuu liikumisest ümber Maa, samuti annab tõusu ja mõõna tekkimisel eeskätt tunda Kuu mõju.

62. Kuu tiirlemine ümber Maa. Vaatlusest (§ 17) teame, et Kuu ei püsi tähtede keskel paigal, vaid liigub läänest itta sarnaselt Päikesega. See Kuu nn. omaliikumine on sedavõrt kiire, et teda palja silmaga juba ühe tunni jooksul võib tähele panna ($\sim \frac{1}{2}^\circ$). Kuu omaliikumise seletamiseks oletatakse nii Ptolemaiose kui ka Koperniku süsteemi järgi, et Kuu tiirleb ümber Maa vastupäeva-suunas. Me projektime Kuu asendid taevavõlvile ja seetõttu paistab meile, et Kuu liigub tähtede keskel läänest itta.

Vaatlused näitavad, et Kuu liigub alati ekliptika läheduses. Tahame täpsamalt Kuu teed ära määrata, siis mõõdame Kuu koordinaadid päevast päeva ja märgime nende abil Kuu asendid taevagloobusel. Ühendame saadud Kuu asendid pideva joonega, siis näeme, et Kuu tee taevagloobusel on suuring, mis moodustab ekliptikaga 5° -lise 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. Leida Kuu kõige suurem ja kõige väiksem kulminatsioonikõrgus Tartus ja Tallinnas!

63. Tähtede kattumine. Kuu liikumisel ümber Maa juhtub, et ta mõne tähe meie eest ajutiselt ära varjab või 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 neelumise tõttu kahaneks pidevalt.

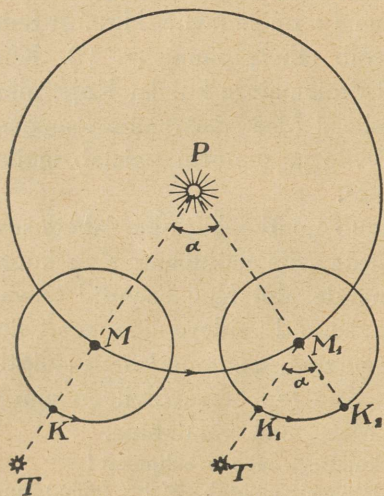
Missugused huvitavad kattumise juhud võivad esineda noore ja vana kuu ajal?

64. Kuu tee Päikese suhtes. Kuu liigub ümber Maa ja ühes Maaga ka ümber Päikese. Tahame leida Kuu teed ümber Päikese, siis tuleb liita kaks liiku-

mist: Kuu liikumine ümber Maa ja Maa liikumine ümber Päikese. Tee seda oletades, et Kuu liigub ümber Maa ekliptika tasapinnas! Kõik tarvilikud andmed on selles raamatus.

Tulemus on üllatav. Kuu tee ümber Päikese ei erine kuigi suurel määral Maa teest ümber Päikese. Mõlemate nõgus külge (kõveruse raadius) on alati suunatud Päikese poole. Kuu kauguse muutumine Päikesest (ümber Maa tiirlemise mõjul) muudab vaid Kuu tee kõveruse suurust, kuid ei anna mitte laine- või spiraalitaolist joont, nagu vahel kujutatakse.

65. Sideeriline ja sünoodiline kuu. Paneme tähele Kuu seisumõne heleda kinnistähe suhtes. Vaatluste abil teeme kindlaks, millal Kuu järgmine kord selle tähe suhtes samasse nähtesse ehk faasi jõuab. Siis on Kuu teinud ümber Maa ühe täistiiru. Nimetame selle ajavahemiku sideeriliseks ehk täheliseks kuuks (sidera — tähtkujud; tähtkujust tähtkujuni). Vaatlused näitavad, et sideerilise kuu pikkus on $27\frac{1}{3}$ päeva.



53. joon. Side sünoodilise ja sideerilise kuu vahel.

Ajavahemik Kuu kahe teineteisele järgneva samasuguse faasi, näiteks vastasseisu (täiskuu), vahel nimet. sünoodiliseks kuuks. Vaatlused näitavad, et sünoodilise kuu pikkus on $29\frac{1}{2}$ päeva.

Et sünoodiline kuu on sideerilisest pikem, seletub Maa liikumisega ümber Päikese, nagu 53. joon. näha. Selle aja sees, kui Kuu teeb ümber Maa ühe täistiiru (sideeriline periood), liigub Maa edasi oma orbiiti

mööda $\widehat{MM_1}$ võrra ja Kuu peab edasi liikuma oma orbiiti mööda veel $\widehat{K_1K_2}$ võrra, et jõuda Päikese suhtes endisse asendisse. Seepärast siis:

Sünood. kuu = sideer. kuu + aeg $\widehat{K_1K_2}$ ära käimiseks.

Kuu sideerilist perioodi on võimalik määrata sünoodilise abil, nagu seda tegime siseplaneetide juures valemiga $J_0 = \frac{SM_0}{S + M_0}$. Tuleta see valem otsekohe 53. joon. abil, analoogiliselt tulemustega § 58!

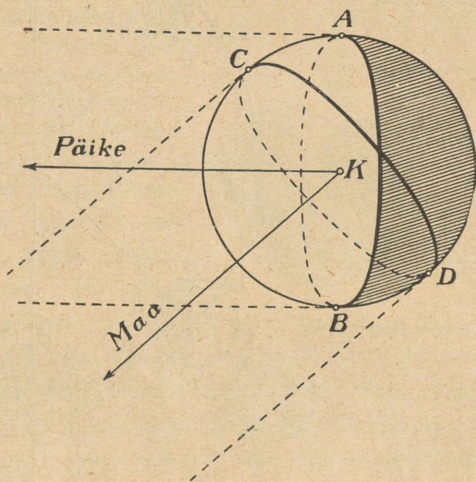
Kuidas oleks võimalik väga täpsalt määrata Kuu sünoodilist perioodi?

66. 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 tuleb Päikeselt. Päike on Kuust küllalt kaugel (kui kaugel nimelt?), seepärast siis võime Kuule langevaid kiiri lugeda rööpseiks. Kuu on kerakujuline ja Päikese rööpsete kiirte kimp valgustab alati poolt Kuu pinnast (54. joon.), teine pool jääb valgustamata. Muidugi võime näha Kuust ainult valgustatud osa. Selle järele, kas kõik Kuu valgustatud pinnast või ainult teatud osa sellest on pööratud Maa poole, näeme meie Maa pealt vaadates Kuud ühel või teisel kujul, ühes või teises faasis.

Jälgime 55. joon. abil Kuu faaside muutumist ühe sünoodilise perioodi jooksul. Asendis I on Kuu otse Päikese ja Maa vahel ehk, nagu öeldakse, ühenduses Päikesega. Siis on mõlemail sama otsetõus ja mõlemad kulmineeruvad samal momendil. Maa poole on pööratud Kuu valgustamata osa, seepärast ei näe me siis Kuud mitte. Meie nimetame selle (I) faasi noor-



54. joon. Päike valgustab alati poolt Kuu pinnast.

kuuks ehk Kuu loomiseks (mis võime järeldada viimasest nimetisest?). Asendis II on pööratud Maa poole vähem kui pool Kuu valgustatud osast ja meie näeme Kuud kõrval kujutatud kitsa sirbina, mille kumer külg (äär) on pööratud Päikese poole. — Asendis III näeme poolt Kuu valgustatud pinda poolringina. Seda faasi nimetatakse esimeseks veerandiks.

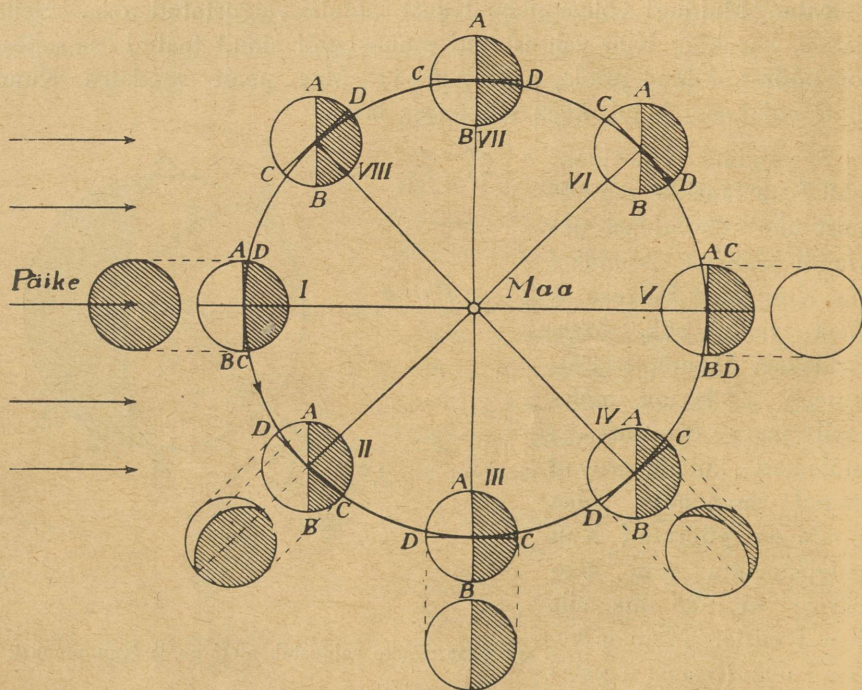
Mispärast kannab faas III esimese veerandi nime?

Kui suurt osa kogu Kuu pinnast näeme esimesel veerandil?

Sedaviisi edasi harutades 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.

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?



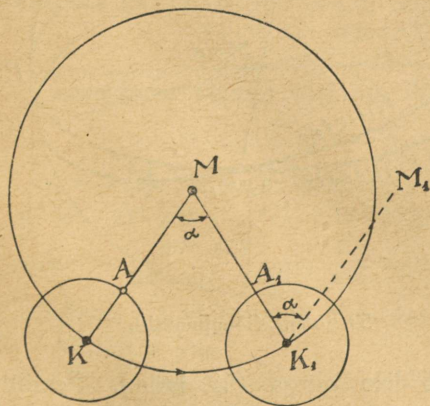
55. joon. Kuu faasid.

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!
8. Missugusel geogr. laiusel võib Kuu kulmineeruda seniidis?
9. Kumb taevakeha — Päike või Kuu — käib praegu kõrgemalt?

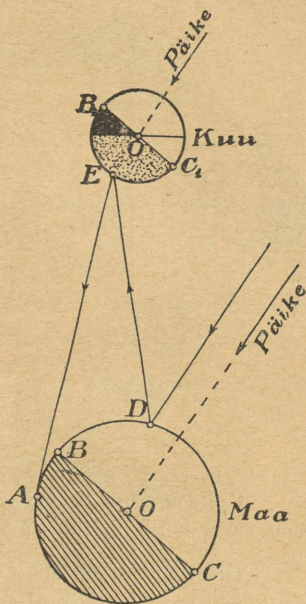
67. Tuhkvalgus. Mõni päev enne või pärast Kuu loomist paistab Kuu kitsa heleda sirbina. Kuid peale heleda sirbi on näha nõrgalt valgustatud Kuu ketas. See nn. Kuu tuhkvalgus seletub Päikese valguse kahekordse peegeldumisega (56. joon.): Päikese kiired peegelduvad Maast Kuu peale ja valgustavad nõrgalt meie poole pööratud Kuu pinda, kuhu Päikese kiired otsekohe ei tungi. Maalt peegeldunud Päikese valgusest nõrgalt valgustatud Kuu pind paistabki meile tuhkvalgena.

Kuu tuhkvalgust on juba vanast ajast saadik tähele pandud. Õige seletuse nähtusele andis kuulus Leonardo da Vinci. — Huvitav on tähele panna, et meie silmade omaduse tõttu (irradiatsioon) Kuu hele äär paistab suuremana kui tuhkvalge osa.

68. Kuu pöörlemine. Teraselt vaadeldes võime tähele panna Kuu kettal tumedamaid ja heledamaid kohti. Pike-mat aega vaadeldes näeme, et Kuu meile alati sama nägu näitab. Sellest järeldame, et Kuu on pööratud Maa poole alati sama küljega. Selle tõsiasja seletuseks tuleb oletada, et Kuu pöörleb telje ümber ja pöörlemisperiood võrdub täpselt tiirlemis-perioodiga (sideerilise kuuga). Juba väikegi vahe mõlemas perioodis annaks ennast pikapeale tunda (57. joon.).



57. joon. Kuu pöörlemine.

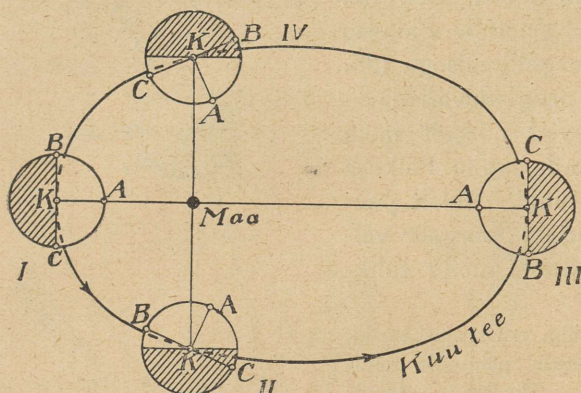


56. joon. Tuhkvalguse tekkimine.

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

69. Libratsioon. Kuu pöörlemine telje ümber toimub ühtlaselt, tiirlemine ümber Maa aga ebaühtlaselt (järeldus Kepleri seadustest). Seetõttu näeme Kuu pinnast pisut rohkem kui pool, sest vahel on

vasem-, vahel parempoolne Kuu külg veidi ees (58. joon.). Seda ebaühtlasest liikumisest tingitud Kuu näivat pöördumist kord pare-

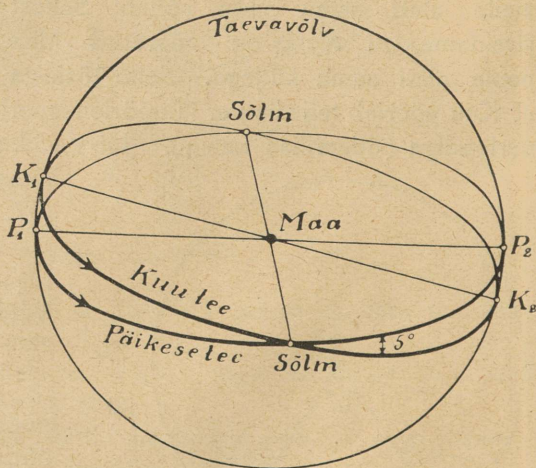


58. joon. Kuu libratsioon.

male, kord vasemale poole nimetatakse libratsiooniks. Ka ei ole Kuu pöörlemistelg Kuu teega risti, vaid moodustab $88,5^\circ$ nurga. Selle tõttu on pööratud meie poole vahel põhja-, vahel lõunapoolne osa Kuust ja meie näeme ka pooluste sihis rohkem kui pool kogu Kuu pinnast.

Kui suure osa Kuu pinnast näeksimme siis, kui Kuu telg moodustaks teega sama suure nurga kui Maa?

70. 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 vahel, 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 iga täis- ja noorkuu ajal. Selle põhjus peitub asjaolus, et Kuu ei tiirle ümber Maa mitte ekliptika tasapinnas, vaid Kuu orbiit moodustab ekliptikaga umbes 5° -lise nurga (59. joon.). Seetõttu võib täiskuu ajal Kuu Maa varju koonusest ühelt või teiselt poolt



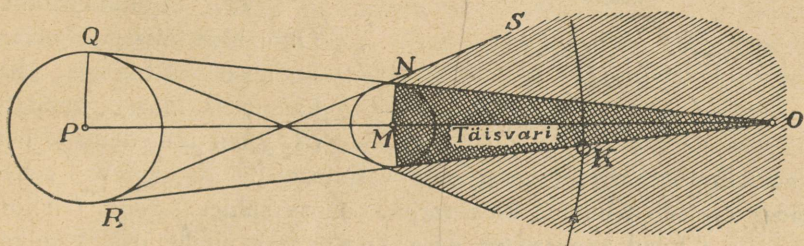
59. joon. Sõlmpunktid.

võib täiskuu ajal Kuu Maa varju koonusest ühelt või teiselt poolt

mööda minna, samuti võib Kuu varju koonus noorkuu ajal Maast mööda minna. Nagu 59. 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.

Kõigi eelmiste tingimuste täitumisel jääks kuu- (vst. päikese-) varjutus ikkagi tulemata, kui Maa (vst. Kuu) varju koonuse pikkus oleks lühem Kuu orbiidi raadiusest. Siis läheks Kuu Maa varjust alati mööda ja varjutus jääks tulemata. Seepärast vaatame, kui pikk on keskmiselt Maa varju koonus.

71. Maa ja Kuu varju koonuse pikkus. Olgu P Päikese, M Maa keskpunkt (60. joon.). Varju koonuse saamiseks tõmbame



60. joon. Kuu varjutamine.

Päikese ja Maa kettale ühised välispuutujad. Varju koonuse pikkuse MO leiame kergesti sarnastest kolmnurkadest MNO ja PQO , millest

$$\frac{MO}{PO} = \frac{MN}{PQ}.$$

Asendades $PO = MO + PM$ -ga, saame:

$$\frac{MO}{MO + MP} = \frac{MN}{PQ}.$$

Lahendame saadud võrrandi MO suhtes, leiame:

$$MO = \frac{MP \cdot MN}{PQ - MN}. \quad (1)$$

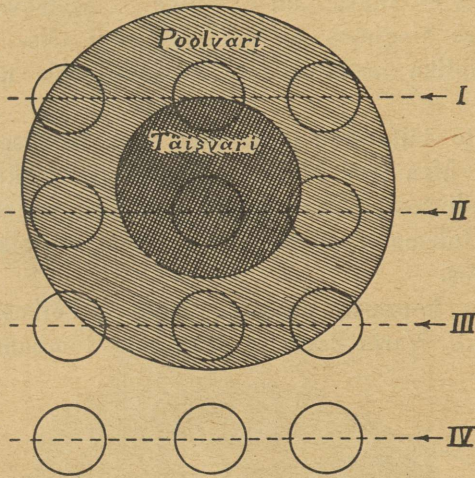
Maa varju koonuse pikkuse saamiseks tuleb asendada: $MP = 149\,500\,000$ km ja $PQ = 109\,MN$, siis saame

$$MO = \frac{MP \cdot MN}{109 \cdot MN - MN} = \frac{MP}{108} = \frac{149\,500\,000}{108} = 1\,384\,000 \text{ (km)}.$$

Valemi (1) abil saame Kuu varju koonuse keskmiseks pikkuseks $\sim 370\,000$ km.

Varju koonusest siin rääkides mõtlesime ainult täisvarju, jättes nn. poolvarju hoopis kõrvale. Saadud arvud näitavad, et Maa varju

koonus on umbes üks miljon km Kuu tee raadiusest pikem, kuna Kuu varju koonus keskmiselt vaevalt ulatub Maani. Ainult juhul, kui



61. joon. Kuunarjutuse juhud.

dama viirutusega. Mitmesugused varjutuse juhud olenevad sellest, kuidas asetseb Kuu tee Maa varju koonuse suhtes. Nagu 61. joon. näha, on I juhul kuunarjutus 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.

Eelmised arvutused Maa varju koonuse

pikkuse kohta olid tehtud Maa atmosfääri toimet arvestamata. Tõepoolest on täisvarju koonus lühem Kuu kaugusest Maast, sest Maa õhkkond kui kumer lääts koondab Päikese kiiri Maa taha (62. joon.). Eriti tungivad läbi Maa õhkkonna, niiõelda Maa taha punased kiired. Selle tõttu harilikult ei kao ka täielise varjutuse aegu Kuu hoopis ära, vaid läheb ainult vasekarva tumepunaseks.

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

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

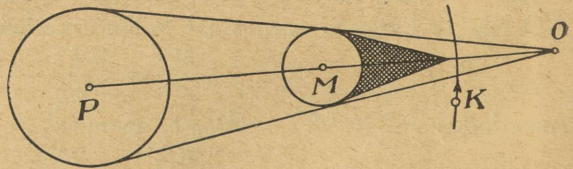
1. Arvuta Maa varju koonuse risti-läbimõõt Kuu kaugusel Maast! Saadud suuruse abil arvuta edasi Kuu täisvarjutuse maksimaalne vältus!

2. Missuguse nurgi esineb meile Maa varju koonuse läbilõige Kuu kaugusel Maast?

72. Kuunarjutused.

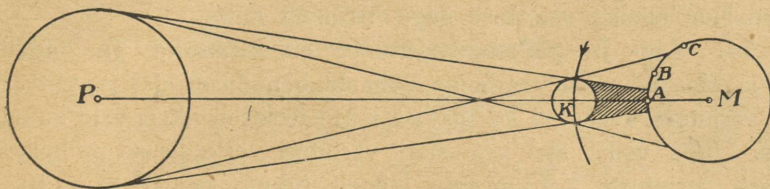
Olgu Maa täis- ja poolvarju koonuse läbilõige Kuu kaugusel Maast kujutatud

61. joon. tumedama ja hele-



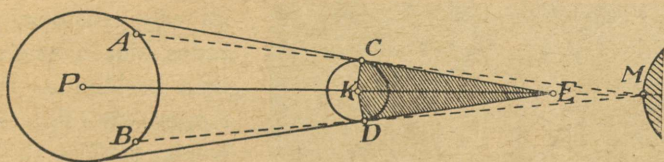
62. joon. Maa õhkkonna mõju Kuu varjutamisel.

73. Päikesevarjutused. Päikesevarjutuse puhul asetub Kuu Päikese ja Maa vahele ning katab Päikese meie eest kinni (63. joon.). Et Kuu raadius on Maa raadiusest tublisti väiksem (mitu korda?), siis



63. joon. Päikesevarjutus.

pole võimalik Maa kadumine Kuu varju, nagu see juhtub Kuuga Maa varjus. Küll aga võib Kuu varju koonuse ots ulatuda maapinnani ja katta kinni Päikese kitsal maaribal (paremal juhul ~ 100 km). Kõigil sellel ribal asujail on täieline päikesevarjutus, sest Kuu on Päikese hoopis kinni katnud. Vaatlejail väljaspool varju koonuse piirkonda on päikesevarjutus kas osaline, nimelt Kuu poolvarju piirkonnas (asend B 63. joon.), või ei ole varjutust üldse näha (asend C 63. joon.). Nagu § 71 nägime, ei ulatu keskmiselt Kuu varju koonus ($\sim 370\,000$ km) mitte Maani. Niisugusel korral katab Kuu varju



64. joon. Rõngakujuline päikesevarjutus.

koonuse telje sihis oleval vaatlejal ainult Päikese keskmise osa (64. 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 aegu Maale hästi lähedal.

Võrreldes päikesevarjutust kuuvarjutusega näeme, et nende vahel on oluline vahe: päikesevarjutusel katab Kuu Päikese meie eest kinni, kuna kuuvarjutusel läheb Kuu tõepoolest Maa varju ja muutub selle tõttu tumedaks; täieline kuuvarjutus kestab võrdlemisi kaua (umbes $2\frac{1}{2}$ tundi) ja on näha kogu poolel 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

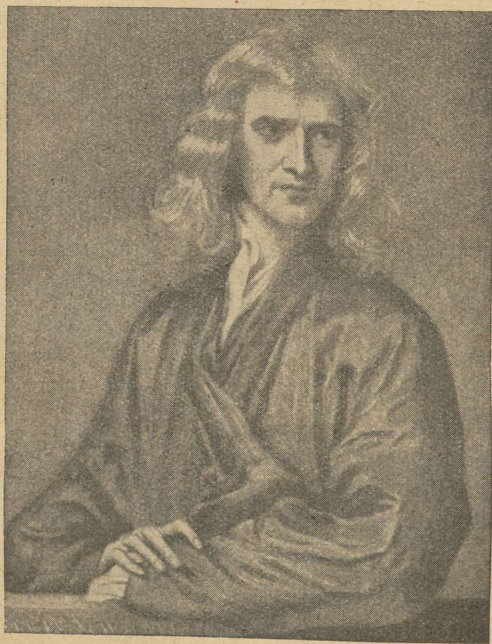
täieline varjutus on tõepoolest täieline selles mõttes, et Päikese varjutatud osa on hoopis nähtamatu, kuna täielisel kuuvarjutusel Kuu valguse tugevus küll tublisti kahaneb, hoopis nähtamatuks aga ei muutu Kuu täielise varjutuse aegu harilikult mitte.

74. Kuu- ja päikesevarjutuste ennustamine ja sagedus. Kuu ja Maa liikumise teadmine võimaldab nüüdsel ajal täpsalt arvutada varjutuse aega kui ka ulatust mitte üksi tulevikus, vaid ka minevikus. Juba vanal ajal 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 täpsalt üles märkida kõik selles ajavahemikus olnud varjutused, et ennustada edaspidiseid.

Päikesevarjutused on kuuvarjutustest sagedamad, kuid haruldasemad. Mispärast?

X. Gravitatsiooniseadus ja järelmused sellest.

75. Ajalooline ülevaade. Vanaaja astronoomiliste teadmiste kokkuvõtteks oli Ptolemaiuse süsteem, mis püsis ligi 1500 aastat.



Isaac Newton.

Kopernik (1473—1543) lõi uue süsteemi, nihutades Maa asemele Maa ilma keskkoha Päikese. Koperniku tööd täiendas Kepler (1571—1630), kes ligemalt määras planeetide liikumise ümber Päikese. Kõik senitehtud 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 seisukohast või printsiibist. 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 leidmine temal ei õnnestunud.

76. Gravitatsioonitung. Füüsikast teame, et iga vaba keha püüab kas paigal püsida või liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt (inertsiseadus). Planeedid aga liiguvad ligikaudu ringjooneliselt teid mööda. Järelikult siin peab olema põhjus, mis sunnib planeete liikumisel kalduma kõrvale sirgest teest. Füüsikas nimetatakse põhjust, mis hoiab keha ringjoonelisel liikumisel, kesktõmbe- ehk tsentripetaaltungiks (65. joon.). Ta mõjub ringjooneliikuvale kehale ja on suunatud alati ringjoone tsentri poole. Suuruselt, nagu teada, on kesktõmbe-tung

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

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

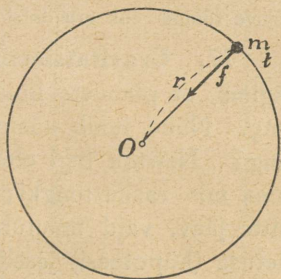
Tuleta eelmisest valemist kesktõmbe-tungi seadused, s. o. f -i olenevus m -ist, r -ist ja t -st.

Näide: Seome kivi nõõri otsa ja paneme ringi käima, siis tunneme, kuidas nõör pingule tõmbub.

Nõõri pinevus moodustabki antud juhul kesktõmbe-tungi. Nõõri 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 ringjooneliselt teid mööda; tähendab, ka siin peab olema kesktõmbe-tung, mis hoiab planeete ringjoonelistel teedel. Kivi hoidis ringjoonel nõör, planeetide juures me ei tunne ühtki nähtavat sidet. Füüsika seadustest aga järgneb paratamatult, et mingisugune side peab olema, mille suurus võrduks kesktõmbe-tungiga. Mis juhtuks siis, kui see tingimus ei oleks täidetud?

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 gravitatsioonitungiks.



65. joon.

Eelmine oletus on otsene järeldus kesktõmbetungi valemist (1) ja Kepleri III seadusest. Tõepoolest, Kepleri III seadusest (§ 60) teame, et tiirlemisperioodi ruudu (t^2) ja keskmise kauguse kuubi (r^3) suhe on kõigi planeetide jaoks jääv (k), s. o.

$$\frac{t^2}{r^3} = k \quad (2)$$

Leiame valemist (2) $t^2 = kr^3$ ja asetame valemisse (1), siis saame

$$\begin{aligned} f &= \frac{4\pi^2 rm}{kr^3} = \\ &= \frac{4\pi^2 m}{kr^2} = \frac{4\pi^2}{k} \cdot \frac{m}{r^2} \end{aligned} \quad (3)$$

Valemist (3) näeme, et Päikese ja planeetide (vst. Maa ja Kuu) vahel mõjuv tõmbetung f on võrdeline planeedi massiga (m) ja pöördvõrdeline kauguse ruuduga (r^2).

Planeedid liiguvad samasuguseid teid mööda juba aastatuhandeid, järelikult peab keskmiselt valitsema võrdus kesktõmbetungi ja Päikese ning planeetide vahel mõjuva tõmbe- ehk gravitatsioonitungi vahel.

77. Gravitatsioonitungi ja raskustungi samasus. Eespool nägime, et planeete hoiab nende ringjoonelistel teedel gravitatsioonitung. Nüüd tekib küsimus, mis on siis õieti see nn. gravitatsioonitung? Newton tegi oletuse, et gravitatsioonitung on oma loomult sama mis raskustungki; seejuures ei ole raskustung oma suuruselt mitte jääv, vaid muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Oma oletuse (hüpoteesi) järelekatsumiseks arutas Newton järgmiselt: Kuu liigub ümber Maa ligikaudu ringjoonelist teed mööda; tema kesktõmbe kiirendus on $a = 0,27 \left(\frac{cm}{sek^2} \right)$, nagu järgneb Huygensi valemist

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

kus R on Maa raadius ja T Kuu sideeriline periood. Kui raskuse kiirendus väheneks pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga, siis peaks Kuu kaugusel Maast raskusekiirendus g_1 olema $60,3^2$ korda väiksem raskusekiirendusest g Maa pinnal, s. o.

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

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

Märkus 1. Arvutamise lühiduse otstarbel käsitasime tungide asemel vastavaid kiirendusi. Tungide suuruste leidmiseks tuleb Newtoni II seaduse põhjal kor-

rutada[kiirendus vastava massiga. Oletades, et meil liigub üks massiühik (1 g massi) ei ole tegelikult vahet tungi ja kiirenduste arvuuruste vahel.

2. Eelmiste arutuste puhul oleme tarvitanud järgmist Newtoni poolt tõestatud lauset: ühtlane kerakujuline mass tõmbab külge väljapoole seda kera olevat massi nõnda, nagu oleks kera kogu mass koondatud kera keskpunktis. Selle lause põhjal võime taevakehi (Maa, Kuu, Päike jne.) vaadelda vastastikuse gravitatsiooni arvutamisel kui ainepunkte, mis asetsevad nende taevakehade keskpunktis ja mille massid võrduvad vastavate taevakehade massidega.

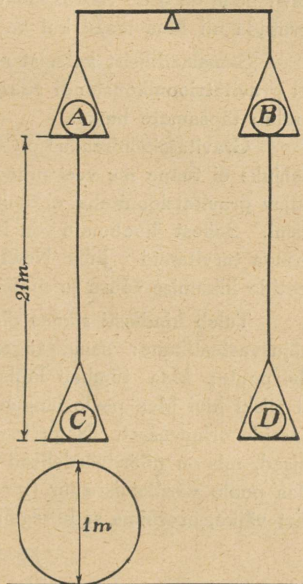
78. Üldine gravitatsiooniseadus.

Teame, et iga keha tungib Maa poole, igale kehale mõjub raskustung, mida võime teisiti nimetada ka gravitatsioonitungiks Maa ja antud keha vahel. Samuti nägime, et gravitatsioonitung ei mõju mitte üksnes Maa peal olevate kehade vahel (kivi — Maa jne.), vaid tema mõju ulatub Maast kaugemalegi ilmaruumi (Maa — Kuu). Sedaviisi edasi harutades oletas Newton, et masside vastastikune tõmbumine ehk gravitatsioonitung mõjub kõigi ilmaruumis olevate kehade vahel, olgu nad massilt suured või väikesed, olgu nad üksteisest kaugel või lähedal. See pärast võime rääkida kogumaailmisest ehk üldisest gravitatsioonist, mis on omane igale maailma-ruumis olevale massile. Kõige üldisemal kujul võime üldise gravitatsiooniseaduse sõnastada järgmiselt: kaks ainepunkti tõmbuvad neid ühendava sirgesihis võrdeliselt ainepunktide masside (m_1 ja m_2) korrutisega ja pöördvõrdeliselt nende kauguste (r) ruuduga, s. o. tõmbetung

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

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

Gravitatsioonikonstandi määramiseks tarvitatakse väga mitmesuguseid meetodeid. Üks täpsamaist on prof. Jolly poolt (a. 1878) tarvitusele võetud viis, kus grav.-konstandi määramine toimub järgmiselt.



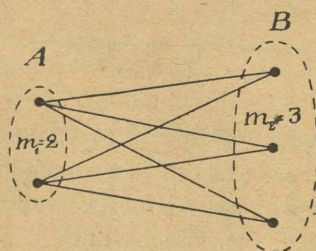
66 joon.

Kangkaalu-kaussidele on pika traadi abil (21 m) külge riputatud teine paar kausse, nagu 66. joonisel kujutatud. Neli nii ruumalalt kui kaalult täiesti ühesuurust klaaskera A , B , C ja D asetatakse kaalukaussidele. Kerasse A ja B on valatud kumbagi 5 kg elavhõbedat. Kaalud seatakse tasakaalu. Nüüd vahetatakse kerade A ja C kohad. Sellega nihkub 5 kg elavhõbede mass Maa raskuspunktile 21 m võrra lähemale ja gravitatsiooniseaduse põhjal suureneb tema kaal (31 mg võrra). Sedaviisi on võimalik kaalude abil Maa gravitatsiooni mõju otsekohe kindlaks teha. Edasi ehitati kaalukausi C alla umbes 1-meetrilise läbimõõduga tinast kera. Selle tõmbe mõjul suurenes kera C kaal 0,59 mg võrra. Teades, et tina ja elavhõbede masside raskuspunktide vahe on 57 cm, on saadud andmeist võimalik arvutada nii Maa massi kui ka gravitatsioonikonstandi suurust.

Samalaadilisest katseist määrasid hiljemini (a. 1896) Richarz ja Krigar-Menzel gravitatsioonikonstandi suuruse $K = (6,685 \pm 0,011) \cdot 10^{-8}$, mis praegusel ajal kuulub täpsamate hulka.

Gravitatsiooniseadus on üks laiaulatuslikumaid ja viljakamaid looduseadusi. Kahjuks ei tunne me veel praegugi neid sidemeid, millest on tingitud kehade vahel mõjuv gravitatsioonitug, ei tunne veel nii-öelda gravitatsiooniseaduse sisemist mehhanismi. Sellest hoolimata on inimesugu seda seadust juba üle 200 aasta suure kasuga tarvitanud. Juba Newton ise seletas gravitatsiooniseaduse abil peale planeetide liikumise tõusu ja mõõna nähtuse, pretsessiooni jne.

Tuleb kindlasti silmas pidada, et Newtoni III seaduse põhjal on gravitatsiooni mõju vastastikune: sama tugevasti kui kivi tõmbub Maa poole, tõmbub ka Maa kivi poole; Maa tõmbab Päikest sama tugevasti enese poole kui Päike Maad jne. Et siiski kivi Maa peale langeb, mitte aga Maa kivi peale, tuleb nende kehade masside erinevusest. Nagu teame, annab sama tung isesugustele massidele kiirendused, mis on pöördvõrdelised nende massidega. Seepärast siis on kivi kiirendus Maa poole võrdlemisi suur ($g = 9,8 \text{ m/sek}^2$), kuna Maa kiirendus kivi poole on niivõrt väike, et võime seda tegelikult lugeda nulliks.



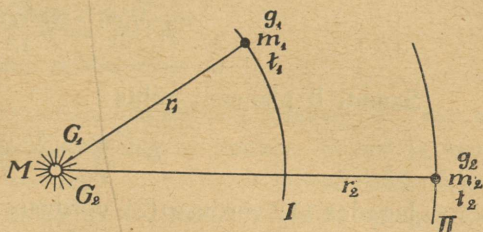
67. joon.

Toome lõpuks väikese illustratsiooni, mis masside mõju gravitatsiooniseaduses selgitab (67. joon.). Koosnegu näiteks keha A kahest ja keha B kolmest samasugusest ainepunktist. Gravitatsiooniseaduse järgi tõmbub iga ainepunkt iga teisega. Kujutame seda meile nähtamatut sidet ühendava sirgjoonega. Nagu näha, on võimalik A ja B ainepunktide vahel tõmmata 2×3 ehk 6 isesugust sirget. Siit selgub, mispärast on gravitatsioonitug võrdeline masside korrutisega ($m_1 m_2$).

Planeetide liikumisest rääkides oletasime, et Maa liigub ümber Päikese, Kuu ümber Maa jne. Lähtudes gravitatsiooniseadusest tuleb siin teha väike parandus, nimelt: planeet ei liigu mitte ümber Päikese geomeetrilise keskpunkti, vaid mõlemad — planeet ja Päike — liiguvad ümber nende ühise raskuspunkti. Et aga Päikese mass võrreldes planeedi massiga on väga suur, siis asetseb planeedi ja Päikese ühine raskuspunkt võrdlemisi Päikese keskpunkti lähedal ja me võime suurema veata (esimeses ligikaudsuses) rääkida planeetide liikumisest ümber Päikese.

79. Kepleri III seaduse tuletamine gravitatsiooniseadusest. Planeetide liikumiste vaatlustest tuletas Kepler kolm temanimest seadust, mis olid [Newtonil tähtsaks eeltööks (gravitatsiooni-seaduse avastamisel. Ümberpöörduvalt on võimalik, lähtudes gravitatsiooniseadusest, tuletada kõik Kepleri seadused kui erijuhud. Näitena tuletame Kepleri III seaduse gravitatsiooniseadusest.

Olgu Päikese ja kahe planeedi massid, kaugused ja gravitatsioonikiirendused tähistatud vastavalt 68. joonisele.



68. joon.

Gravitatsiooni ja Newtoni II seaduse põhjal võime Päikese ja I planeedi jaoks kirjutada :

$$K \frac{Mm_1}{r_1^2} = m_1 g_1, \text{ millest}$$

$$K \frac{M}{r_1^2} = g_1.$$

Teiselt poolt teame Huygensi valemi põhjal, et

$$g_1 = \frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}. \quad \text{Järelikult } K \frac{M}{r_1^2} = \frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}. \quad (1)$$

Samuti kirjutame II planeedi kohta:

$$K \frac{M}{r_2^2} = \frac{4\pi^2 r_2}{t_2^2}. \quad (2)$$

Jagades (2)-st (1)-ga saame:

$$\frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{t_1^2 r_2}{t_2^2 r_1},$$

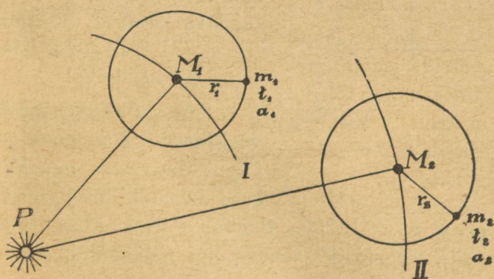
$$\text{millest } \frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{t_1^2}{t_2^2},$$

s. o. Kepleri III seaduse matemaatilise väljenduse.

80. Planeetide masside võrdlemine. Gravitatsiooniseaduse järgi on

tõmbetung võrdeline massiga, seepärast on väga tähtis teada planeetide massi suurust. Vaatame, kuidas on võimalik võrrelda planeetide masse isekeskis.

Olgu (69. joon.) I planeedi mass M_1 , tema kaaslase mass m_1 , kaugus r_1 , sideeriline periood t_1 . Vastavad andmed II planeedi kohta on M_2 , m_2 , r_2 ja t_2 . Nagu teame (§ 76), võrdub planeetide liikumi-



69. joon.

sel gravitatsioonitung alati kesktõmbe-tungiga. Seepärast võime I planeedi kohta kirjutada:

$$K \frac{M_1 m_1}{r_1^2} = \frac{4\pi^2 r_1 m_1}{t_1^2}. \quad (1)$$

Samuti II planeedi kohta:

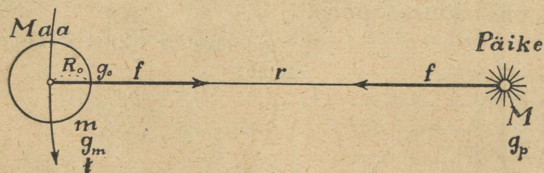
$$K \frac{M_2 m_2}{r_2^2} = \frac{4\pi^2 r_2 m_2}{t_2^2}. \quad (2)$$

Jagades (1) võrduse (2) võrdusega ja lihtsustades saame:

$$\frac{M_1 r_2^2}{M_2 r_1^2} = \frac{r_1 t_2^2}{r_2 t_1^2}, \text{ millest}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2. \quad (3)$$

Valemist (3) näeme, et planeetide masside suhte $\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$ määramiseks on küllalt teada nende planeetide kaaslaste kaugused (r_1 ja r_2) ning sideerilised perioodid (t_1 ja t_2). Tähendab, seda meetodit võib rakendada ainult niisuguste planeetide masside võrdlemiseks, millel on kaaslasti. Juhul, kui planeedil pole kaaslast, nagu Merkur ja Veenus, arvutatakse mass nende häirete põhjal, mis teised tuntud massiga planeedid (Maa, Jupiter jne.) avaldavad nende liikumisele.



70. joon.

Vaadeldes Maad kui Päikese kaaslast ja kuud kui Maa kaaslast, rakenda valem (3) Päikese ja Maa massi võrdlemiseks!

81. Päikese massi võrdlemine Maa massiga.

Olgu Maa mass m ja Päikese mass M ning nende

vastavad gravitatsioonikiirendused g_m ja g_p . Et Maa tõmbab Päikest sama tugevasti enese poole kui Päike Maad, siis, väljendades tõmbetungi f düünides, saame

$$f = m g_m = M g_p, \text{ millest}$$

$$\frac{M}{m} = \frac{g_m}{g_p}. \quad (1)$$

Maa gravitatsioonikiirendus g_m võrdub Maa kesktõmbe-kiirendusega, s. o.

$$g_m = \frac{4\pi^2 r}{t^2},$$

kus r on Maa ja Päikese vaheline kaugus ning t Maa tiirlemisperiood (sideeriline aasta). Teiselt poolt Päikese kiirendus g_p Maa tõmbetungi toimet võrdub $\frac{g_0 R^2}{r^2}$,

kus g_0 on raskuse kiirendus Maa pinnal ja R Maa raadius. Asendades g_m ja g_p neile vastavate suurustega, saame:

$$\frac{M}{m} = \frac{4\pi^2 r \cdot r^2}{t^2 \cdot g_0 R^2} = \frac{4\pi^2 r^3}{g_0 t^2 R^2}.$$

Arvuta saadud valemist Päikese ja Maa massi suhe!

82. Maa mass. Gravitatsiooniseadusest teame, et taevakehade vastastikune tõmbumine oleneb nende kehade massist ja kaugusest üksteisest. Seepärast on väga tähtis teada taevakehade massi suurust. Eespool nägime, kuidas on võimalik võrrelda planeetide massi Maa või Päikese massiga. Tahame aga teada mõne planeedi või Päikese massi absoluutset suurust meile tuntud massiühikuis (tonn, kilo jne.), siis peame mõistma määrata Maa massi neis ühikuis.

Muidugi puudub meil võimalus määrata Maa massi vahetult, nagu seda teeme füüsikas, määrares väiksemate kehade (rautatükk, kivi jne.) massi kaalude abil. Seepärast tuleb leida meetodid Maa massi kaudseks määramiseks.

83. Side Maa massi ja gravitatsioonikonstandi vahel. Olgu Maa mass M grammi ja maapinna lähedal asetseva keha mass m grammi ning raskus p düüni, Maa raadius

R cm ja raskuskiirendus maapinnal $g \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$

(71. joon.). Gravitatsiooniseaduse põhjal teame, et

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

Newtoni II seaduse põhjal aga

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

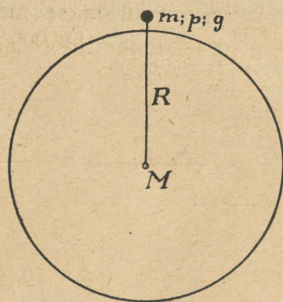
Võrdusist (1) ja (2) järgneb:

$$K \frac{mM}{R^2} = mg,$$

millest pärast lihtsustamist saame

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

Siit näeme, et gravitatsioonikonstandi K ja Maa massi M korutis on jääv ning võrdub korrutisega gR^2 . Valemi (3) abil on kerge arvutada Maa massi M , kui teame gravitatsioonikonstanti K ja ümberpöördukt. Tähendab, Maa massi määramine on ühevääriline gravitatsioonikonstandi määramisega. Viimasega tutvusime § 78.



71. joon.

84. Maa tihedus. 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:

$$d = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad (1)$$

Eelmise § põhjal $M = \frac{gR^2}{K}$. Asetame siit M väärtuse valemisse (1), siis

$$d = \frac{\frac{gR^2}{K}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi KR} \quad (2)$$

Arvuta saadud valemist Maa keskmine tihedus, kui $g = 982,3 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$, $K = 6,685 \cdot 10^{-8}$ ja $R = 6371 \text{ km}$ (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?

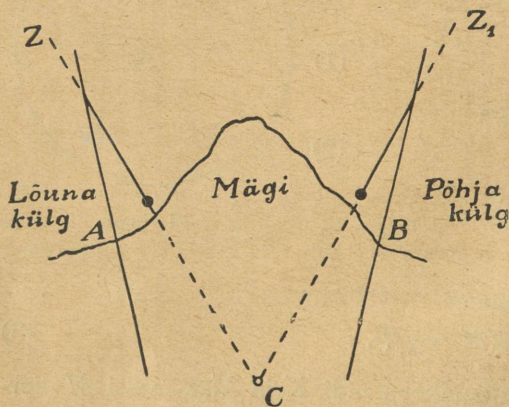
1. Mis vahe on tiheduse ja erikaalu vahel? Mispärast ei räägita Maa keskmisest erikaalust?

2. Võrdle Maa tihedust meile tuntud ainete (raud, tina, kuld, kivi jne.) tihedusega! Missuguste ainete tihedus on suurem, missuguste tihedus väiksem Maa keskmisest tihedusest?

3. Mis võime järeldada Maa keskmisest tihedusest Maa sügavamate kihtide (sisemuse) tiheduse kohta?

4. XVIII sajandil arvati, et Maa on seest kas tühi või täidetud veega. Siis ei osatud veel määrata Maa keskmist tihedust. Kas on see oletus tõenäoline?

5. Kas on võimalik Maa keskmist tihedust otsekohe määrata, ilma et teataks enne Maa massi?



72. joon.

85. Maskelyne'i viis Maa massi määramiseks. Esimesena määras Maa massi enam-vähem õieti inglise astronoom Maskelyne

(a. 1774) raskustungi suuna kõrvalekaldumisest mäe külgetõmbe mõjul. Maskelyne'i meetod oli järgmine. Ta valis üksikult tasandikul asetseva mäe (Shehallieni mägi Šotimaal) ja määras astronoomiliste vaatluste abil nurga, mis moodustavad raskustungi suunad lõuna pool (A) ja põhja pool (B) mäe. Mäe massi külgetõmbe mõjul kalduvad raskustungi suunad mõlemalt poolt mäe poole, s. o. moodustavad suurema nurga kui sel juhul, kui mäe ei oleks. Mäe massi on võimalik enam-vähem õieti kindlaks määrata, arvesse võttes mäe ruumala ja tihedust. Teades kõrvalekaldumise suurust ja mäe massi on võimalik arvutada Maa massi suurust. Selle meetodi abil Maskelyne'i saadud maa tiheduse suurus oli $4,95 \frac{g}{cm^3}$, mis tundub väiksem hilisemaist täpsamaist mõõtmisist.

Olgu μ loe, m mäe ja M Maa mass, R Maa raadius, r loe kaugus mäe raskuspunktist ja raskustungi suuna kõrvalekaldumis-nurk α . Lood näitab alati gravitatsiooniresultandi suunda. Kui Maa gravitatsioonisuunda ja suurst kujutab loe pikkus AB ja mäe massi (m) mõjul on loe tasakaalu-seis suunas AC , siis kujutab mäe gravitatsiooni suurst BC (rööpküliku juhisi). Gravitatsiooniseaduse põhjal võime kirjutada:

$$\frac{\text{Mäe grav.-tung}}{\text{Maa grav.-tung}} = \frac{BC}{AB} = \tan \alpha = \frac{K \frac{\mu m}{r^2}}{K \frac{\mu M}{R^2}} = \frac{m R^2}{r^2 M}, \text{ millest}$$

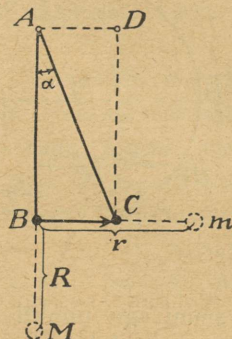
$$M = \frac{m R^2}{r^2 \tan \alpha}$$

Eritse saadud valem ja näita, missuguste argumentide täppis määramine on seotud suurte raskustega!

1. Füüsikas nimetatakse keha tungi Maa poole selle keha kaaluks. Näita, et Maa kui terviku kaal selles mõttes on null.

2. Mis vahe on keha kaalu ja massi vahel?

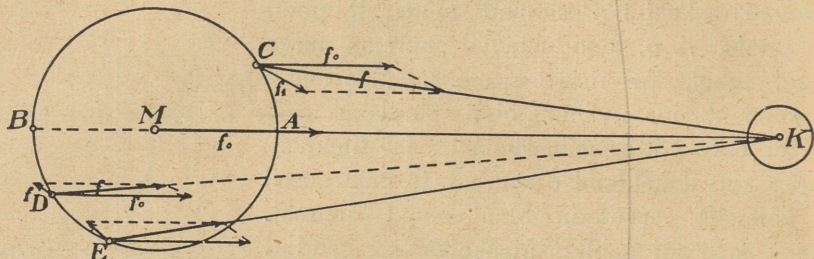
86. Tõus ja mõõn. Juba vanast ajast saadik tuntakse nähtust, et merepind päeva jooksul 2 korda aeglaselt tõuseb ja vajub. Aega, mille jooksul merepind kõige madalamast seisust jõuab kõige kõrgemasse seis, nimet. tõusuajaks, ja aega, mille jooksul merepind kõige kõrgemast seisust jõuab kõige madalamasse seis, mõõnaajaks; vastavaid nähtusi ise aga nimetatakse tõusuks ja mõõnaks. Ka ei jäänud juba vanal ajal tähele panemata tõusu ja mõõna olenemus Kuust, sest samale Kuu seisule vaatepiiri suhtes



73. joon.

vastab alati sama tõusu või mõõna faas. Alles Newtonil läks korda Kuu ja Päikese gravitatsiooni abil tõusu ja mõõna nähtust täielikult ära seletada.

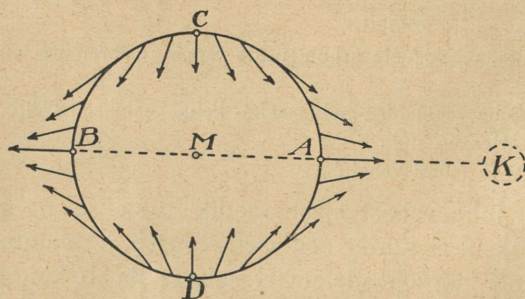
Olgu 74. joon. kujutatud kaks taevakeha, näiteks Maa (M) ja Kuu (K). Kuu tõmbab enese poole Maa iga ainepunkti, kõige tuge-



74. joon.

vamini aga punkti A (lähim punkt), kõige nõrgemini punkti B (kaugem punkt), kuna keskpunkti M tõmbetugevus (f_0) on suuruselt eelmiste vahelmine.

Eritleme Kuu gravitatsiooni mõju punktis C . Olgu punkti C tõmbetugevus Kuu suunas f . Lahutame selle (f) kaheks komponendiks f_0 ja f_1 , kus f_0 võrdub keskpunkti M tõmbetugevusega. Komponent f_0 ei mõju C -le deformeerivalt (kujumuutvalt), sest ka punktile M mõjub samasugune tung. Kui Maa igale ainepunktile mõjuksid samasuunalised ja võrdsed tungid, siis võib Maa selle tungi suunas küll kiiremini liikuma hakata, kuid kuju ei muutu seejuures mitte. Komponent f_1 mõjub kujumuutvalt ja püüab aineosakest C tõsta ning punkti A poole nihutada.



75. joon. Kuu deformeeriv mõju Maale.

Samasugune Kuu tõmbemõju eritus Maa teistele ainepunktidele (D , E jne.) näitab, et Kuu mõjub Maale deformeerivalt üldiselt nõnda,

nagu 75. joon. nooltega kujutatud, s. o. Kuu — Maa sihis (A , B) on tõus, sellele ristsihis (C , D) mõõn. Tegelikult ei ole tõusu laine maksimum antud kohas mitte Kuu kulminatsioonimomendil selles

kohas, vaid hiljemini. Hilinemine oleneb mitmesuguseist kohalistest tingimustest (kalda reljeef, orientatsioon, sügavus jne.), kuid samal kohal on tõusu maksimum alati keskmiselt sama palju hiljemini Kuu kulminatsioonimomendist selles kohas.

Kuu „öö-päeva“ pikkus on $24^h 50^m$ (kuidas seda arvutada?), järelikult Kuu ülemisest kulminatsioonist järgneva alumise kulminatsioonini on $12^h 25^m$. Sama periood on ka kahe üksteisele järgneva tõusu (vst. mõõna) maksimumi vahel.

Tõus ja mõõn ei ole igal pool ühesugune. Kinnistes meredes (Lääne-, Must, Vahemeri jne.) on tõus ja mõõn vaevalt-märgatav, lahtises ookeanis ulatub ta umbes 1 meetrini, kuna kitsais mere poole laienevais lahtedes tõuseb vesi tõusuajal 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 käimapanemiseks.

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

Päikese ja Kuu mõju võrdlemiseks tõusu ja mõõna tekitamisel teeme järgmise arvutuse. Olgu Maa raadius R , Kuu mass m ja Kuu ning Maa tsentrite vahe r . Oletame, et Kuu gravitatsioonitugevuse massile μ , mis on asetatud punkti A ja M , on vastavalt f ja f_0 (74. joon.). Siin võime gravitatsiooniseaduse põhjal kirjutada:

$$f = K \frac{m \mu}{(r - R)^2}; f_0 = K \frac{m \mu}{r^2}.$$

Tõusu ja mõõna suurus oleneb tungide f ja f_0 vahest, mille suurus

$$\begin{aligned} f - f_0 &= K \frac{m \mu}{(r - R)^2} - K \frac{m \mu}{r^2} = \\ &= K m \mu \left(\frac{1}{(r - R)^2} - \frac{1}{r^2} \right) = \\ &= K m \mu \left(\frac{2R}{r^3} + \frac{3R^2}{r^4} + \frac{4R^3}{r^5} + \dots \right) \end{aligned}$$

Et r võrreldes R -ga on küllalt suur, võime saadud arendusreas jätta kõrvale kõik liikmed peale esimese. Seega saame:

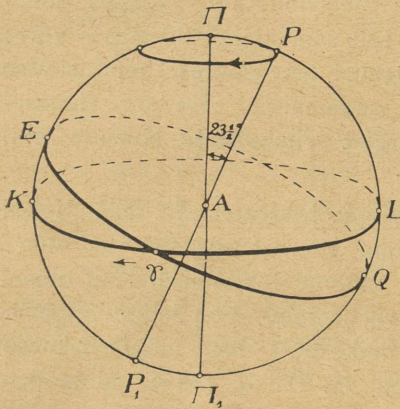
$$f - f_0 = K m \mu \frac{2R}{r^3},$$

s. o. tõusu ja mõõna tekitav tung on võrdeline massiga ja pöördvõrdeline kauguse kolmanda astmega.

Saadud valemi abil arvuta, mitu korda on Kuu mõju tõusu ja mõõna tekitamisel Päikese omast suurem!

Missugusel aastaajal on Päikese mõju tõusu ja mõõna tekitamisel kõige tugevam?

88. Pretsessioon. Vaatlused näitavad, et Päike jõuab kevadepunkti varemini kui ta lõpetab täistiiru tähtede keskel, lühidalt: troopiline aasta on lühem sideerilisest. Tähendab, kevadepunkt ei püsi ekvaatoril paigal, vaid liigub Päikese liikumisele vastassuunas,



76. joon.

nihkudes iga aasta Päikesele vastu umbes 50'' võrra. Selle nn. pretsessiooninähtuse (ladina keeles *praecedo* — ette jõudma) avastas Hipparch (~ 150. a. e. Kr.), võrreldes oma vaatlusi eelkäijate omadega. Olgu 76. joon. EQ taevaekvaator ja PP_1 maailma-telg ning KL ekliptika ja Π ning Π_1 ekliptika poolused. Pretsessiooninähtust on võimalik kergesti seletada, kui oletada, et maailma-telg PP_1 ei püsi ruumis paigal, vaid muudab oma sihti noole suunas, moodustades koonuse külpinna, kusjuures $\Pi\Pi_1$

on koonuse teljeks. Kui iga aasta maailma-telje asendi muutumise tõttu kevadepunkt nihkub edasi 50'' võrra, siis teeb maailmapoolus (P) täisringi ümber ekliptika pooluse (Π)

$$\frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{50}, \text{ s. o. } \sim 26\,000 \text{ aasta jooksul.}$$

Pretsessiooni otseseks järelدuseks on, et Põhjanaan ei püsi mitte alati maailmapooluse läheduses. Hipparchi aegu asetses Põhjanaan maailmapoolusest 12° eemal, kuni aastani 2100 läheneb ta poolusele kuni $\frac{1}{2}^\circ$ -ni, siis hakkab ta poolusest järjest eemale minema. Umbes 12000 aasta pärast asetseb maailmapoolus Lüüra tähtkujus ja hele täht Veega näitab siis pooluse asukohta. Siis muutub tunduvalt ka taeva üldpilt: Orion, Siirius, Procyon ja palju teisi tähti ning tähtkujusid on kadunud meie vaatepiirilt; nende asemel kaunistavad meie ööd uued tähed lõunataevast.

Pretsessiooninähtust tunti juba vanal ajal, kuid nähtuse õige seletuse andis alles Newton gravitatsiooniseaduse põhjal. Nagu nägime, on pretsessiooninähtus tingitud maailma-telje sihi asendi muutumisest. Maailma-telje siht pole aga muud midagi kui Maa telje siht, tähendab, lõpuks seletub pretsessiooninähtus Maa telje sihi muutumisega. On ka loomulikum oletada, et muutub Maa pöörlemistelje siht, kui arvata, et peaks muutuma ekliptika tasapind.

Maad võime võrrelda ilmaruumis vabalt pöörleva suure vurriga. Katsed näitavad, et vurr püüab säilitada oma pöörlemistelje sihti. Rõhudes pöörleva vurri

teljele hakkab viimane liikuma ja kujutab koonuse pinda.

Suurem või väiksem

kõrvalekaldumine oleneb muidugi tõuke suurusest. Varemini

(§ 44) nägime, et Maa ei ole päris

kerakujuline, vaid lapik. Kujutame Maa

keskpunkti polaar-telje pikkuse raadiusega kerapinna;

sellega eraldame ekvaatori ümber kaunis

paksu (kui paks ni-

melt?) massi kihi, mille lähemad punktid (Q) tõmbuvad tugevamini Päikese poole

kui kaugemad (E). Päikese tõmbe mõjul Maa ekvaatori kihile püüab Maa telg risti

asetuda ekliptika tasapinnaga; see mõju ongi tõukeks, mis Maa, kui vurri, telje

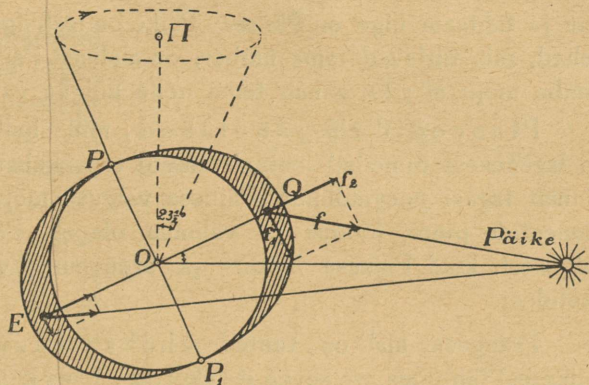
koonusepinda mööda paneb liikuma.

Suure läheduse tõttu on Kuu pretsessiooni mõju ($34''$) Päikese omast ($16''$) üle kahe korra suurem.

1. Kuidas muutuvad kinnistähtede koordinaadid pretsessiooni mõjul? Missuguses piiris muutub α , missuguses δ ?

2. Missugused lõunataeva tähed saavad nähtavaks Tartu vaatepiiril pretsessiooni mõjul?

3. Praegusel ajal on talve alul Maa 11° eemal perigeest. Kuidas mõjub pretsessioon aastaaegade pikkusele? Millal võrdub kevade pikkus suve pikkusega ja sügis talvega? kevad talvega ja suvi sügisega?



77. joon.

XI. Päikesesüsteemi ehitus.

89. 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 niivõrt suur, et me ei suuda seda konkreetset kujutella, on ta siiski ainult suure tähtedemaailma kaduv-väike osake. 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.

90—93. Päikesesüsteemi koostis. Päikesesüsteemi kõige suurem ja tähtsam liige on **Päike**. Päike on isehilgav taevakeha; teised kehad, mis tiirlevad tema ümber, on alaliselt Päikese üleoleva külgetõmbe mõju all; ka annab tema neile kõigile valgust ja soojust.

Planeedid ehk rändtähed, 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.

Praegusel ajal on tuntud üheksa suurt planeeti, mis Päikesest lähtudes asetsevad järjekorras: Merkur (☿), Veenus (♀), Maa (♁), Marss (♂), Jupiter (♃), Saturn (♄), Uran (♅), Neptun (♆) ja Pluton (♇).

Peale kolme viimase on teised palja silmaga nähtavad ja viis neist olid tuntud juba vanal ajal. Kuid peale suurte planeetide on praegusel ajal teada veel ligi tuhat väikest, mis kutsutakse **asteroidideks** ehk **planetoidideks**, mille teed mõne vähese erandiga (Eros, Achilles) on kõik Marsi ja Jupiteri teede vahel.

Kuus planeeti omavad **kaaslasi** ehk **kuid**, mis loomu poolest on planeetide sarnased; nad tiirlevad ümber oma emaplaneedi ja liiguvad ühtlasi viimase seltsis ümber Päikese. Praegusel ajal on üldse teada 27 kuud, mis jaotuvad järgmiselt: Maal — 1, Marsil — 2, Jupiteril — 9, Saturnil — 10, Uranil 4, Neptunil — 1. Merkuril, Veenusel ja Plutonil pole teada ühtegi kuud.

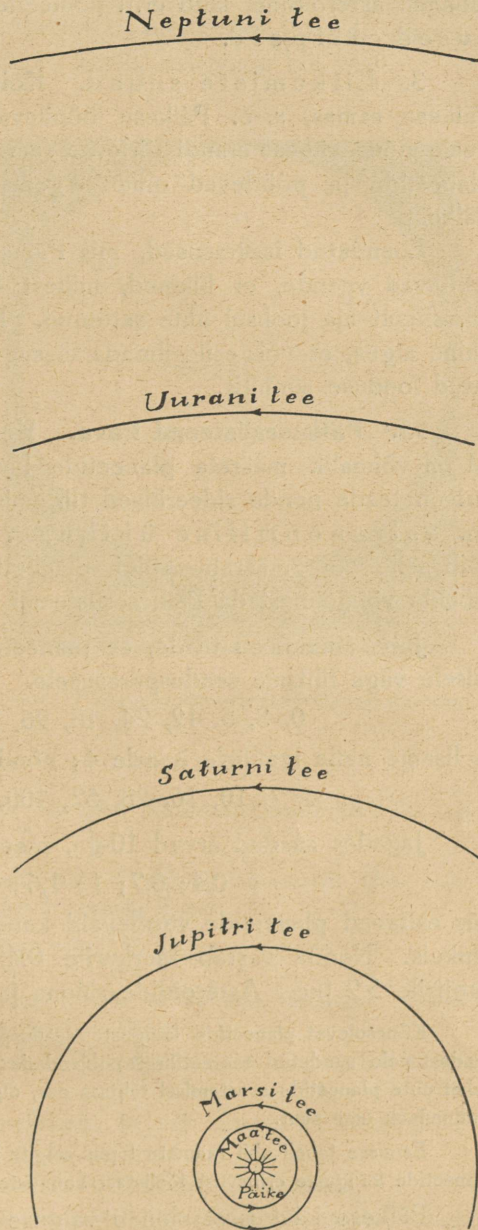
Komeedid ehk **sabatah**ed on erilised hõredad udulised taevakehad, mis harva ilmuvad palja silmaga vaatlejale. Mõned neist, liikudes tunduvalt pikergusil ellipseil Päikese ümber, kuuluvad kindlasti meie Päikesesüsteemi.

Meteoorid näivad olevat komeetide lagunemise saadused. Nad on kindlad kehakesed, mis on meile nähtavad ainult siis, kui nad, liikudes ilmaruumis, satuvad Maa õhkkonda ja hakkavad hõõrdumise tagajärjel **lendtähtedena** heledenema.

94. 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.

1. Teede tasapindade asetusruumis. Planeetide teede tasapinnad peaaegu ühtuvad Maa tee ehk ekliptika tasapinnaga. Ainult mõnede asteroidide teed on ekliptika suhtes tunduvalt kaldu, kuna veel silmapaistvama erandi moodustavad komeedid ja mõned suurte planeetide kaaslased.

2. Teede kujud. Planeetide ja nende ümber



78. joon. Päikesesüsteem.

tiirlevate kaaslaste teed on ellipsid, mis erinevad vähe ringist. Mõnede asteroidide, kuid eriti komeetide teed on tunduvalt piker-
gused ellipsid.

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

Loendatud iseärasused, mis Päikesesüsteemi ehitusele omased, tekitavad veende, et liikmed, millest koosneb Päikese pere, pole juhuslikult aja jooksul ühte sattunud. Pidid olema ühised põhjused, ühine algus, et võis esile ilmuda seesugune tervikuline ja kokkukõlas-
tatud looduse sünnitis.

95. Päikesesüsteemi kava. Kepleri kolmanda seaduse põhjal on võimalik määrata planeetide keskmised kaugused Päikesest, kui on teada nende sideerilised tiirlemisajad. Võttes pikkusühikuks nn. astronoomilise ühiku, s. o. Maa kauguse Päikesest, võib selle abil määrata kõigi planeetide kaugused ja selle järgi mõelda või joonestada Päikesesüsteemi kava (78. joon.).

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

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

ja lisame neile igaühele 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, Marsile 1,6, Jupiterile 5,2 jne. Asteroidide rühma jaoks on vastav arv 2,8.

Kõnesolevat planeetide kauguste seaduspärasust 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 Plutoni puhul on lahkuminek õige suur.

Esimese tabeli abil raamatu lõpus 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, sest et valgustuse intensiivsus on pöördvõrdeline kauguse ruuduga. Marsi pinna valgustus Päikese kiirtest on aga umbes 2 korda nõrgem, sest et Marss asetseb Päikesest $1\frac{1}{2}$ korda kaugemal kui Maa.

Kui on teada Päikesesüsteemi kehade kaugus meilt ja on mõõdetud nurgad, mille all meile esinevad nende läbimõõdud või raadiused, siis võib kergesti arvutada kehade tõelised suurused (79. ja 80. joon.). Kuidas?

Kui mõni planeet omab kaaslast, siis on võimalik mõõtmise abil määrata kaaslaste näivaid kaugusi nende emaplaneedi keskpunktist; teades vaatluste põhjal kaaslaste tiirlemisvälteid, võib tuttavate taevamehaanika valemite abil määrata planeetide masse (vt. § 80).

Tabeleis raamatu lõpus on esitatud tähtsamad andmed Päikesesüsteemi kehadest.

1. Esitada mõne mõõtkava järgi, näit. 15 miljonit kilomeetrit ühes millimeetris, Päikesesüsteemi plaan (vt. tabel 1 raamatu lõpus).

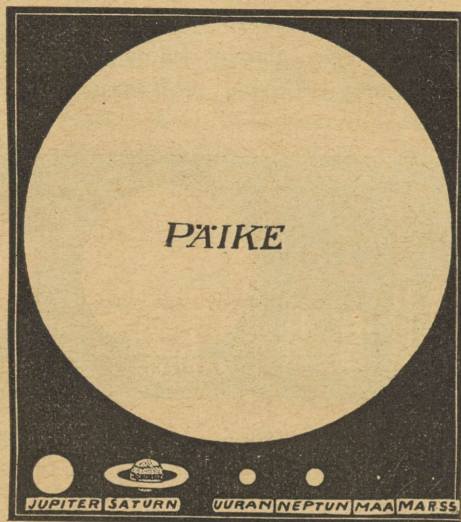
2. Rongi kiirus on $15 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, häälel $330 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, valgusel $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Kui palju kuluks aega, et rong (hääle, valgus) jõuaks läbida Maa ekvaatori pikkuse, Kuu ja Päikese kauguse Maast, Plutoni kauguse Päikesest?

3. Kui palju aega kuluks, et rong (hääle, valgus) jõuaks kõige ligema täheni, mille kaugus meilt on 4.10^{13} km?

4. Kujutada nägelikult Päikesesüsteemi ja selle kehade tiirlemisi ümber Päikese isikute (näit. õpilaste) abil!

5. Joonestada mõnes mõõtkavas Päikese ja planeetide suurused!

6. Planeedi kaugus on antud astronoomilisis ühikuis. Missuguse arvuga tuleks see korrutada, et kaugus väljenduks miljoneis kilomeetreis?

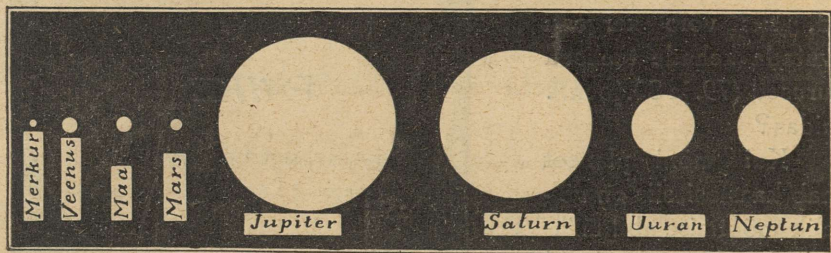


79. joon. Päikese ja planeetide võrdlevad suurused.

7. Päikese läbimõõt esineb meile nurgi umbes 32'. Arvutada, missuguse nurgi ilmuks Päikese läbimõõt, kui teda vaadata Merkuri ja Neptuni pealt. Esitada tulemused graafiliselt, joonestades ringid, mis kujutaksid Päikese näivat ketast, vaadatuna Merkurilt, Maalt ja teistelt planeetidelt!

8. Võrrelda kiirte-energia hulki, mis saab Päikese kiirte suunale risti asetatud pinna osa (1 cm^2) mitmesuguste planeetide peal!

96. Planeetide jaotus. Kauguse järgi Päikeselt on meie Maa kolmas planeet Päikesesüsteemis. Planeedid, mis Päikesele ligemal, nagu Merkur ja Veenus, kutsutakse sisemisteks planeetideks.



80. joon. Planeetide võrdlevad suurused.

Nad võivad meile ilmuda ainult õhtul läänetaevas pärast Päikese loojangut või hommikul idataevas enne Päikese tõusu. Seevastu aga võivad välimised planeedid, mille teed, nagu Marsil, Jupitril jne., on Maa teest väljaspool, meile paista mitte ainult õhtul ja hommikul, vaid iseäranis heledasti just kesköö ajal, mil nad on vastuseisus Päikesega. Nähtamatuiks muutuvad meile kõik planeedid, kui nad asetsevad oma ülemises ühenduses, s. o. kui nad on teispool Päikest.

Kuid planeetide jaotus sisemisiks ja välimisiks on juhuslik, sest et see oleneb meie enese seisukohast Päikesesüsteemis. Oma ehituselt ja loomult võib planeedid rühmitada järgmiselt:

1. Väiksemad planeedid — Merkur, Veenus, Maa, Marss, mis suuruselt, väliselt ilmet ja pöörlemise vältelt on enam-vähem Maa sarnased. — Hiljuti avastatud planeet Pluton sarnaneb ka näiliselt väiksemate planeetidega.

2. Suured planeedid — Jupiter, Saturn, Uuran, Neptun. Need on suure ruumala ja suure massiga, kuid väikese tihedusega taevakehad, millel on pikaldased tiirlemised ümber Päikese ja kiired pöörlemised telje ümber. Pinna ehitus ja atmosfääri koostis näib neil umbes ühesugune ja hoopis teissugune olevat kui Maa sarnaseil planeetidel.

3. Väikesed planeedid ehk asteroidid lahutavad ruumiliselt mõlemaid rühmi teineteisest. Need on tillukesed õhkkonnata taevakehad, mille kogumass on ainult umbes $\frac{1}{1000}$ Maa massist.

4. Planeetide kaaslased võib oma kosmiliselt seisult eraldada iseäralisse erirühma.

97. Päikesesüsteemi tekkimisest. Kant-Laplace'i hüpotees 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 kas kosmilise tolmu ja meteoritide (Kant) või gaasi (Laplace) pilvest, mis kord asetses meie Päikesesüsteemi asemel.

Laplace'i järgi arenes Päikesesüsteem esialgsest udugugust, mis oli hõõguvalt palav ja ulatus Päikesest umbes Neptuni teeni. Ta võis sarnaneda kerakujuliste udugugudega, milliseid juba W. Herschel tundis õige palju. Selline udugogu oli pöörlevas liikumises; ta koosnes võrdlemisi tihedast tuumast, millest hiljemini sündis Päike, ja seda ümbritsevast hõredamast õhkkonnast, millest planeedid said oma alguse.

Jahtudes tõmbus udugogu aegamisi koomale. Mehaanikaseaduste põhjal liikumise hulk ei võinud seejuures muutuda, järelikult pidi udugogu aja jooksul hakkama pöörlema kiiremini. Selle tulemuseks oli, et udugogu, mis esialgu püsis kerakujulisena, muutus ikka lapikumaks. Tema teljelt kõige enam eemaldunud osades (ekvaatoril), mis liikusid suurima lineaarse kiirusega, omandas kesktõuke-tungviimaks suuruse, mis võrdus külgetõmbega; selle tagajärjel sai uduline rõngakuju-line mass iseseisvuse ja eraldus udugogu edasisel koondumisel viimasest täiesti. Ta tihenes hiljemini keraliseks tombuks, millest kujunes planeet. Kuid udugogu jahutamisel koondus see ise ikka enam ja hakkas kiiremini pöörlema, mille tulemuseks oli järjest uute rõngaste eraldumine ja neist uute planeetide sündimine. Kaaslased tekkisid 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 seni 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 kallal palju töötasid ameerika astronoom Moulton, inglise astrofüüsik Jeans jt. 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 hiigalsuured 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.

XII. Päike.

98. Päikese suurus ja mass. Teades Päikese kaugust meilt (149 500 000 km) ja nurka, mille all meile esineb Päikese raadius (16'), võib kergesti arvutada (§ 50) Päikese tõelist raadiust, mis on ligi 700 000 km. Sellega on ta Maa raadiusest 109 korda suurem, millest järeneb, et Päikese ruumala on umbes 1 300 000 Maa ruumala.

Päikese ja Maa vastastikuse külgetõmbe võrdlemine raskustungiga Maa pinnal annab (vt. § 81) Päikese massi väärtuse. See on 330 000 korda Maa massist suurem. Neist andmeist saame, et Päikese ainetihedus on $\frac{1}{4}$ Maa keskmisest tihedusest; viimane aga on 5,5 (vee tihedus = 1), seega on Päikese aine ainult 1,4 korda veest tihedam.

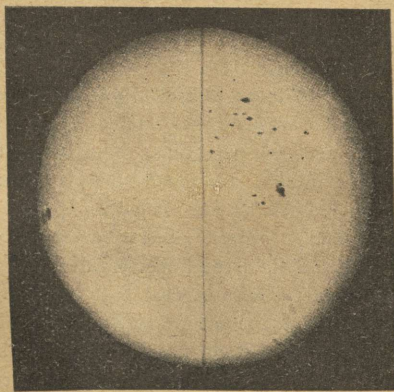
Nõnda koosneb Päike ainest, mille keskmine tihedus on tunduvalt väiksem kui Maa aine keskmine tihedus.

Päikese suuruse ja massi põhjal võib määrata ka raskustungi tugevust Päikese pinnal (kuidas?). See on umbes 28 korda tugevam kui Maa pinnal.

1. Raskustungi kiirendus Maa pinna juures on $9,8 \frac{m}{sek^2}$; 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?

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



81. joon. Päikese fotosfäär ühes laikudega.

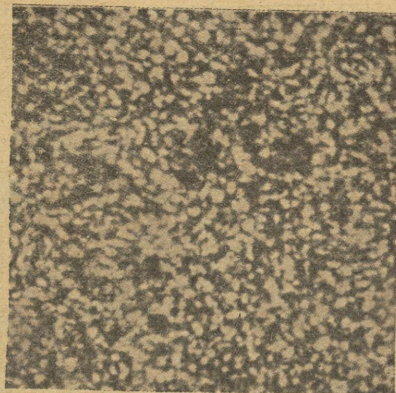
99. Päikese pind. Palja silmaga vaadates esineb meile Päike pimestavalt heleda kettana. Kuid juba väikeses pikksilmas, nagu seda esimesena tõendas Galilei, võib tumeda klaasi abil Päikese heledal pinnal enamasti alati tähele panna tumedaid täppe või laiike (81. joon.). Suurema pikksilma läbi vaadeldes paistab Päikese helenev pind ehk **fotosfäär** meile enam-vähem räbusena, kirjuna, just kui ujusid tumedamal tagapõhjal heledamad terad või

sõmerad (82. 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 kümme kuni nelikümmend kilomeetrit sekundis. Nende tõeline loomus on veel lõplikult selgitamata; mitmed uurijad sarnastavad neid pilvedega, nähes neis fotosfääri gaaside tihendusi.

Päikese ketta heledus on tema keskpaigas kõige suurem; ketta servade poole heledus korrapäraselt kahaneb, mida iseäranis selgesti 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.

100. Päikese pöörlemine.

Päikese pinnal ilmuvaid laike vaadeldes tuli ilmsiks nende liikumine. Peale laikude erisuunaliste liikumiste on neil veel ühine kiirem samasuunaline liikumine (idast läände), mida kerge on seletada Päikese pöörlemisega ümber oma telje. Järelilikult võib kõnelda Päikese poolustest, ekvaatorist ja Päikese pinnal asetsevate punktide heliograafilisest (*helios* — Päike) laiupest ja pikkusest.



82. joon. Päikese granulatsioon.

Päikese laikude liikumiste üksikasjalisem uurimine näitas, et Päike ei pöörle mitte täiesti nagu kõva, 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 27 päevani. Päikese pöörlemist ja selle iseloomu on peale laikude võimalik uurida ka teiste Päikese pinnal ilmuvate moodustiste (faklite, protuberantside) abil.

Päikese ekvaator on ekliptika suhtes kaldu umbes 7° võrra. Detsembris ja juunis, mil Maa asetseb Päikese ekvaatori tasapinnas, esinevad laikude näivad teed

ehk trajektoorid, Päikese kettal projektituna, sirgjoonelistena; märtsis ja septembris aga, mil Maa on kõige rohkem Päikese ekvaatori tasapinnast eemal, esinevad nad meile ellipsi kaartena.

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

101. Päikese laigud. Päikese pinnal on pikksilmaga peaaegu alati näha tumedaid laike. Tüüpiline laik on ümmargune; see koosneb keskmisest tumedast osast, nn. varjust (*umbra*), mida ümbritseb heledam, hallikas äär, mis kutsutakse poolvarjuks (*penumbra*)



83. joon. Suur Päikese laik 1872. aastal.

(83. joon.). Laik pole mitte absoluutselt tume, vaid ainult Päikese pimestavalt heleda pinna kontrasti mõjul seesugune. Kui oleks võimalik kõrvaldada Päikese pinna heledat tagapõhja, siis näiks laik meile ikkagi veel küllalt hele.

Laikude suurus on mitmesugune. Mõned laigud on nii suured, et neid palja silmagagi võib näha. Paljude laikude pindala on suurem kui Maa pind (83. joon.). 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.

Laikude kaasas, kuid vahel ka neist eraldi, ilmuvad erilised heledad loited ehk lõkkes, nn. faklid. Nad näivad üldiselt fotosfäärilisest pinnast asetsevat natuke kõrgemal ja on sellest heledamad.

Päikese laigud ei ilmu mitte igas kohas Päikese pinnal, vaid kõige sagedamini ekvaatorilises vöös — kuni 30° põhja- ja lõunalaie 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 tehtud kindlaks, et Päikese laikudel on pööriseline ehitus nagu meie tuulispäil, tornaadodel ja tsükloneil. Ioniseeritud gaaside pöörlemine Päikese laikudes, sarnanevalt elektrivooluga (vrd. solenoidiga!), tekitab laigus magnetilisi tunge. Et Päikese laigud on tugevad magneti tungi väljad, tõestab nn. Zeeman'i efekt. Viimane seisab selles, et valguskiirte läbides magnetiväljast spektrijooned paljunduvad, s. t. kahenevad või kolmenevad vastavalt sellele, kas kiired on rööbiti või risti magneti tungi joontega.

102. Päikese laikude perioodsus. Ehk küll Päikese laike ilmub peaaegu alati, kuid mõnedel ajajärgudel ilmub neid iseäranis sageli ja teistel — üsna harva. Esimesi kutsutakse Päikese laikude maksimumideks, teisi — miinimumideks. Kauakestnud vaatluste abil saadud andmete statistiline uurimine näitas, et laikude ilmutamise sagedus kordub perioodiselt. 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 oli kõne, on uurimine kindlaks teinud, et Päikese laigud põhjustavad tugevaid magnetitunge. Ka on teada, et Päikese laikude ilmutamine on Maa magnetismi ja virmalistega ühenduses. Kui mõni suur Päikese laik asetseb Päikese ketta keskpaigas, siis võib sageli tähele panna virmaliste ilmutist ja nn. magnetitorme, mil magnetnõel näitab järske kõikumisi. Ka on teada,

et Päikese laikude perioodile vastab Maa magnetismi elementide perioodiline muutumine (84. joon.).

103. Päikese spekter ja keemiline koostis. Päikese pindkihi ehituse ja koostise kohta saame teateid, uurides Päikese spektrit.

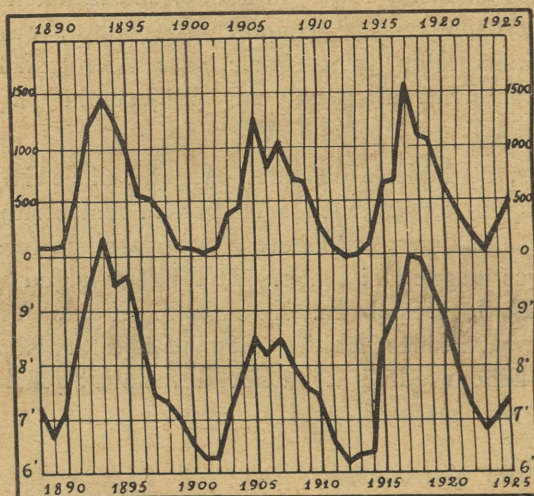
Kui vaatame spektroskoobi läbi Päikese valgust, siis näeme spektrit, s. o. vikerkaarelistest värvidest (punane, ruuge, kollane, roheline, taevas-sinine, sinine, violet) koosnevat vööti, mis on läbitud tumedate, nn. Fraunhoferi joontega.

Kui valguskiired tulevad takistamata mõnelt hõõguvalt kõrge temperatuuriga kindlalt või vedelalt kehalt, siis tekib pidev spekter, tumedate Fraunhoferi joonteta

Samuti võib pidev spekter esineda juhul, kui valguseandjaks on gaasiline keha, mis suure rõhu all on tugevasti kokku surutud, nagu seda arvatavasti on sügavamad gaasikihid Päikesel.

Tulevad aga valguskiired hõõguvalt gaasilt, siis esineb nn. kiirgamis- ehk emissioonispekter, üksikute heledate erivärviliste joontega.

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 neeldum



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

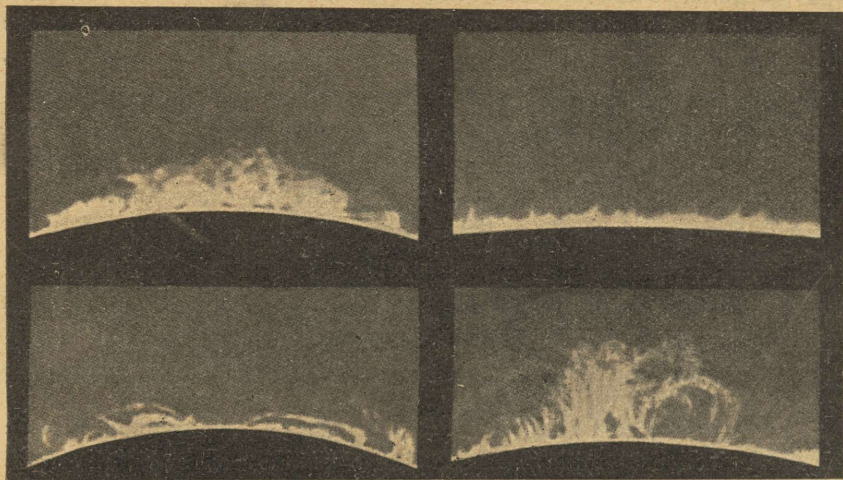
misjooned asetsevad temas just neis kohtades, kus muidu oleksid heledamad kiirgamisjooned, kui sama gaas esineks hõõguvana.

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 spektri osad, jättes järele tumedad kohad (jooned). Päikese spektris on mõõdetud ligi 20 000 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. Lihtaine

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 Maad ümbritsevast õhkkonnast, milles osa kiiri meie juurde tulles neeldub. Viimaseid kutsutakse maalisteks joonteks.

Päikese uurimiseks tarvitatakse sageli nn. spektro-heliograafilist meetodit. Iseäralise riista, nn. spektro-heliograafi abil fotograafitakse,



85. joon. Päikese protuberantside ülevõtteid.

kasutades ainult üksikut spektrijoont, kogu Päikese ketas. Siis võib Päikese ketta ülevõttel näha ainult neid kohti Päikesest, kus esineb vastav aine gaasilises olekus, näit. kaltsium või vesinik.

104. Päikese protuberantsid. Täielise päikesevarjutuse ajal, kui Kuu mõneks minutiks katab Päikese ketta, võib sageli Päikese servadel näha helenevaid leegitaolisi moodustisi, mida kutsutakse protuberantsideks (85. joon.).

Aastal 1868 õnnestus inglise astrofüüsikul L o c k y e r'il ja prantsuse astronoomil J a n s s e n'il teineteisest täiesti iseseisvalt vaadelda Päikese protuberantse ka v ä l j a s p o o l päikesevarjutust. Praegusel ajal võib neid vaadelda ja fotograafida igal selgel päeval, kui neid on Päikese servadel olemas. Selleks on tarvis suure hajutusvõimega spektroskoopi, mille natuke laiendatud pilu on tangentsiaalselt asetatud Päikese serva kohale. Protuberantsi võib siis näha spektrijoone erivärvis, näit. kaltsiumi protuberantsi — violetses kaltsiumijoones, vesiniku protuberantsi iseäranis selgesti — punases vesinikujoones jne. Nõnda võib samal ajal uurida niihästi protuberantsi keemilist koostist kui ka vaadelda selle kuju.

Protuberantside kuju on väga mitmesugune ja kiiresti muutuv. Kord esinevad nad kui grandioossed tulekeeled või -sambad, millel on pööriseline ja purskeline ehitus, kord aga kui pilved, 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 Päikese pinnast eemal. Suure liikumiskiirusega on seotud ka protuberantside rutuline kujumuutumine. Enamasti sünnib see juba mõne tunni või koguni minutiga. Üldiselt ei kesta nende ilming kuigi 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 laiugud kunagi ei ilmu, nagu näit. Päikese pooluste piirkonnas. Ka on protuberantsidel nagu Päikese laikudelgi 11-aastane sagedusperiood.

105. Päikese õhkkond. Päikese „pinna“ all mõeldakse fotosfääri ülemist piiri, mida Päikese kui gaasilise keha juhul ei tule kujutella järsult piiratuna. Päikese fotosfääri ümbritseb gaaside kiht, mis 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.

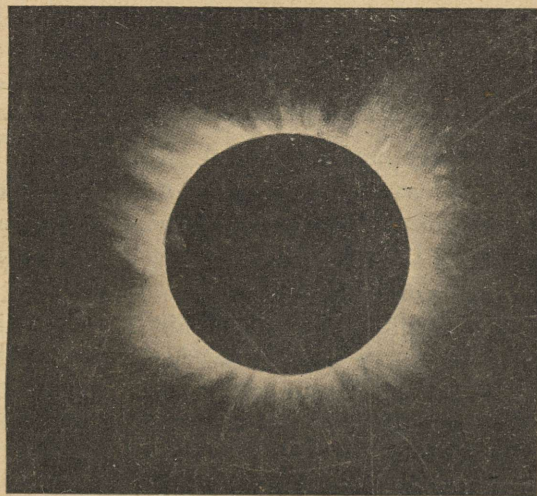
Kromosfääri on kõige parem uurida täielise päikesevarjutuse ajal. Momen dil, mil Kuu ketas päikesevarjutuse ajal katab parajasti Päikese serva viimase osa, võib spektroskoobi läbi vaadates näha, et tumedad Fraunhoferi jooned välgatavad heledaina. See on nn. välgatusspekter, mille ilmumine kestab ainult umbes 1 sekund. Ta tekib hõõguvate gaaside mõjul Päikese kromosfääri alumises kihis. Seda viimast kutsutakse vahel „ü m b e r p ö ö r a v a k s“ kihiks ja loetakse peamiselt tumedate Fraunhoferi joonte tekitajaks. Selle paksus on ainult umbes 800 km.

106. Päikese kroon. Päikese täielise varjutuse ajal, kui Kuu on asunud Maa ja Päikese vahele ja katnud meie pilkude eest Päikese pimestavalt heleneva ketta, võib selle ümber näha omapärasest hõbehiilgavat kiirtelist pärga ehk oreooli, mida kutsutakse Päi-

kese krooniks (86. joon.). Päikesevarjutuseta pole teda seni suudetud näha. Krooni pindheledus kahaneb kiiresti ühes kaugusega Päikese servast, kuid mõnikord on võimalik olnud seda jälgida Päikese mitme raadiuse kauguseni. Kroon annab meile umbes niisama palju valgust kui täiskuu.

Krooni ehitus on õige keerukas. Vahel paistavad temas silma kiirte vihud, mis lähevad Päikese juurest laiali. Krooni spekter on nõrga pideva tagapõhjaga, millel paistavad mõned heledad kiirgamisjooned. Mõned uurijad omistavad neid jooni hüpoteetilisele väga kergele

gaasile, nn. „krooniumile“. Kuid moodsa aatomite ehituse teooria järgi on raske sellist kujutella; seepärast on tõenäoline, et krooni spektrijooned kuuluvad mõnele meile tuntud ainele, mis heleneb Päikese kroonis seal erilisel valitsevais tingimusi. — Mõnede autorite järgi aga on siin tegemist gaasiga, mis koosneb elektronidest, s. o. nn. elektrongaasiga.



86. joon. Päikese kroon.

Krooni kuju muutub tunduvalt ühes 11-aastase Päikese tegevuse perioodiga. Maksimumi aastail, mil see tegevus on kõige intensiivsem, on kroon ühtlane; miinimumi aastail näib ta pooluste juures olevat kokku surutud, kitsam.

107. Päikese kiirgamine ja temperatuur. Päike on kõrge temperatuuriga gaasiline keha, mis kiirgab energiat igale poole ilma-ruumi. Maa saab sellest energiast ainult $\frac{1}{2\,200\,000\,000}$ (kuidas seda arvu leida?) ja kõik planeedid ühtekokku umbes $\frac{1}{225\,000\,000}$ osa; kõik muu hulk hajub, planeetkonna kasutamata, ruumi laiali.

Päikese kiirgamise hulga ja temperatuuri hindamine on võimalik suuruse abil, mis kutsutakse päikesekonstandiks.

Päikesekonstant on grammkaloreis mõõdetud Päikese soojuse hulk, mis langeb ühe minuti jooksul Maa pinna juures asetsevale ja Päikese kiirtele risti asetatud ühe ruutsentimeetri 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 päikesekonstandi väärtus on 1,94 grammkalorit minutis (ümmarguselt võib lugeda 2 kalorit).

Abbot'i ja mõnede teiste uurijate andmete järele näib päikesekonstant perioodiselt vähe muutuvat. Tema suurim väärtus vastab laikude maksimumi ajale, mil Päike avaldab kõige intensiivsemat tegevust.

Päikesekonstandi põhjal võib arvutada kogu soojuse hulka, mille Päike saadab välja igas minutis. Kujutleme selleks Päikese kui keskpunkti ümber kerapinna, mille raadius oleks nii pikk kui Maa kaugus Päikesest, s. o. $149\frac{1}{2}$ miljonit km. Pindala 1 sm^2 sel kaugusel püüab minuti jooksul kinni ligi 2 kalorit Päikese soojust. Järelikult saadab Päike ühes minutis välja niipalju kordi enam soojust, mitu ruutsentimeetrit sisaldab eneses nimetatud kera pind.

Nõnda võib arvutades leida, et iga ruutsentimeeter Päikese pinnast annab umbes 90 000 kalorit soojust minutis ja et Päikese kiirgava energia töövõimsus on Päikese pinna iga ruutsentimeetri kohta 9 hobusejõudu. — Tuleta päikesekonstandi põhjal need arvud!

Päikesekonstandi põhjal võib arvutada ka Päikese pinna keskmist ehk nn. efektiivset temperatuuri. Kujutleme omale täiesti tumeda keha, mis sama suur on kui Päike ja mis ka soojust kiirgab sama palju kui Päike. Seesuguse tumeda keha kiirgamise hulk on võrdeline keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega (Stefan'i seadus). Mõeldes Päikese asemel tumedat keha, nn. täielist kiirgajat, ja teades kiirgamise hulka ühe ruutsentimeetri pinna kohta võib arvutada keha pinna absoluutset temperatuuri. Päikese jaoks osutub see umbes 5800° , millest Päikese fotosfääri tõeline temperatuur ei võiks olla madalam, vaid ennemini küll kõrgem. Sügavamal Päikese sees on temperatuur muidugi palju kõrgem ja ulatub teoreetiliselt mitme miljoni kraadini.

1. Mitu kalorit soojust kiirgab Päike ühes sekundis? Mitu kalorit saab sellest soojusehulgast Maa?

2. Arvutada, mitu ergi kiirgamisenergiat (soojust) tuleb Päikese massi iga grammi kohta ühes sekundis (Päikese mass = 2.10^{33} grammi) ja mitu gramm-kalorit iga massi grammi kohta aastas!

3. Mitme hobuse töövõimsus on Päikesest kiirguval energial? Mitme hobuse töövõimsus on energial, mille Maakeri saab Päikeselt?

108. Päikese soojust allikaid. Päikese kiirte energia kogu töövõimsus on ligi 6.10^{23} hobusejõudu (kuidas arvutada?). Tekib küsimus, millest Päike muutab oma energiat, mis määratu suure kulutuse puhul siiski meile tunduvalt ei kahane?

Kui Päike millestki oma soojusehulka ei täiendaks ja kiirgumine toimuks ainult olemasoleva soojuste tagavara arvel, siis peaks Päike kiiresti jahtuma, mida aga tõeliselt ei toimu. Samuti pole raske tõendada, et Päikese kiirgumise põhjuseks ei või olla põlemine. Põlemisel tekkinud soojuste hulk 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 meteoroore, mille juures nende kinetiline energia muundub soojusteks. Kuid tõenäoliselt pole langevaid meteoroore nii palju, et nendest tekkinud soojust oleks võrdne Päikesest kiirgumise teel lahkuva soojustehulgaga.

Helmholtz esitas eelkirjeldatud teooria teisendatud kujul. Meteooride langemise asendas ta Päikese enese massi osade pikaldase langemise ehk vajumise-ga Päikese keskpunkti poole, s. o. Päikese koondumisega. Et Päikese keha on gaasilises olekus, siis koondub ta oma enese raskuse ehk külgetõmbe mõjul, mille tulemusena ilmub soojust. On arvatud, kui Päikese raadius väheneks aastas ainult 75 meetri võrra, siis jätkuvalt tekkinud soojust selleks, et Päikese nüüdset kiirgumist tasakaalus hoida. Helmholtzi teooria põhjal võib ka arvutada, kui kaua üldse on kestnud Päikese koondumisprotsess — lugedes tema esialgsest nebulaarsest ehk udulisest olekust praeguse seisukorrani. Sel viisil saadakse Päikese eaks ligi 20 miljonit aastat. Et Maad ei tule Päikesest vanemaks arvata, siis oleks ka Maa vanus piiratud eelnimetatud arvuga. Teiselt poolt nõuavad aga geoloogilised ja muud tõsiasjad, et Maa vanus oleks sadasid miljoneid aastaid. Sellepärast ei või Päikese koondumist lugeda tema ainukeseks ja oluliseks soojuste põhjuseks.

Uuemal ajal avastati radioaktiivsed ained. Nende lagunemisel vabaneb palju soojust; nõnda annab 1 grammi raadiumi lagunemine 136 gramm-kalorit tunnis. Seepärast võiks tekkida arvamus, et Päikese soojust 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 üksikasjaline arvutus tegi selgeks, arvesse võttes radioaktiivsete ainete omadusi, et pole kaugeltki võimalik Päikese kiirgumise hulka ja isearanis selle kauast kestust sel viisil põhjendada.

Nõnda pole ükski eeltoodud oletusist suutnud rahuldavalt seletada Päikese soojuste tekkimist. On tõenäoline, et Päikese sees kõrge temperatuuri ja suure õhumiise erakordseil tingimusil energia vabaneb aatomite tuumadest. Ka peetakse võimalikuks, et aine ise muutub energiaks.

Helmholtz'i teooria põhjal peaks Päikese raadius aastas 75 meetrit lühemaks muutuma. Oletades, et meie võime Päikese raadiuse kindlaks määrata ühe kaaresekundilise täpsusega, palju aega mööduks enne kui meie suudaksime märgata Päikese vähenemist?

XIII. Kuu.

Meenuta andmeid Kuu kauguse, suuruse, liikumisperioodi jne. kohta!

109. Kuu pinna ehitus. Palja silmaga võib Kuu pinnal näha tumedaid laiike, mis annavad Kuu välisnäole kindla ilme. Et Kuu



välisnägu ei muutu, siis sellest järgneb, et Kuu hoiab alati sama külge Maa poole.

Pikksilma läbi vaadates kaob Kuul tema harilik välisilme täiesti, kuid ühtlasi ilmub selle asemele (87. joon.) hulk peenusi ja üksikasju.

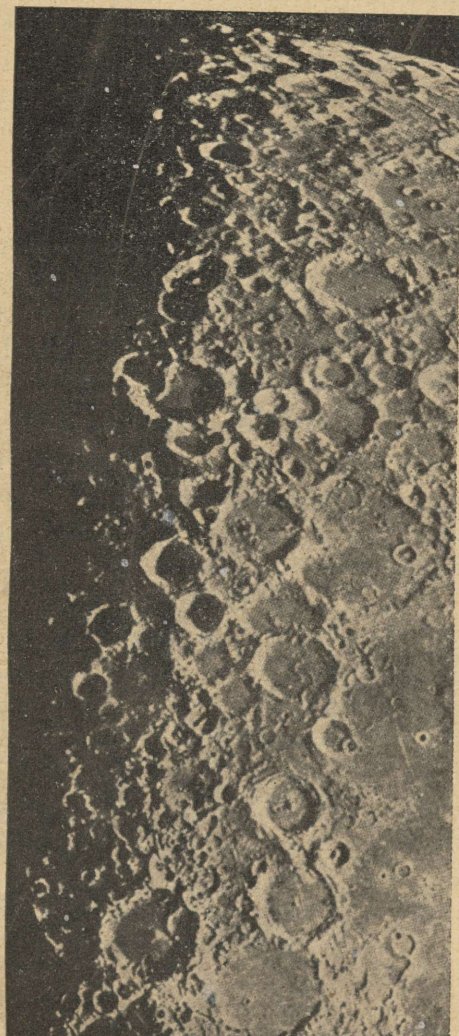
Suure osa Kuu pinnast moodustavad tumedamad tasase pinnaga alad ehk nn. „mered“, sest varem al ajal peeti neid tõelisiks veekogudeks. Muu osa Kuu pinnast aga on väga ebatasane ja konarlik. Võib näha tuhandeid kõrgendikke, mis heidavad teravate piirjoontega tumedaid varje. Valgustatud ja valgusta-

87. joon. Kuu üldvaade (1. veerandi faas).

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

Kõrgendikud ehk mäed Kuu pinnal ei esine pikkade ahelikku- dena nagu Maa peal, vaid üksikult, eraldatult, ehk nad küll vahel suurel arvul tihedalt rühmituvad üksteise ligidal. Kuu mäed võrreldes Kuu läbimõõduga (3474 km) on „kõrgemad“ kui Maa mäed; mägede kõrgust võib mõõta nende varju pikkuste abil.

Tüüpilised Kuu pinnavormi moodustised on nn. rõngasmäed, mis elavalt tuletavad meelde vulkaanide kraatreid (88. joon.). Nad koosnevad ringikujulisest vallist, mille seespool asetseb süvend. Viimase keskpaigas on tihti künkas või teravik. Väiksemaid rõngasmägesid, mille läbimõõt on kuni 5 km, kutsutakse kraatreiks, suuremaid — tsirkideks (*circus*). Rõngasmägede arv on mituküm- mend tuhat. Silmas pida- des nende suurust ja rohket esinemist Kuu pinnal, on raske neid täiesti samas- tada kustunud vulkaanidega. Kui Kuu peal on kunagi valitsenud vulkaaniline tege- vus, siis pidi see end teisel viisil ilmutama kui Maa peal.



88. joon. Kuu maastik.

Suurte pikksilmade abil võib Kuul mitmes kohas tähele panna tumedaid jooni, mis vahel suurel ulatusel lõikavad „mehesid“, mägede rühmi ja koguni üksikuid kraatreid. Need on nähtavasti praod ehk mōrad 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 (vulkaaniline tuhk), mis on langenud Kuu pinnale.

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

110. Kuu loodus. Kuul pole õhk- ja vesikonda nagu Maal. Seda tõendavad mitmesugused nähtused:

1. Kui Kuu oma tiirlemisel ümber Maa läheb tähe ette ja katab selle, siis täht kustub äkitselt, mida poleks mitte, kui Kuud ümbritseks atmosfäär, mis neelaks sellest läbitungivat tähe valgust.

2. Varjude piirjooned Kuu peal on teravad, selged, millest järeldub, et seal pole hämariku nähtusi, mida tekitab õhkkond.

3. Kuu spekter on täiesti Päikese spektri sarnane; valgus, mis peegeldub Kuu pinnalt, on Päikese muutumatu valgus; seda poleks mitte, kui Kuud piiraks õhkkond, mis neelaks Päikese kiiri.

Ka vesi puudub Kuu pinnal. Kui seal tunduval määral oleks vett, siis see muutuks auruks ja moodustaks veeauru õhkkonna. Kuu pinnamoodustised on kõik teravate piirjoontega, mis näitab, et nende kallal pole õhkega vesi teinud murendamis- ja uuristus-tööd. Nähtavasti on Kuu väikese massi ja järelikult nõrga külgetõmbe tagajärjel õhkkond temalt hajunud ilmaruumi. Õhkkonna puudumine tekitab Kuu peal kõige karedama kõrvekliima. Päeval, mis kestab 2 meie nädalat, võib pinna temperatuur tõusta umbes saja kraadini, ööl aga, mis vältab niisama palju aega, langeb ta vististi absoluutse nulli lähedale. Tuule, pilvede, niiskuse, hämariku ja taevasina puudumine selle juures tekitab mulje täiesti surnud maailmast.

Kuu õhkkonna puudumisel pole võimalik spektroskoobilisel teel saada teateid Kuu koostisest. Kuid Kuu pinna koostise ja ehitise kohta lubab teha, olgugi ligikaudselt, mõningaid järeldusi nn. albeedo. Selle all mõeldakse arvu, mis näitab, kui suur osa kõigest mõnele pinnale langevast valgusest peegeldub tagasi ruumi. Nõnda näit. sõe albeedo on nulli, lume oma ühe lähedal. Kuu albeedo keskmiselt on 0,15; seega 15% kõigest Kuu pinnale langevast Päikese valgusest peegeldub tagasi maailmaruumi, kuna 85% absorbeerib Kuu pind. Samasugune albeedo, mis Kuul, on umbes savimerglil. Tumede kohtade („merede“) albeedo

on võrdne hangunud laava omaga, kuna heledad mägede kallakud osutavad albeedo väärtust, mis on vulkaanilisel tuhal.

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?

XIV. Planeedid.

111. Merkur. Merkur on Päikesele kõige ligem planeet. Tema kaugus on 0,4 astronoomilist ühikut, s. o. Maa kaugust Päikeselt. Olles Päikesele ligidal, kaob ta meile sageli selle valguses ja on palja silmaga harva näha. Siiski võib teda leida ka ilma 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.

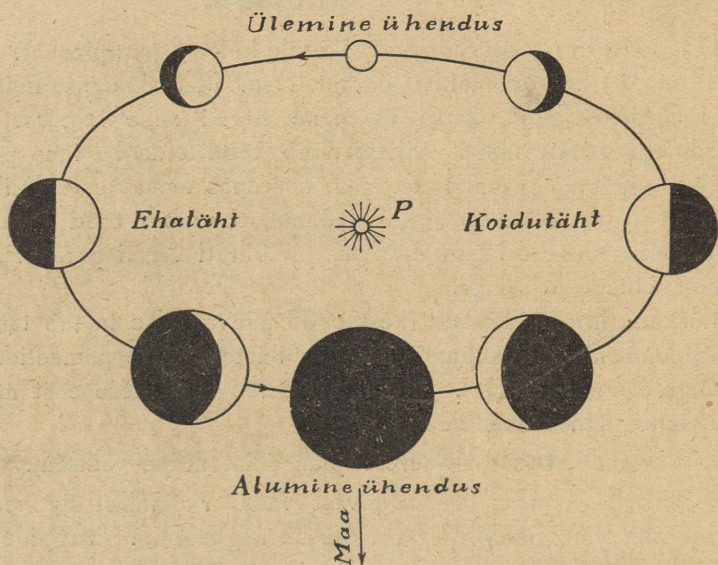
Merkuri tiirlemisperiood kestab 88 päeva. Tema tee tasapind on ekliptika tasapinna suhtes võrreldes teiste suurte planeetide teedega kõige enam kaldu (7°). Mõnikord läheb ta Päikese eest mööda, ilmudes selle pinnal tumeda täpina.

Merkur on kaheksast suurest planeedist kõige väiksem. Tema ruumala on $\frac{1}{20}$ ja mass $\frac{1}{18}$ vastavast Maa ruumalast ja massist. Pikksilma abil võib näha Merkuril faase nagu Kuul. Täppide põhjal, mis olid mõnikord näha planeedi pinnal, püüdsid Schiaparelli (1835—1910) ja Lowell (1855—1916) määrata Merkuri telje ümber pöörlemise perioodi; nende järgi oleks see 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 Merkuri valgustatud küljel, kus valitseb igavene päev, püsima kõrge palavus — seda enam, et Merkuri peal Päikese soojuse intensiivsus on 6 korda suurem kui meil. Teleskoobilised uurimised näitasid Merkuri sarnasust Kuuga. Nagu viimasel, nii näivad ka Merkuril puuduvat pilved ja atmosfäärilised ilmingud; pind esineb ebataasasena ja künkalisena.

112. 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 et ta Päi-

kesest võib tunduvalt minna eemale (keskmiselt 46°). Peale selle on Veenus kõige heledam taevakeha peale Päikese ja Kuu. Oma suurima heleduse ajal võib teda leida päevalgi, iseäranis kui teada, kus kohas taevavõlvil ta asetseb.

Pikksilma abil võib Veenusel hõlpsasti näha faase (89. joon.), mis esimesena avastas Galilei (1564–1642). Mõnikord läheb



89. joon. Veenuse faasid.

Veenus Päikese eest mööda, ilmudes selle heledal pinnal väikese tumeda kettana. Seesugust juhtumust kasutati selleks, et määrata Maa kaugust Päikesest.

Veenus on umbes nii suur kui Maa, kuid tema mass on Maa massist natuke väiksem.

Veenus tiirleb ümber Päikese 225 päevaga. Ümber telje pöörlemise periood on tundmatu. Ühtede vaatluste järgi kestab see 225 päeva, mille tagajärjel Veenus hoiaks alati sama külge Päikese poole nagu Merkur, kuid teiste järgi on see periood lühemaajaline.

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 väga palju valgust tagasi (albeedo 0,88), mille tõttu Veenus paistab

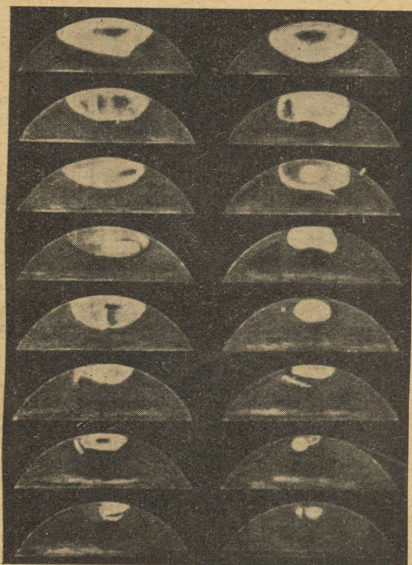
öösi pikksilmas pimestavalt säravana. Seepärast on teda parem pikksilmas vaadelda päeval, kui tahetakse näha rohkem üksikasju.

113. Marss. Marss on Maa lähim välisplaneet. Ta kaugus Päikesest on 1,5 Maa kaugust. Sirgjoon, mis ühendab Maad Marssiga, võib Maad ja Päikest ühendava sirgjoonega moodustada iga-suguse nurga 0° -st kuni 180° -ni. Seega võib Marss paista ka kesk-ööl — Päikesele vastuseisus, ja ta on siis iseäranis hele, ilmudes punaka kauni tähena.

Marsi tee on tunduvalt pikergune ellips. Kui Marsi vastuseis Päikesele toimub sel ajal, kui ta on oma tee Päikesele kõige lähemas osas (perihelis), siis on ta ka Maale kõige lähemal (umbes 55 miljonit km). Niisugune nn. „suur“ vastuseis kordub iga 15 aasta tagant; viimane oli augustikuus aastal 1924. Marsi ruumala on Maaga võrreldes 6 korda väiksem. Marss erineb Maast ka oma massilt, mis on 9 korda väiksem, ja tiirlemisperioodilt, mis kestab 687 päeva. Kuid Marsi sarnasus Maaga tuleb ilmsiks tema pöörlemisperioodi pikkuses, mis kestab umbes $24\frac{1}{2}$ tundi, ja telje kaldes oma teetasapinna vastu (25°).

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 silma paistavad valged laiugud Marsi polaar-piirkondades. Need vähenevad korrapäraselt Marsi „kevade“ ja „suve“ tulekul (90. joon.), kasvavad aga „sügisel“ jälle uuesti. On oletatud, et nad esindavad lume, halla või uduga kaetud pinda Marsi pooluste ümbruses. Peale valgete polaar-



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

laikude võib Marsi punakal pinnal tähele panna mitmesuguseid tumedaid, sinirohekaid laike (91. 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, Lowell jt.) poolt sirgjoonelisi tumedaid kitsaid ribasid, nn. „kanaleid“, mis risti-rästi lõikudes katavad võrguna planeedi pinda ja ühendavad omavahel suuremaid tumedaid alasid.

Kanalite loomus on alles vähe selgitatud. Nende olemasolus on vahel koguni kaheldud ja arvatud tegemist olevat omapärase illusiooniga. Et



91. joon. Marsi teleskoobiline vaade.

spektroskoobiliste vaatluste põhjal Marsil on veeauru väga vähe, siis on Marsi pinnal raske oletada suuri veehääle. Lowell'i ja teiste vaatlejate järgi on kanalid samuti nagu tumedad laigudki madalamad kohad Marsi pinnal, kuhu koguneb niiskust, mis võimaldab mõnesuguse taimestiku ja annab nendele kohtadele tumeda värvi. Niisugune oletus on kokkukõlas sellega, et kanalite kuju ja tumedus perioodiselt muutub ühes Marsi aastaegadega.

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

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

114. Väikesed planeedid ehk asteroidid. Marsi ja Jupiteri teede vahel tiirlevad laias vöös väikesed planeedid ehk asteroidid. Nende teed pole ühtlassagedalt asetatud, vaid rühmadeviisi, milles avaldub hiidplaneedi Jupiteri külgetõmbe häiriv mõju. Teede tasapinnad on mõnel neist ekliptika suhtes tunduvalt kaldu.

Aastal 1898 leiti asteroid Eros, mille keskmine kaugus Päikeselt on väiksem kui Marsil ja mille tiirlemisperiood kestab 642 päeva. Mitu päeva kestab see Marsil?

Asteroide on praegusel ajal teada üle tuhande. 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 tõenäoline, et asteroididel puudub õhkkond niisamuti nagu Merkuril ja Kuul.

115. Jupiter. Jupiter on ruumalalt ja massilt suurim planeet Päikesesüsteemis. Maaga võrreldes on tema ruumala umbes 1300 ja



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

mass ligi 320 korda suurem. Sellest võime järeldada, et Jupitri tihedus on ainult $\frac{1}{4}$ Maa keskmisest tihedusest ja 1,4 võrreldes vee tihedusega (võrdle Päikesega). Ta ümber Päikese tiirlemise periood on ligi 12 aastat.

Palja silmaga vaadeldes esineb Jupiter meile heleda, kuid rahuliku säraga kollakasvalge tähena, mis on peaaegu sama hele kui Veenus. Pikksilmaga võib tema pinnal näha täppe, mille abil on kerge tõendada, et Jupiter pöörleb umbes 10 tunniga oma telje ümber. Seesuguse kiire pöörlemisega on seletatav Jupitri suur lapikus ($\frac{1}{15}$).

Iseäralik on, et kitsas ekvaatoriline vöö Jupiteril pöörleb natuke suurema nurkkiirusega kui muu pind; selle poolest on Jupiteril sarnasust Päikesega.

Jupitrit ümbritseb tihe õhkkond, kus ilmub palju kiiresti-muutuvaid pilvetaolisi moodustisi. Nende hulgas eriti iseloomulikud on tumedad, pruunikad või valged vöödid ja viirud, mis asetsevad peamiselt rööbiti ekvaatoriga (92. joon.).

Asetsedes 5,2 korda Päikesest kaugemal kui Maa, on Jupiteri pinnal Päikese soojendamisevõime 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“ (92. joon. paremal pool üleval), mis paistis selgesti, siis mõne aja pärast kadus, kuid ilmus jälle uuesti, kuni aegamisi tuhmus. Arvatavasti võis see olla koore hangumisnähtus Jupiteri pinnal, mis iseloomustab esialgse mandri tekkimist.

116. Jupiteri süsteem. Aastal 1610, kui Galilei esimest korda tema enese poolt valmistatud pikksilmaga vaatles Jupitrit, üllatas teda kokkukõlaline ja mõjuv vaade. Neli heledat kaaslast ümbritsesid Jupitrit, mis selle ümber tiirlesid nagu planeedid ümber Päikese (92. joon., alumine). Jupiteri süsteemi vaade näis vahetult kinnitavat Koperniku õpetust, et mitte Maa pole maailma keskkoh, mille ümber tiirlevad kõik taevakehad.

Neist neljast heledamast kaaslasest on kõige suurem peaaegu Marsi, järgmine — Merkuri ja kõige väiksem meie Kuu suurune.

Jupiteri süsteemis esinevad sageli huvitavad ilmingud. 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 (92. joon., vasemal pool üleval). Jupiteri kuude varjutuste abil määrati esimest korda valguse kiirus (kuidas?). Neid tarvitati sageli ka geograafilise pikkuse määramiseks.

Aastal 1892 leidis ameerika astronoom Barnard Jupiteril veel 5. kaaslane. Hiljemini, käesoleval sajandil, avastati fotograafia abil Jupiteri 6., 7., 8. ja 9. kaaslane. Need on väga väikesed kehad; 8. kaaslane liikumine toimub vastupidises suunas.

117. Saturn. Saturn, mis tiirleb Päikesest $9\frac{1}{2}$ korda kaugemal kui Maa, on suuruselt Jupiteri järgmine planeet Päikesesüsteemis. Paljale silmale paistab ta tuhm kollaka l. suuruse tähena. Saturn on Maaga võrreldes ruumalalt 745 ja massilt 95 korda suurem, millest

järgneb tema aine väga väike tihedus (arvutada selle suurus ja võrrelda vee tihedusega!).

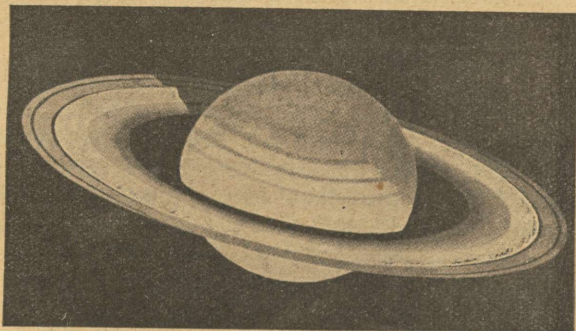
Saturn tiirleb ümber Päikese $29\frac{1}{2}$ aastaga ja pöörleb oma telje ümber 10 tunni 14 minuti jooksul. Kiire pöörlemise tagajärjel on planeedi kuju suur lamendumine ehk lapikus ($\frac{1}{10}$), mis on veel suurem kui Jupiteril.

Pikksilmaga võib Saturni kettal tähele panna vööte, kuid need pole mitte nii selged kui Jupiteril. Saturni ümbritseb tihe pilverikas õhkkond, milles võib tõendada veeauru olemasolu. Sarnasust Jupiteriga osutab ka albeedo, mis on umbes võrdne Jupiteri omaga (vt. 2. tab. raamatu lõpul).

Saturnil leiti 10 kaaslast. Kaks viimast, mis väga väikesed, avastati alles hiljuti fotograafilisel teel. Üks neist (9.) liigub vastupidises suunas.

118. Saturni rõngas. Mille poolest Saturn täiesti erineb kõigist teistest planeetidest, on lai ja õhuke rõngas, mis ümbritseb planeeti, selle külge puutumata (93. joon.). Galilei, kes nägi rõngast esimest korda, pidas seda planeedi kaheks kaaslaseks. 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 jooned.

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



93. joon. Saturn.

119. Uuran. Aastal 1781, kui W. Herschel toimetasku vaatlusi Kaksikute tähtkujus, pani ta korraga tähele taevakeha, millel pikksilma läbi vaadates oli silmapaistev ketas. Herschel pidas seda esiti komeediks, kuni hiljemini selgus, et uus taevakeha on planeet,

mis sai omale nime — Uuran. Selle kaugus Päikesest on 19,2 ja tiirlemisperiood 84 aastat. Maaga võrreldes on ta ruumalalt 63 ja massilt 14,6 korda suurem. Arvuta tihedus!

Uuran esineb paljale silmale 6. suuruse tähena. Suurtes pikk-silmades paistab ta rohekasvalge kettana, millel võib tähele panna Jupiterit ja Saturni iseloomustavaid vööte.

Uurani telg on oma tee tasapinnaga vägakaldu (98°), nõnda et peaaegu ühtib sellega. Oma loomult näib Uuran olevat Saturni ja Jupiteri sarnane. Tal on avastatud 4 kuud, mille teed on Uurani tee tasapinna vastu asetatud peaaeguristi.

120. Neptun ja Pluton. 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 nähtamatu. Suure kauguse tagajärjel pole ta pinnal üksikasju näha, kuid ta loodus näib sarnanevat Uurani omaga.

Neptuni avastamine (aastal 1846) toimus teoreetilise uurimise viljana.

Iga planeet tiirleb Kepleri seaduste järgi ellipsit mööda, mille fookuses asetseb Päike. See oleks nõndaviisi täiesti täpsalt ainult sel juhul, kui planeedi liikumine oleneks Päikese ja iseenese vastastikusest külgetõmbest. Kuid teised taevakehad mõjustavad oma külgetõmbega elliptilist liikumist, nõnda et selles tekivad korrapärased ehk häired.

Uurani avastamisest saadik (1781) avastasid astronoomid selle liikumises häiremõjusid, mida ei suudetud ära seletada, võttes arvesse ainult kõigi senituntud planeetide mõju. Mõned õpetlased (Leverrier, Adams) oletasid, et seletamatud häired Uurani liikumises olenevad senitundmatu planeedi külgetõmbest, ja seadsid omale 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 täpsad taevakaardid, paludes teda näidatud kohal otsida planeeti. Võrreldes kaarti Leverrier' poolt juhutatud taeva-alaga, leidis Galle seal senitundmatu tähe, mis osutuski otsitud planeediks.

Pluton. Aastal 1930 avastati fotograafilisel teel Lowelli tähetornis Ameerikas veel üks planeet, mis asetseb väljaspool Neptuni teed. See uus planeet sai omale nimeks Pluton. Ta esineb umbes 15. suuruse tähena. Plutoni kaugus Päikeselt on 40 astron. ühikut ja tiirlemisperiood 250 aastat. Ta tee on pikergu-sem ellips (ekstsentrism = 0,25) kui ühelgi teisel suurtest planeetidest; seetõttu võib ta oma periheelis tulla meile ligemale kui Neptun, kuid kokkupõrge viimasega on seepärast võimatu, et Plutoni tee tasapind Neptuni tee tasapinnast erineb

tunduva nurga võrra (umbes 15°). — Pluton on väiksem kui Maa, vahest umbes Marsi suurune, ja ta mass on ligikaudu hinnatud $\frac{1}{2}$ Maa massi, millest võib järeldada suurt tihedust. Temperatuur Plutoni pinnal peaks olema seevõrra madal, et õhk, kui teda seal leiduks, peaks püsima kõvas olekus.

121. Zoodiagivalgus. Selgel talve- või kevadeõhtul läänes pärast eha kustumist, suvel ja sügisel aga idas enne koitu, võib mõnikord taevavõlvil tähele panna koonusekujulist kuma. Ta paistab ekliptika- ehk Zoodiagi tähtkujude vöös ja kutsutakse zoodiagivalguseks. Tema põhjuseks loetakse väga hõredat kosmilist tolmu, mis asetseb Päikesesüsteemi tasapinna lähedal ja mis hajutab Päikese valgust.

1. Katsu palja silma või kiikri abil leida mõnikord Merkurit (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 praegusel ajal Veenus eha- või koidutähena? Vaadelda teda! Millal ta jõuab Päikesest näivalt kõige rohkem eemale ja millal ta hakkab kõige heledamalt paistma?

4. Kui Veenus on Päikesest näivalt kõige rohkem eemal (46°), arvutades leida, mitu tundi ta paistab siis pärast Päikese loojangut ja enne Päikese tõusu!

XV. Komeedid ja meteoorid.

122. Komeedid. 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 **sabaga tähed** (94. joon.), mis erinevad planeetidest oma kuju, ehituse, tee ja koostise poolest.

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

123. Komeetide teed ja liikumine. Komeedid muutuvad meile nähtavaks, kui nad on võrdlemisi Päikese ligidal. Seepärast tunneme ainult nende teede väikest osa. Vanal ajal puudus teadmine komeetide olemuse ja liikumise kohta täielikult. Mõned pidasid neid õhkkonna sünnitisteks. Koguni Kepler arvas, et komeedid liiguvad mööda sirgjooni Päikese poole ja sellest eemale.

Newton selgitas esimesena, 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 sellepärast loetakse komeetide teed enamasti paraboolseiks.

Komeedid erinevad planeetidest veel selle poolest, et nende teede tasapindadel on ruumis kõiksugused asendid, kuna planeetide teede tasapinnad peaaegu ühtivad ekliptikaga; planeedid tiirlevad peale selle ümber Päikese kõik samas, päripidises suunas, komeedid aga niihästi päripidises kui ka vastupidises suunas.



94. joon. Donati komeet aastal 1858.

124. Komeedi kuju ja ehitus.

Komeedis eristatakse harilikult kolm osa. Need on: udusarnane ümmarik mass ehk nn. **pea**, helenev tihendus peas ehk nn. **tuum**, ja helenev sirge või kõverlisand, mis pea on ühenduses — **saba** (vt. 95. 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.

Komeedi ilmunisel, 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 harili-

kult pärast periheelist 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 ilmuniselgi. Olgugi et komeet omab harilikult saba, on tähele pandud komeete ka ilma sabata.

Komeedid

koosnevad äärmiselt väikese tihedusega aineest, sest 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.



95. joon. Komeedi ülevõte.

Oma nõrga tiheduse tagajärjel pole komeedi kohtumine planeediga nähtavasti viimasele hädasohtlik. On teada juhtusid, mil komeedid läbisid planeetide kaaslaste süs-

teemi, ilma et viimaste teed oleksid seetõttu muutunud. Komeedid ise aga said iga kord tunda suuri vapustusi oma liikumisel, kui nad liginesid planeetidele. Maikuus aastal 1910 läks Maa Halley komeedi sabast läbi, kuid mingisuguseid isäraseid nähtusi ei pandud sel puhul Maa õhkkonnas tähele.

Mõned komeedid tulid oma periheelis Päikesele väga lähedale, nõnda et peaaegu riivasid selle hõõguvat pinda. Neil kordadel oli komeedi kiirus ligi 500 km sekundis. Silmas pidades, et komeedi saba pikkus on tihti kümneid miljoneid kilomeetreid, võib kujutella, missugune suur kiirus peaks olema komeedi saba osakesil, kui saba oleks kõva moodustis, mis seotud komeedi peaga. Kiirus oleks nii

suur, et saba ei võiks püsida kindlana, vaid puruneks. Sellepärast tuleb komeedi saba vaadelda kui ainet, mis Päikeses asetseva tõe kettungi mõjul komeedist voolab ilmaruumi. Saba aine on järjest vahelduv nagu vesi ojas või suits, mis tõuseb korstnast.

125. Komeetide 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 süsiniku ühendid. Pidev spektri tagapõhi tunnistab, et komeedi hiilgamine oleneb jaolt tema osakeste poolt tagasipeegeldatud Päikese valgusest.

126. Perioodsed komeedid. Kas kõik komeedid tiirlevad kiniseil teil (ellipseil) ümber Päikese, s. o. kuuluvad Päikesesüsteemi? Enamasti arvatakse, et suurem hulk neist rändab tähtedevahelises ruumis. Vahel satuvad mõned neist Päikese külgetõmbe piirkonda, tulevad mööda parabooli liikudes Päikesele lähedale ja kaugenevad siis, et minna jälle tagasi tähtedevahelisse ruumi.

Kuid on olemas kindlasti komeete, mis tiirlevad mööda ellipseid Kepleri seaduste järgi ümber Päikese nagu planeedidki. Perioodsetl Päikese lähedale ilmudes muutuvad need meile ajuti nähtavaks ja kutsutakse perioodseiks komeetideks. Neile antakse tavaliselt astronoomi nimi, kes nad on avastanud või neid uurinud. Mõned perioodseist komeetidest on teaduse ajaloos 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 periheelis on ta Päikesele lähemal kui Veenus, afeelis aga kaugemal kui Neptun. Tema ringkäik kestab umbes 76 aastat.

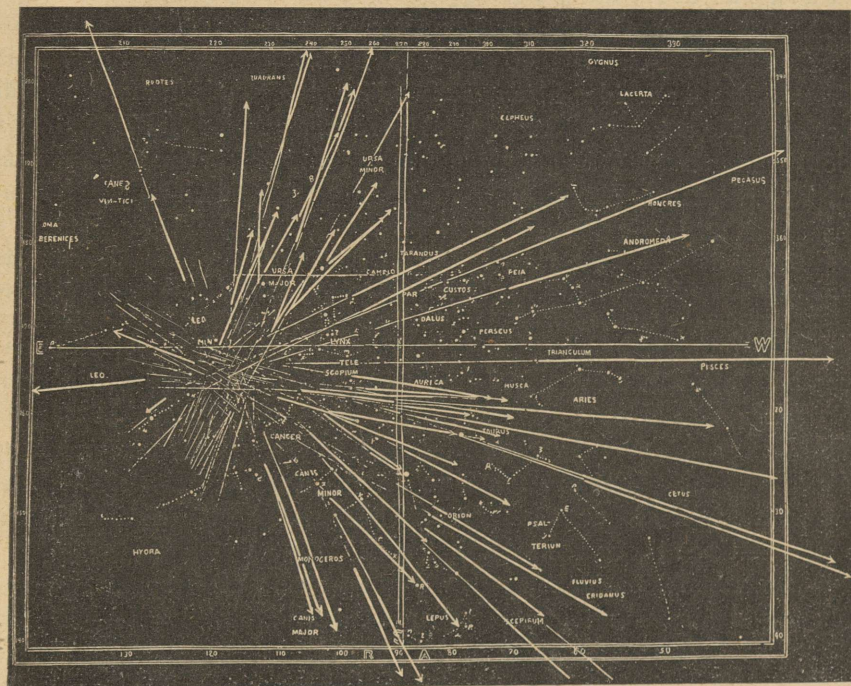
Kujutada joonise abil Maa, Neptuni ja Halley komeedi tee!

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

Hoolimata oma nimest pole need helenevad 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 helenema. Meteoori mass, mis on enamasti ainult mõni osa grammist, põleb suures kõrguses harilikult ära.

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



96. joon. Novembrikuu meteooride radiatsioonipunkt.

128. Lendtähtede parved; tähesajud; radiatsioonipunktid.

Mõnikord aastas ilmub lendtähti iseäranis rohkesti; nõnda näit. on ööd 10.—13. augustini ja 12.—14. novembrini neist eriti rikkad. Augustikuu meteoorid näivad tulevat Perseuse tähtkujust ja neid kutsutakse perseiidideks; novembrikuu meteoorid aga Lõvi (Leo) tähtkujust, millest nende nimi — leoniidid. Kohti taevavõlvil, kust meteoorid näivad välja lendavat, kutsutakse radiat-

sioonipunktideks (96. joon.). Kui meteore ilmub väga rohkesti, siis kutsutakse niisugust nähtust tähesajuks.

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

129. Lendtähtede parvede tekkimine. On leitud, et komeetide ja meteoride vahel on olemas side. Nõnda näit. selgitas 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) suurepäraselt tähesadu, mille meteoorid liikusid sama teed mööda kui Biela komeet. Nõnda võib meteore vaadata kui komeedi lagunemise saadusi.

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

130. Boliidid ja aeroliidid. Suurema massiga meteor, mis tungib sügavamale õhkkonda, ilmub mõnikord väga heleda tulikerana, mis kutsutakse boliidiks. Sageli läheb ta õhkkonnast läbi ja kaob ilmaruumi. Kuid mõnikord langeb ta suure müra ja praginaga Maa peale või lõhkeb õhus kui pomm ja puruneb tükkideks. Mahalangenud meteoorid on välimuselt kivisarnased kehad ja neid kutsutakse meteoriitideks ehk aeroliitideks.

Leitud meteoorid, mille kaal ulatub mõnest grammist mitme tuhande kilogrammini, koosnevad tavalisest aineist, nagu — hapnik, väävel, raud, nikkel, koobalt jt. Mõned mahalangemisel äsja leitud aeroliidid olid ainult pinnalt tulised, kuid seest külmad. Ilmaruumis, kust nad tulid, valitseb suur külmus, ja aeroliit muutus hõõguvaks ainult oma pinnakihi.

Tartu ülikooli mineraloogiamuuseumi rohkearvulises meteoriitide kogus on välja pandud ka meteoorid, mis on maha langenud Eestis. Suurim neist kaalub üle 10 kg. 1899. a. langes suur meteor Porvoo kihelkonnas Soomes üsna kalda lähedal merre. Selle meteoori langemine oli nähtav ka Eestis, kus tekitas omal ajal palju kõneainet.

Suurte meteoride purustuse jälgi võib näha mitmes kohas maapinnal. Arizonas Ühendriiges on meteoori langemisest põhjustatud kraater umbes $\frac{3}{4}$ km läbimõelduga. Säärane moodustis esineb ka Siberis. Meteoorist tekitatud kraatriks peetakse ka meie tuntud Kaali järve Saaremaal.

XVI. Tähed.

131. Tähtede heledus. Juba vanal ajal 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 Veega, Kapella, Procyon, Arktur 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 15. 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 (täpsamalt 2,512) korda enam valgust, s. t. on temast nii mitu korda heledam.

Kui kahe tähe suurused tähendada m ja n abil ja nende vastavad heledused, s. o. valgushulgad, mis neilt saame, h_m ja h_n abil, siis on maksev lihtne seos:

$$\frac{h_m}{h_n} = 2,512^{n-m}.$$

Lugedes mõne 0. suuruse tähe ($n=0$) heleduse ühikuks ($h_n = 1$), saame siit

$$h_m = 2,512^{-m}.$$

Selle avaldise abil võib arvutada mõne tähe heledust tema suuruse järgi või ümberpöörduvalt; avaldisest järeldub ka, et tähesuurused on heleduste astmenäitajad ehk logaritmid (vrd.: Weber-Fechner'i psühhofüüsiline seadus, mille järgi aisting on ärrituse logaritm).

1. Õpi tundma kõiki meil nähtavaid heledaimaid tähti ühes tähtkujudega, kus nad paistavad!

2. Missuguste arvudega tuleks tähendada tähe suurust, kui täht on 1. suuruse tähest ühe, kahe jne. astme võrra heledam?

3. Mitu 2., 3. jne. suuruse tähte oleks tarvis, et nende koguheledus annaks ühe 1. suuruse tähe heleduse?

4. Mitu korda on 1. suuruse täht 5. suuruse tähest heledam?

5. Missuguse suuruse täht annab 1. suuruse tähest 250 korda vähem valgust?

6. Muutliku tähe valguse hulk kasvas 16 korda. Kui palju vähenes tähe suurus?

7. Kaksiktäht koosneb ühest 3. ja ühest 4. suuruse tähest, mille valgus liitub paljale silmale üheks tervikuks. Määrata selle tähe suurus!

8. Nn. normaalküünal ühe km kaugusel annab meile umbes niipalju valgust kui üks 1. suuruse täht. Missugune on küünla „tähesuurus“, kui ta asetseks 1 m, 100 km kaugel?

9. Päikese ja täiskuu „tähesuursi“ hinnatakse vastavalt arvudega — 26,7 ja 12,5. Mitu korda on Päike heledam kui täiskuu ja 1. suuruse täht Kapella? Mitu küünalt tuleks mõelda 1 m kaugusel, et nad niisama tugevasti valgustaksid nagu Päike? Mitme normaalküünla valgus on Päikesel?

132. 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. Pikksilmaga vaadeldes või fotografeerides kasvab tähtede arv kiiresti.

Kõige heledamaid, s. o. esimese ja väiksema suuruse tähti loetakse 20. Iga järgmise suuruse tähti on umbes kolm korda enam.

1. Mitu heledat tähte 1. suuruseni võib meie laiuses näha ja mitu on meile nähtamatuid? Missugused on need?

2. Mitu heledat tähte esimese suuruseni asetseb põhja-, mitu lõunapoolsel taeva-poolkeral?

133. Tähtede kaugused. Tähe aastase parallaksi (vt. lk. 58) põhjal on kerge arvutada tähe kaugust astronoomilisis ühikuis. Kuidas?

Kuid et seesugune mõõt on tähtede kauguse hindamiseks väga väike, siis võetakse tarvitusele suuremad mõõdud — p a r s e k ja v a l g u s a a s t a. **Parsek** on kaugus, mis vastab parallaksile 1". **Valgusaasta** on kaugus, mille valgus kulgeb ühe aastaga. Üks parsek on umbes $3\frac{1}{3}$ valgusaastat.

Selle tagajärjel, et tähtede parallaktiline nihkumine on väga väike — väiksem kui üks kaaresekund —, on seni trigonomeetrilisel teel võimalik olnud mõõta ainult mõnesaja lähema tähe kaugust.

Mõned heledad tähed on meist mitusada valgusaastat kaugel, kuna mõned tumedad aga on meile palju ligemal.

1. Mitu korda on kõige lähem täht (α Centauri) meilt kaugemal kui Päike?

2. Mitu korda on α Centauri Päikesest kaugemal kui Neptun?

3. Mitu astronoomilist pikkusühikut on üks parsek ja üks valgusaasta?

4. Juuksekarva paksus on $\frac{1}{20}$ millimeetrit. Mitme meetri kaugusele tuleks silmalt asetada juuksekarv, et selle paksus kujutaks lähema tähe parallaksi suurust?

5. Kui kaua läheks hääl meilt kõige ligema täheni? Kui kaua kestaks teekond sinna aeroplaanil, mille kiirus on 120 km tunnis?

6. Kui nõõpnõela pea, mille läbimõõt on 1 mm, kujutaks Päikest, kui kaugel tuleks mõelda kõige ligem täht, et tõeliste kauguste vahekorrad jääksid alles?

134. Tähtede absoluutne suurus. Tähe näiv heledus oleneb valgusehulgast, mille meie oma silma abil tähelt vastu võtame. Valgusehulgad aga, mis tähtedelt saame, pole võrdsed ja olenevad tähe kaugusest (kuidas?) kui ka tähe enese valguse jõust ehk intensiivsusest. Kui tähed asetseksid meist sama kaugel, näit. 10 parsekit, siis nende näiv heledus oleks võrdeline nende vastava valgusjõuga.

Et saada kergesti õiget kujutlust tähtede valgusjõust, selleks võtame tarvisele tähtede absoluutse suuruse mõiste.

Tähe absoluutseks suuruseks (ehk heledusjärguks) kutsutakse tähe näivat suurust, kui täht asetseks meilt kümne parseki kaugusel. Päike sellel kaugusel esineks meile $+5$. suuruse tähena, sellepärast on tema absoluutne suurus $+5$.

Tähe absoluutse suuruse põhjal on kerge arvutada, mitu korda tähe valgusjõud on 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).

Nõnda nagu järgneb Päikesesüsteemi suuruse, s. o. planeetide kauguse teadmisest, et Maa on üks planeetkonna harilik liige, nõnda järgneb tähtede kauguse mõõtmisest, et Päike on harilik täht miljonite tähtede peres.

1. Tähe abs. suurus $= +4$; mitu korda annab ta enam valgust kui Päike?
2. Juuresolevalt on antud mõnede tähtede absoluutsed suurused (Päike $= +5$):

Siirius	$+1,2$	Procyon	$+3,0$
Kanopus	$-7,9$	Aldebaran	$-0,1$
Veega	$+0,6$	Deeneb	$-5,2$
Arktur	$-0,4$	Barnardi täht	$+10,3$

Mitu korda nende tähtede valgusjõud on Päikese omast suurem?

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

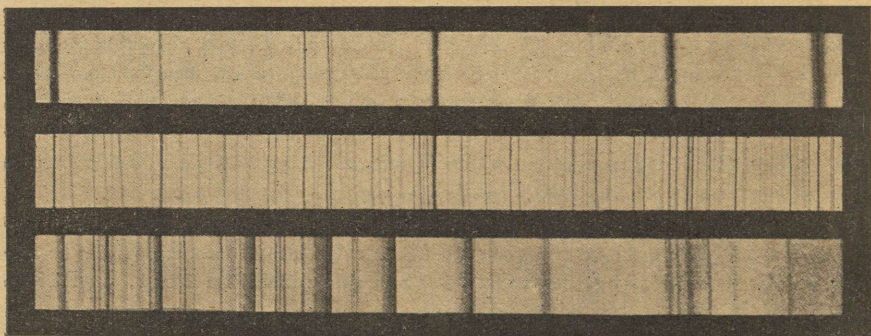
4. Päikese tähesuurus on $-26,7$; mitmenda suuruse tähena paistaks Päike 1 parseki ja 10 parseki (abs. suurus) kaugusel?

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

135. Tähtede spektrid. 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 vähese erandi tähed esitavad neeldumisspektreid tumedate joontega. Nõnda kinnitab ka spektriline analüüs, et tähed on päikesesarnased isehiilgavad taevakehad, mille hõõguvat tuuma ümbritseb kiiri neelav atmosfäär ja mille temperatuur on tähe hõõguva pinna temperatuurist madalam.

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

I. Valged tähed, näit. Siirius, Riigel, Veega. Spektri tagapõhjal, mis iseäranis on 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.



97. joon. Tähtede spektri liigid.

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

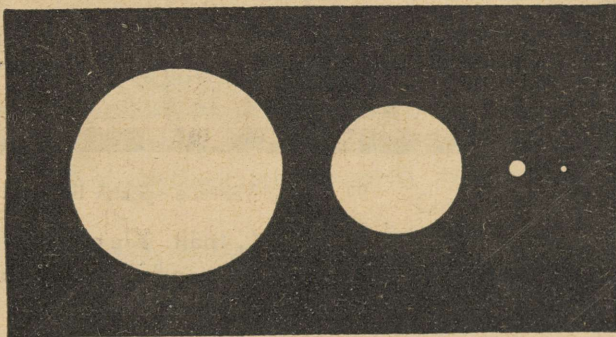
III. Punakad tähed, näit. Antares, Aldebaran, Be-teigeise, mille punakas värv tuleb sellest, et spektri violetipoolse osa heledus on nõrk. Spektril on suur sarnasus Päikese laikude spektriga. Selles on rohkesti metallide jooni, millest paljud on veel tumedamad ja laiemad kui kollaseil tähtedel; peale selle paistavad silma laiad neeldumisvöödid. Temperatuur neil tähtedel on veelgi madalam (umbes 3000°) kui kollaseil tähtedel; seetõttu nende atmosfäärides võivad tekkida koguni mõned keemilised ühendid, nagu näiteks titaanioksüüd, mis esineb ka Päikese laikudes. Ka on tõenäoline mõnede süsinikuühendite esinemine.

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

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

Võrreldes näiteks Kapellat meie Päikesega leiame, et mõlemad tähed kuuluvad kollaste tähtede liiki, kusjuures ka nende spektrid on teineteisega väga sarnased. Kuid siiski erinevad samad tähed oma ehituselt teineteisest põhilikult. Kapella on ligi 100 korda Päikesest 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 spektri liigi täht ehk nn. „kollane hiiglane“, meie Päike aga — „kollane kääbustäht“.

Tähtede hiid- ja kääbusloomu oluliseks tunnuseks ei tule lugeda mitte nii palju tähe aine hulka, s. o. massi, kui aine tihedust või tähe ruumala suurust. Hiid- ja kääbustähed kujutavad enesest



98. joon. Beteigise, Antarese, Arkturi ja Päikese (kõige väiksem) võrdlevad suurused.

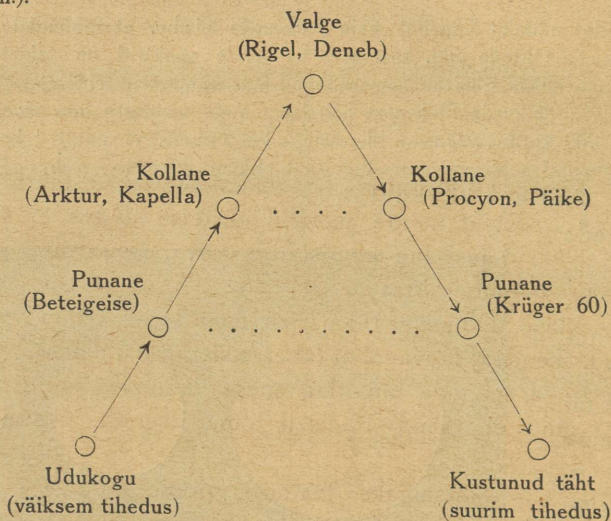
väga mahukaid, kuid hõredaid kerakujulisi hõõguvaid gaaside masse. Nende liiki kuulub suurem hulk heledaid tähti meie taevavõlvil. Kääbustähed aga on hiidtähtede vastandid — palju enam tihendatud aine ja nõrgema valgusjõuga.

Tähtede hulgas esinevad harva ka mõned erakordselt heledad väga suure valgusjõuga tähed, nn. ülihiiglased, nagu näit. Deneb, Beteigise, 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.).

137. Tähtede evolutsioon. Pika aja jooksul võivad meie Päikese ja tähtedega toimuda suured muutused. Varem al ajal arvati, et valge täht, kui kõige pa-

lavam, muutub jahtumise teel kollaseks ja siis punaseks täheks, millele järgneb kustumine. Kuid tõuseb küsimus, kuidas tekivad valged tähed. Selle kohta on mõnede täheteadlaste poolt esitatud järgmine vaade.

Hiid- ja kääbustähe seisukord kui ka spektri tüübid kujutavad tähe üksikuid arenemis- ehk evolutsiooniastmeid. Täht tekib koondumisel hõredast kosmisest ainest, mis koosneb gaasidest, tolmust ja meteoroididest. Koondumisprotsessis hõõrdumise ja muu takistuse mõjul hävinud aineosakeste liikumisenenergia muundub soojuseks ja ainekogu hakkab punase hiiglasuure gaasikerana hõõguma. Nõnda tekib võrdlemisi madala temperatuuriga punane hiidtäht, nagu Beteigaise ja Antares (vt. 98. joon.).



Tähe arenemisskeem.

Vasemal küljel hiidtähed (hiid, hiiglased) tõusva temperatuuri, peaaegu konstantse heleduse ja kasvava tihedusega; paremal küljel kääbustähed (kääbused) alaneva temperatuuri, kahaneva heleduse ja kasvava tihedusega.

Kuid pikkamisi koondub tähe aine ikka enam, tõuseb selle temperatuur, areneb värv ja spekter; tähe pindala muutub väiksemaks, kuid valgemaks, mille tagajärjel tähe valgusjõud ehk absoluutne heledus püsib peaaegu muutumata. Edaspidisel arenemisel saab tähest esiti kollane (Arktur, Kapella), siis kollakasvalge (Kanopus) ja viimaks valge (Veega, Deneb) hiiglane. Kirjeldatud arenemisjärku kutsutakse **hiid-ajajärguks**; seda iseloomustab tähe kuumenemine, võrdlemisi väike ainetihedus, järjest valgemaks muutumine, absoluutselt suur ja peaaegu konstantne heledus; kui täht omab eriti suurt massi, siis hiid-ajajärgu viimaseks saaduseks on valged, nn. heeliumitähed (Rigel), mille pindheledus ja temperatuur on jõudnud võimaliku kõrge rajani (umbes $20\,000^\circ$).

Edaspidisel tähe arenemisel ei suuda koondumine, mida takistab tähe järjest kasvav ainetihedus, enam nii palju soojust tähele juurde lisada, et see jõuaks tema

ainet hoida sama temperatuuri kõrgusel ja ühtlasi tasakaalustada tähest kiirguva energia kulu. Peab algama tähe jahtumine.

Et ühes tähe pindala vähenemisega ka tema pindheledus temperatuuri lange-mise mõjul väheneb, siis muutub tähe valgusjõud ehk absoluutne heledus järjest nõrgemaks ja värv punasemaks. Meie Päike kui kollane kääbustäht kuulub ühes oma lähemate naabritega ilmaruumis (*a Centauri* ja *61 Cygni*) kirjeldatud arene-misjärku, mis kutsutakse **kääbus-ajajärguks**. Viimast iseloomustab tähe jah-tumine, võrdlemisi suur ainetihedus, järjest punasemaks muu-tumine, absoluutselt nõrk ja järjest kahanev heledus. Suu-remalt jaolt kuuluvad selle järgu tähtede hulka kõik tumedad, teleskoobilised tähed, sest et meie neid nende nõrga valguse tagajärjel ei suuda heledaina näha suu-res kauguses.

Nõnda käib täht oma kääbus-ajajärgus läbi samad spektriliigid, mis hiid-aja-järguski, kuid ainult vastupidises järjekorras, nagu selgitab juuresolevalt esitatud tähe arenemisskeem.

138. Tähtede liikumine. Sageli nimetatakse tähti kinnis-tähtedeks, sest et nende asendid üksteise suhtes ei näi muutu-vat; tähed oleksid just kui kinnistatud kõva taevavõlvi külge, mis ühtlaselt pöörleb ümber Maa.

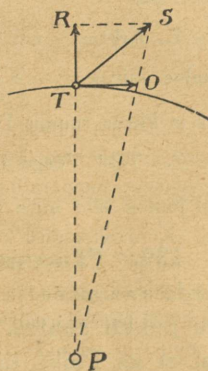
Maa aastase liikumise tagajärjel muudavad tähed perioodsel-t oma näivaid asendeid taevavõlvil (aberratsioon, parallaks). Seesugust nähtust võib aga seletada kui Maa enese liikumise mõju või vastu-peegeldust, ilma et tähed tõeliselt oma asendit üksteise suhtes muudaksid.

Kuid üheks tähtsamaks teaduse poolt avastatud tõsiasiaks tuleb lugeda seda, et tähed tõeliselt üksteise suhtes taevavõlvil liiguvad, et neil on nn. omaliikumine. Esimene, kes mõnede heledamate tähtede (*Siirius*, *Alde-baran*) nihkumist taevavõlvil tähele pani, oli inglise astronoom Halley XVIII sajandil.

Tähtede omaliikumine on üldiselt väga väike, ja et seda avastada, on tarvilik täh-tede väga täpsalt määratud asendeid pikema aja tagant võrrelda.

Praegusel ajal on teada mitme tuhande tähe oma-liikumine. Kõige suurem tähe praegu tuntud omaliiku-mine on ainult umbes $8''$ aastas. Harva on aga need suuremad kui $1''$.

Kuid omaliikumise väiksusest hoolimata muutuvad pika aja jooksul kõik meie tuttavad tähtkujud tundmatuseni. Et tähtede omaliikumine taevavõlvil on suunatud suurringi kaart mööda, siis on



99. joon.

võimalik määrata, kuidas esineks mõni tuttav tähtkuju, näit. Suur Vanker, meie järeletulijaile mõnekümne tuhande aasta pärast või kuidas ta paistis meie esivanemaile kauges minevikus.

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

Peale omaliikumise kiiruse on tähel veel kiirus vaatesuunas ehk nn. radiaalne kiirus, mis määratakse spektroskoobiliselt Doppler-Fizeau printsiibi põhjal. Radiaalne kiirus loetakse positiivseks, kui tähe kaugus kasvab, s. o. kui täht meilt 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 (99. joon). Olgu TO ja TR vastavalt omaliikumise ja radiaalne kiirus, siis TS , kui komponendi TO ja TR summa, on tähe kiirus ruumis Päikese süsteemi suhtes.

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

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

2. Täht Veega ligineb meie poole kiirusega $14 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$; tähe parallaks $= 0'',1$. Millal jõuaks täht meie juurde, kui ta liiguks $\frac{1}{10}$ otse meie suunas?

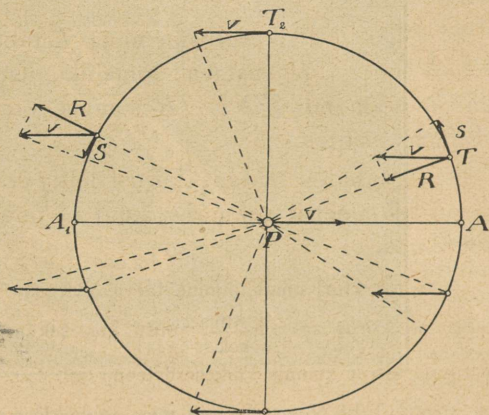
139. Päikesesüsteemi edasiliikumine ruumis. Eespool oli tähtede radiaalne ja omaliikumise kiirus arvatud Päikese kui liikumatu punkti suhtes. Et Päike on harilik täht, siis on loomulik oletada, et ka Päike liigub tähtede suhtes. Arvutame, kuidas Päikese liikumine tähtede liikumistes vastu peegeldub.

Vaatleme mitmesugustes kohtades taevavõvil tähti T , T_2 , jne. (100. 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 asume Päikesesüsteemis, et tähed liiguvad võrdse kiirusega V , kuid vastupidises suunas

Sellel taeva-poolkeral, mille pooluses asetseb punkt A , kuhu poole Päike liigub tähtede keskel, näivad tähed sellelt punktilt eemale minevat, kuna aga vastaspoolkeral tähed näivad vastaspoolusele A_1 lähenevat. Nähtus on samalaadiline, mis esineb jalutajale puiestikus, kus talle näib, nagu läheksid 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, kuhu poole liigub Päikesesüsteem tähtede suhtes, ehk nn. apeks, asetseb Herkulese tähtkujus. Tema koordinaadid ümmarguselt on: $\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$. Liikumiskiirus on umbes 20 km sekundis. Et Maa tiirleb ümber Päikese, siis võib kujutella Maa teed ruumis väljavenitatud spiraalina (101. joon.).

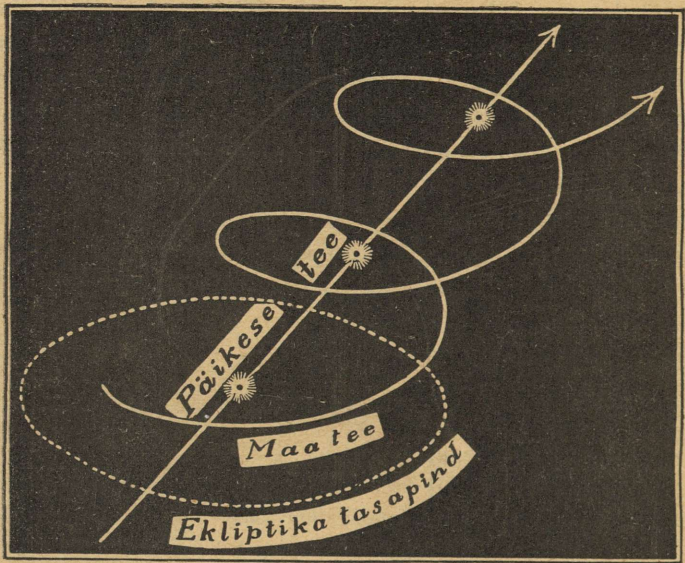
Tõeliselt on nähtus keerulisem, sest tähed ei püsi üksteise suhtes paigal, vaid neil on igasuunalised kiirused ja eelnevat võib järeldata ainult suure arvu tähtede kiiruste keskmise väärtuse põhjal.

Uued tähed (ladina keeli: *nova*) ilmuvad taevas äkitselt, suurendavad kiiresti oma valgust, jõuavad heleduse tipule, millele järgneb aeglasem valguse kahanemine, ja kaovad viimaks meie silmist.



100. joon. Päikesesüsteemi liikumise mõju
tähtedele.

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 Kassiopeia tähtkujus aastal 1572, vaatles Tycho de 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 uue ajal, võiks nimetada uut tähte Perseuse tähtkujus talvel 1901. a. ja Kotka tähtkujus suvel 1918. a.



101. joon. Päikesesüsteemi liikumine ruumis.

Uute tähtede ilmutamise põhjuste kohta on esitatud mitmesuguseid seletusi. Tõenäoliselt on nähtuse põhjuseks muutused tähe seesmises ehituses, millele järgneb tähe keha suur paisumine ja aine laialipaiskumine kolossaalsete pursete kujul.

Perioodse valgusega tähed muudavad korduvalt oma heledust. Oma iseloomult võib neid jagada mitmesugusteks eriliikideks.

Ühe liigi esindajaks on täht *o* (omikron) Vaala tähtkujus, mis 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. Ühes 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.

Ühe teise liigi muutlikkude tähtede esindajaks on Algol ehk täht β Perseuse tähtkujus. Selle tähe heleduse muutmise iseloom on hoopis teissugune kui Miral. Tema periood on lühike, kestes ainult 69 tundi; 61 tunni vältel paistab ta muutumatu 2,3. suuruse tähena, siis hakkab ta korraga tumenema, jõudes 4 tunni järel 3,5. suuruse tähe heleduseni; pärast seda jätkab ta 4 tunni jooksul valguse kasvamist ja on viimaks jälle konstantse heledusega 2,3. suuruse täht. Nagu näitasid täpsad spektroskoobilised uurimised, jääb tähe spekter heleduse võnkumise ajal ja kogu aja muutumata, kuid tähe vaatesihiline kiirus muutub korrapäraselt heleduse perioodi vältel. Valguse muutmise põhjused on siin teissugused kui eelmise liigi (Mira) tähtedel. Küsimus leidis lahenduse lihtsas oletuses, et tähel on tume kaaslane, mis oma tiirlemisel ümber tähe perioodiselt katab tähe ketta või selle osa ja nõnda vähendab tähe valgust.

Iseäralise muutlikkude tähtede liigi moodustavad nn. tsefeiidid. Nende tüüpiline esindaja, täht δ Cepheus'e tähtkujus, on 4. suuruse täht, mille heledus vahelduvalt muutub umbes 5 päeva jooksul. Heleduse muutumine (heleduse kõver) on väga korrapärane; seda iseloomustab äkiline tõus ja pikaldasem langemine; perioodi välde on väga kindel, olgugi et siin pole tegemist tähe katmisega kaaslase poolt. Nende tähtede uurimine näitas, et valguse muutmise perioodi välde on kindlas vahekorras tähe absoluutse heledusega. Mõnedel seesugustel tähtedel on muutmise periood ainult mõned tunnid. Järelikult on võimalik, teades seesuguste tähtede valguse muutmise perioodi, määrata nende absoluutset suurust või heledust ja järelikult ka nende kaugust (vst. parallaksi).

Muutlikkude tähtede liiki kuuluvad ka enamasti kõik punased ja punakad tähed, nagu näit. Beteigise (α Orionis), mille muutumine kannab õige pikaldast ja korrapärast iseloomu.

141. Kaksiktähed. Tähtede hulgas esineb palju niisuguseid, mis paljale silmale paistavad harilikkude tähtedena, kuid pikksilma läbi vaadates koosnevad kahest teineteise ligidal asetsevast tähest. Seesuguseid tähti kutsutakse kaksik- ehk paaristähtedeks. Mõnikord võivad kaks tähte perspektiivselt sattuda väga teineteise ligidale, olles tõeliselt aga väga kaugel teineteise taga. Need on nn. optilised paarid. Füüsilistes kaksiktähtedes aga on tähe

üksikud osad ehk komponendid tõeliselt ligistikku ja tiirlevad Kepleri seaduste järgi teineteise ümber üldise külgetõmbe mõjul.

Kaksiktähti avastas ja mõõtis suurel arvul oma suurte pikksilmade abil W. Herschel. Mõnedes kaksiktähtede paarides, kus tiirlemine ei toimu väga aeglaselt, tõestas ta tähe komponentide liikumist.

Kuulsad on ka kaksiktähtede mõõtmised, mida toimetas Wilhelm Struve Tartu tähetornis läinud sajandi algupoolel kuulsa 9-tollise Fraunhoferi pikksilma abil, mis on praegugi alles (vt. 11. joon.).



W. Struve.

Tuntud kaksiktähtede arv on praegu palju tuhandeid. Mõnedes paarides on tähe komponendid sest ajast saadik, kui algasid täpsad mõõtmised, juba mitu korda teineteise ümber tiirlnud. Nõnda näit. kestab tiirlemisperiood tähel δ Väikeses Hobuses 11, Procyonil 40, Siiriusel 50 aastat, Castoril aga ligi 1000 aastat.

Kaksiktähed esitavad oma komponentide heleduse ja värvi poolest mitmesuguseid huvitavaid tüüpe. Mõnikord on tähepaari mõlemad liikmed võrdse

heleduse ja ühesuguse värviga, nagu näit. tähel ζ Suures Vankris (Mizar), kus nad paistavad säravalt-valgete tähtedena. Kui aga üks komponentidest on teisest heledam, siis sageli esineb neil kauneid värvide kontraste, nagu näit. tähel β Luiges, mille peamine täht on ruugjaskollane, kuid kaaslane — sinine.

XVII. Maailma ehitus.

142. Täheparved. Mõnes kohas taevavõlvil on palju tähti üksteisele nii ligistikku, et silm ei suuda neid eraldada ja üksikult näha, vaid näeb neid üldise valkja laiguna. Pikksilmas aga laguneb sageli niisugune laik üksikult nähtavate tähtede parveks ehk *saraks*.

Üks kõige tuttavamaid täheparvi on nn. Sõel ehk Plejaadid. Palja silmaga võib selles eraldi näha umbes 7 tähte, kuid suuremate pikksilmade abil — mitusada. Samalaadiliste moodustiste liiki, mis kutsutakse hajunud täheparvedeks, kuuluvad ka Hüaadid, täheparved Perseuse tähtkujus ja Vana Sõel ehk Praesepe (Sõim) jt. Ei tule arvata, nagu oleksid tähed neis parvedes sattunud ühte juhuslikult: nende vahel on olemas tõeline orgaaniline side. Iseäranis selgesti esineb see kerasparvede korrapärases ehituses (102. joon.). Need on kerakujulised täherikkad parved, mille keskel tähed asetsevad väga tihedalt.

Väiksemate pikksilmade läbi paistavad nad kettasarnaste tuhmvalkjate udulaikudena, kuid tugevajõulises teleskoobis lagunevad nad tuhandeiks tähtedeks.

Kerasparvede kaugust võib näit. määrata muutlikkude tähtede, nn. tsefeiidide abil (vt. lk. 135); osutus, et ka kõige ligemad kerasparved (nagu Herkulese ja Centauruse tähtkujus) on meilt paarkümmend tuhat valgusaastat kaugel, kuna hajunud parved

on meile võrdlemisi ligidal — ainult mõned sajad valgusaastad. Selle põhjal tuleb kerasparvi vaadata kui väga suuri tähtede süsteeme, mis asetsevad meie harilikust tähtede-maailmast kaugel väljaspool.

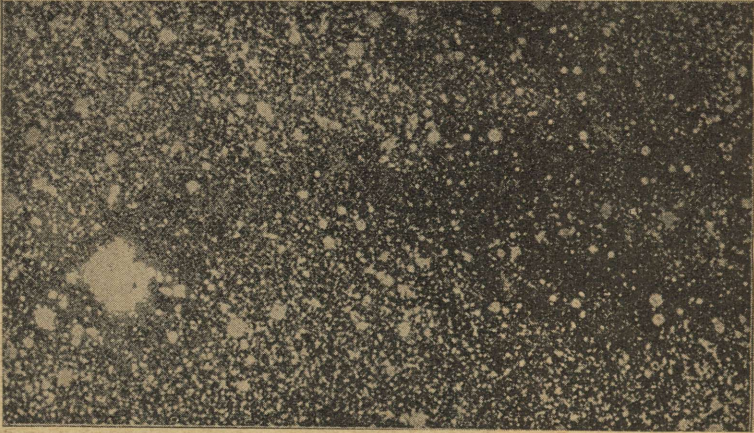


102. joon. Kerakujuline täheparv.

143. Linnutee. Kõige silmapaistvam ja laiaulatuslikum täheparv on **Linnutee**. Ta paistab meile tuhmilt heleneva 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, Kassiopeia. Luige tähtkujus jaguneb ta kaheks haruks, mis ühinevad uuesti lõuna-poolkeral.

Linnutee tähelist struktuuri postuleeris vanal ajal juba Demokritos (umbes 400 a. e. Kr.). Suurte pikksilmade, kuid eriti fotograafia abil on võimalik näidata, et Linnutee tõeliselt koosneb väga paljudest tähtedest (103. joon.), mille koguarv on kümneid miljarde. See on keerulise ehitusega väga laialdane tähtede süsteem, millesse kuulub hariliku tähena ka meie Päike.



103. joon. Linnutee osa fotografeeritult.

144. Udukogud. Peale üksikute tähtede ja täheparvede esinevad maailma avaruses veel nn. **udukogud** ehk **udud**. Taevavõlvil paistavad nad kui nõrga valgusega tuhmilt helenevad 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 ilmaruumis ja et täht on selle uduga ühenduses, millest ta arvatavasti koondumise teel on tekkinud.

145. Udukogude spektrid. Herschel'i arvamus, et on olemas tõelisi udukogusid, leidis tõenduse alles pärast spektrilise analüüsi meetodi tarvituselevõtmist. Tuli ilmsiks, et paljude udukogude

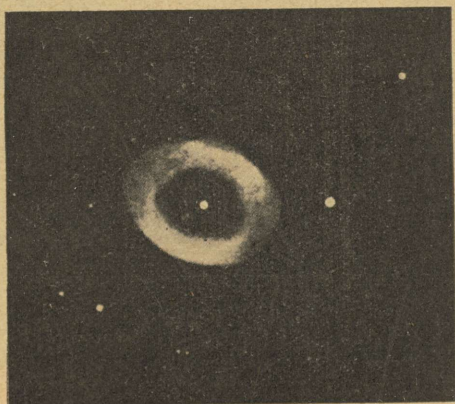
spekter on tüüpiline aine gaasilise oleku spekter — üksikute heledate joontega. Spektri põhjal oli võimalik tõestada tuttavate (vesinik, lämmastik), kuid ka tundmatute gaaside („nebuulium“) juuresolu udukogudes.

Kuid spektriline analüüs näitas ühtlasi, et on olemas udukogusid (näit. *Andromeda* *udu*), mille spekter on tähtede või Päikesespektri sarnane, s. o. tumedate neeldumisjoontega heleneval tagapõhjal. Niisugused „udud“ paistavad ainult näiliselt selliseina; tõeliselt aga on nad grandioossed tähtede parved, milles tähed asetsevad näiliselt nii ligistikku, et ka kõige tugevamate pikksilmadega pole võimalik neid näha üksikult.

Viimaks leidub veel udukogusid, mille spekter esineb kahe eelmise liigi ühendusena: pideval spektri tagapõhjal paistavad üksikud heledad kiirgamisjooned. Neis udukogudes võib tähele panna tähesarnaseid tihendatud tuumi.

146. Udukogude liigitus. Oma välise kuju ja ilme poolest võib udukogusid jaotada järgmisteks liikideks:

1. Planetaarsed gaasilised udud, millel on korrapärase ringi või ellipsi kuju, mis sarnaneb planeedi kettaga. Nende liiki kuulub näit. ka rõngakujuline udukogu *Lyra* tähtkujus (104. joon.). Oma keskmises osas näitavad nad sagedasti udulisi tähti või tihendusi, mille mass Päikesega võrreldes on väga suur ja temperatuur kõrge ($\sim 20\,000^\circ$). Nende välisnagu — tsent-



104. joon. Rõngakujuline udu *Lyra* tähtkujus.

raalne tihendus, mida ümbritsevad rõngad — tuletab meelde Päikesesüsteemi sündimise pilti üldtuttava *Kant-Laplace'i* hüpoteesi järele, olgugi et siin tegemist on palju suuremate kosmiliste moodustistega kui Päikesesüsteem.

2. Gaasiliste udude liiki kuuluvad ka nn. korrapäratud udud; need on laialipaisatud pilvesarnased helenevad gaasimassid,

mis katavad sageli taevavõlvi laias ulatuses, nagu näit. nn. kuulus Orioni udukogu (105. joon.). On selgitatud, et sellel udukogul on füüsiline ühendus temas asetsevate tähtedega, mis arvatavasti tihenemise teel udust on kujunenud.

3. Tumedad udud, mille olemasolu võib järeldada sellest, et siin-seal täherikkail taeva-aladel esinevad kohad, milles tähtede arv võrreldes ümbrusega on silmapaistvalt väike. Tõenäoliselt on siin tegemist mittehelenevate, tumedate, nn. kosmilise tolmu (meteooride) või ka gaasimassidega, mis ei lase läbi nende taga olevate tähtede valgust. On võimalusi oletada, et tumedate udukogude määratu



105. joon. Orioni udukogu.

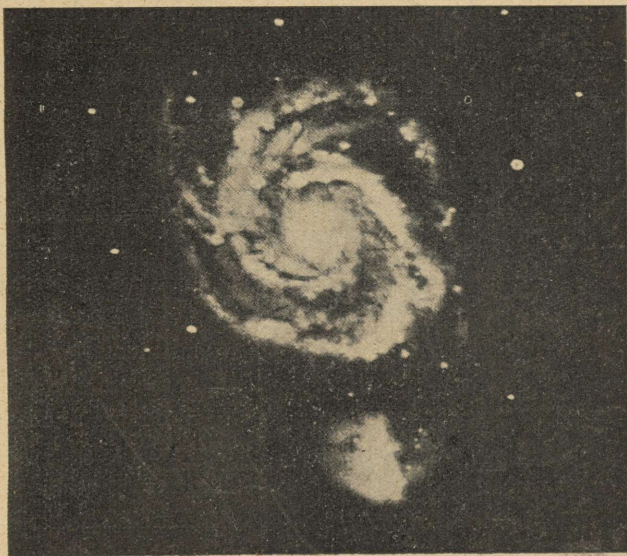
suured massid gravitatsioonilise tõmbumise tulemusena eraldavad soojust ja muutuvad helenevaiks korrapäraseks udukogudeks, milliseist hiljemini arenevad planetaarsed udukogud ja tähed.

4. Spiraalkujuliste udukogude (spiraaludude) ehitis ja kosmiline asend on hoopis teistsugune kui eelmistel liikidel. Nad erinevad oma suure radii- aalkiiruse ja esemete suure arvu poolest. Nende spekter on Päi-

kese ja tähtede spektri sarnane, millest järeneb, et nad ei koosne mitte ainult hõredaist gaasidest, nagu planeeditaolised ja korrapäratud udud. Spiraaludud on oma olemuselt väga kauged täheparved, mille üksikuid tähti pikksilm ainult mõningail juhtudel suudab üksteisest lahutada. Üks silmapaistvamaid ja meile võrdlemisi ligemaid on Andromeda udukogu (107. joon.), mille kaugus on ligi miljon valgusaastat.

Kui seesugusest kaugusest oleks võimalik vaadata ja näha meie Maad ja temal arenevaid sündmusi, siis võiks sealt vahest praegu näha, kuidas tekib inimesugu.

Spiraal-udukogud kuuluvad kosmiliste moodustiste liiki, mis asetsevad Linnutee süsteemist väljaspool ja mis oma suuruselt ja ehituselt võivad olla umbes selle sarnased.



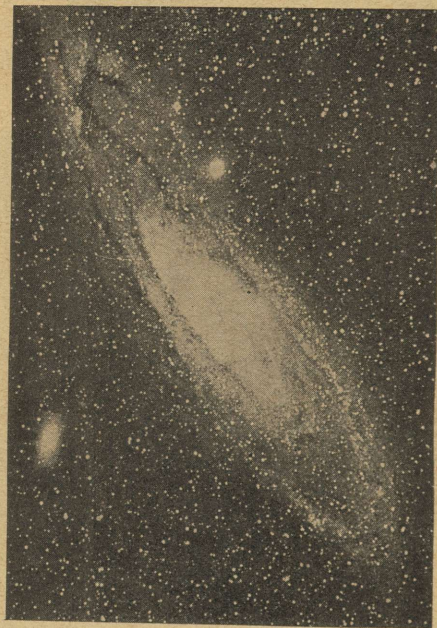
106. joon. Spiraal-udukogu.

147. Maailma suurusel ja ehitusel. Valguskiir, mis levib 300 000 km kiirusega sekundis, jõuab 8 $\frac{1}{2}$ minutiga läbi kõi kauguse, mis lahutab Maad Päikesest. Kolme tunniga jõuab ta Päikesesüsteemi tuntud rajani, kuid et jõuda kõige ligema täheni, peab ta ligi 4 aastat olema teel. Et jõuda teiste, kaugemate tähtede juurde, kulub aastakümneid, -sadu, -tuhandeid...

Oma loomult on tähed, millega täis külitud on avarus, niisama-sugused võimsad jõuallikad nagu meie valguse- ja soojuseandja. On loomulik mõelda, et paljud neist, samuti nagu meie Päike, on ümbritsetud tiirlevaist planeetidest, mida aga meie suure kauguse tõttu ei suuda iial näha. On olemas arvatavasti palju „maailmu“, millest rääkis juba Giordano Bruno († 1600).

Nõnda on astronoomia ehk täheteadus hoopis ümber muutnud meie kujutluse maailmast ja selle suuruselt. Meie üle pole tõeliselt olemas mingisugust piiravat „kristallist sfääri“, vaid piiramatu ruum ehk avarus, mis täidetud miljonite tähtedega. Neid vaadeldes tõuseb küsimus, kas on tähtede koguum ehk universum korrapärane ehitis nagu Päikesesüsteem.

Sellele küsimusele püüdis vastust anda juba kuulus täheteadlane W. Herschel (vt. lk. 143) möödunud sajandi lõpupoolel. Herschel



107. joon. Andromeeda udukogu.

juhtis oma suure teleskoobi mitmesugustele kohtadele taevavõlvi ja luges ära kõik pikksilma vaateväljal nähtavad tähed. Nõnda selgus, et üksikuis taevaosades loetud tähtede arv on väga mitmesugune. Kõige rohkem ja järelikult kõige tihedamalt on tähti Linnutee vöös ja selle lähedal. Linnuteelt minnes eemale, kahaneb tähtede sagedus korrapäraselt, kuna kõige vähem tuleb tähti ilmsiks 90° eemal ehk nn. Linnutee pooluste juures.

Oletades, et tähtede absoluutsed heledused on võrdsed ja et tähed on

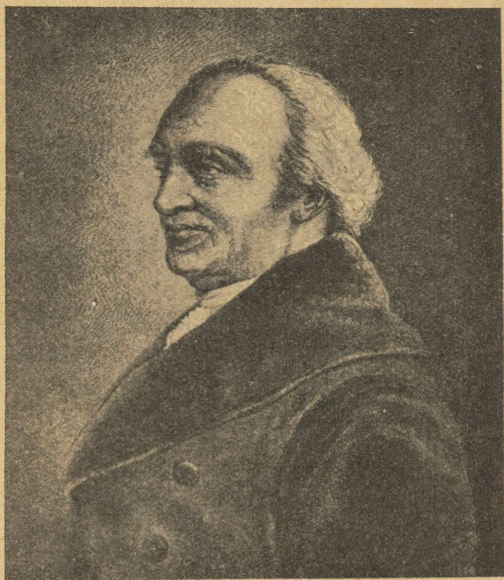
ruumis paigutatud sama tihedalt, tegi Herschel oma täheloenduste põhjal järelduse, et meie täheilm ulatub Linnutee kohal kaugemale avarusse kui mujal.

Kui Päike asetseb kohas P täheilma sees (108. joon.), siis Päikesesüsteemis asetsevale vaatlejale paistavad taevavõlvi osas AA_1 tähed, mis on paigutatud koonuse PAA_1 sees. Kui neid tähti rohkem on tähtedest, mis asetsevad niisama suure avausega koonuses PBB_1 ja mis projekteeruvad taevavõlvi osas BB_1 , siis järeldub sellest, et esimene koonus on pikem kui teine ja et täheilm 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 perspektiiviseadustest; ta on meie tähtedeilma kaugemate, näiliselt üksteisele lähemal asetsevate tähtede valguse liitumine ühiseks pilvetaoliseks helenduseks.

Nõnda jõudis Herschel otsusele, mida hiljemini kinnitasid ka Seeliger'i, Kapteyn'i, Searce'i jt. statistilised uurimised, et Linnutee tähtede parv, mille keskkoha lähedal asetseb meie Päike, on ruumis piiratud ja tal on lapergune ellipsoidiline kuju (108. joon.). Linnutee suurima telje läbimõõt loetakse umbes 100 000 valgusaastat. Linnutee keskoht asetseb siit vaadatuna Amburi ehk Sagittariuse tähtkujus ja on meist ligi 30 000 valgusaastat kaugel.

Vaatamata sellele, et taevas näiliselt esitab meile suurt kokukõla ja rahu pilti, liiguvad seal tähed tõeliselt aga mitmekümne ja mitmesaja kilomeetri kiirusega sekundis, alistudes täheilma külgetõmbe üldmõjule. Tähtede suurused, võrreldes neid



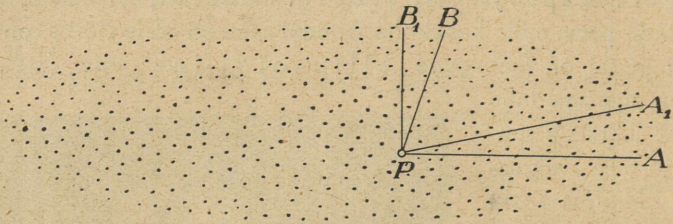
W. Herschel.

üksteisest lahutava kaugusega (võrrelda: kaks nööpnõela pead teineteisest 30 km kaugusel), on nii väikesed, et tähtede kohtumised on väga haruldased ja individuaalsed külgetõmbed tähtede vahel väga nõrgad.

Kuid peale tähtede erisuunaliste liikumiste on Linnuteel veel üldine pöörlemine. Kohas, kus asetseb meie Päike, tuleb seda pöörlemiskiirust lugeda $250\text{--}300 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$ ja pöörlemisperioodi ligi 250 miljonit aastat.

Linnutee täheparv on korrapärane omaette tervik nagu Päikesesüsteem, kuid võrratult keerulisem ja suurem. Kosmogooniliselt ei

tule seda nõnda vaadata, nagu oleksid kõik tähed selles tekkinud samal ajal. Tõenäoliselt on siin tegemist oma osades järjest muutuva, vahelduva tervikuga, mis on vahest pea niisama keeruline kui elav organism.



108. joon. Tähesüsteemi läbilõige (skeem).

Mis aga on väljaspool maailma avaruses kaugel Linnutee taga? Seal, kust valgus on meie juurde teel miljoneid aastaid, asetseb teisi meie Linnutee väärilisi miljardide tähtede peresid, mis meile siin paistavad nõrkade uduliste laikudena tumedal taeva tagapõhjal. Niiviisi esineb meile Maailm ehk Universum, mis suurdub ühes meie nägemisega ja mille ülevus kasvab ühes mõtlemisega.

XVIII. Tabelid.

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

	Keskmine kaugus Päikeselt		Tiirlemisperiood Juul. aastais ja keskm. päevades		Tee eks-tsentrismus	Tee tasapinna kalle ekliptika suhtes
	Miljoneis km	Astron. ühikuis	Sideeriline	Sünoodiline		
Merkur . . .	57,7	0,387	87 ^d 969	115 ^d 88	0,206	700'
Veenus . . .	108,1	0,723	224 ^d 701	583,92	0,007	3024'
Maa	149,5	1,000	365 ^d 256	—	0,017	000'
Marss . . .	227,7	1,524	1 ^a 322 ^d	779,94	0,093	1051'
Jupiter . . .	778	5,203	11 ^a 315 ^d	398,88	0,048	1019'
Saturn . . .	1426	9,555	29 ^a 167 ^d	378,09	0,056	2030'
Uuran . . .	2868	19,218	84 ^a 7 ^d	369,66	0,046	0046'
Neptun . . .	4494	30,110	164 ^a 280 ^d	367,49	0,009	1047'
Pluton . . .	5950	39,5	248 ^a	366,74	0,249	1709'

2. Päikesesüsteemi kehade ehitus.

	Pöörlemis-periood	Ekvaatoriline läbimõõt (Maa = 1)	Ruumala (Maa = 1)	Mass (Maa = 1)	Raskus pinnal	Tihedus		Albeedo
						(Maa = 1)	Vesi = 1	
Päike . .	25 ^d —27 ^d	109,05	1 297 000	333 432	27,9	0,256	1,4	—
Merkur .	88 ^d (?)	0,37	0,05	0,056	0,41	1,1	6,2	0,16
Veenus .	?	0,97	0,90	0,817	0,88	0,91	5,0	0,88
Maa . .	23 ^h 56 ^m 4 ^s	1	1	1	1	1	5,52	0,45
Marss . .	24 ^h 37 ^m 23 ^s	0,54	0,157	0,108	0,37	0,69	3,8	0,25
Jupiter .	9 ^h 50 ^m	11,14	1 295	318,36	2,53	0,25	1,36	0,72
Saturn . .	10 ^h 14 ^m	9,4	745	95,22	1,06	0,13	0,7	0,84
Uuran . .	10 ^h (?)	4,0	63	14,58	0,92	0,23	1,3	0,76
Neptun .	16 ^h (?)	4,3	78	17,26	0,95	0,22	1,2	0,60
Kuu . .	27 ¹ / ₃ d	0,27	0,0203	¹ / ₈₁	0,17	0,61	3,3	0,15

3. Heledamate tähtede asendid.

N i m i	Suurus	α 1933.0	δ 1933.0
α Andromedae	2,2	0 t 4,9 m	+ 28° 43'
β Cassiopejae	2,6	0 5,3	+ 58 48
α Cassiopejae	2,5	0 36,7	+ 56 10
α Eridani (Achernar). . .	0,6	1 35,2	— 57 35
γ Andromedae	2,3 ja 5,1	1 59,8	+ 42 1
α Arietis	2,2	2 3,4	+ 23 9
β Persei (Algol).	2,3—3,8	3 3,5	+ 40 42
η Tauri (Alcyone)	3,0	3 43,5	+ 23 54
α Tauri (Aldebaran) . . .	1,1	4 32,0	+ 16 23
β Orionis (Rügel)	0,3	5 11,3	— 8 17
α Aurigae (Capella)	0,2	5 11,7	+ 45 56
γ Orionis (Bellatrix) . . .	1,7	5 21,5	+ 6 17
α Orionis (Beteigeise) . .	0,9	5 51,5	+ 7 24
α Argus (Canopus)	—0,9	6 22,5	— 52 40
α Canis Majoris (Siirius) .	—1,6	6 42,2	— 16 37
α Geminorum (Castor) . .	1,6	7 30,3	+ 32 2
α Canis Minoris (Procyon)	0,5	7 35,8	+ 5 24
β Geminorum (Pollux) . .	1,2	7 41,2	+ 28 11
α Hydrae (Alphard)	2,2	9 24,3	— 8 22
α Leonis (Regulus).	1,3	10 4,8	+ 12 18
β Ursae Majoris	2,4	10 57,8	+ 56 45
α Ursae Majoris	2,0	10 59,6	+ 62 7
β Leonis (Denebola) . . .	2,2	11 45,6	+ 14 57
ϵ Ursae Majoris (Alioth) .	1,7	12 51,1	+ 56 19
α Virginis (Spica)	1,2	13 21,7	— 10 49
α Bootis (Arktur)	0,2	14 12,6	+ 19 33
α Centauri	0,1	14 35,0	— 60 32
α Cor. borealis (Gemma). .	2,3	15 31,9	+ 26 56
α Scorpii (Antares)	1,2	16 25,3	— 26 17
α Ophiuchi	2,1	17 31,8	+ 12 36
γ Draconis	2,4	17 55,0	+ 51 30
α Lyrae (Veega)	0,1	18 34,7	+ 38 43
α Aquilae (Altair)	0,9	19 47,5	+ 8 41
α Cygni (Deeneb)	1,3	20 39,1	+ 45 2
α Piscis Australis (Fomalhaut)	1,3	22 54,0	— 29 59

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	Beteigeise	0,9	272
Veega	0,1	27	Aldebaran	1,1	59
Arktur	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	Melbourn	−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
Gent	+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	Varssavi	+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 geogr. koordinaadid.

N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist	N i m i	Põhja- laius	Idapikkus Greenwich'ist
		t. m.			t. m.
Haapsalu . .	58° 57'	1 34,1	Rakvere . .	59° 21'	1 45,4
Kuressaare .	58 15	1 29,9	Tallinna . .	59 26	1 39,0
Narva . . .	59 23	1 52,8	Tapa . . .	59 16	1 44,3
Nõmme . . .	59 23	1 38,7	Tartu . . .	58 23	1 46,9
Paide	58 54	1 42,2	Tõrva . . .	58 0	1 43,7
Paldiski . .	59 22	1 36,3	Türi	58 48	1 41,7
Petseri . . .	57 48	1 50,4	Valga . . .	57 47	1 43,9
Pärnu	58 23	1 38,0	Viljandi . .	58 22	1 42,2
Põltsamaa .	58 39	1 44,3	Võru	57 50	1 47,9

7. Tähtsamate tähtkujude ja tähtede nimed.

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

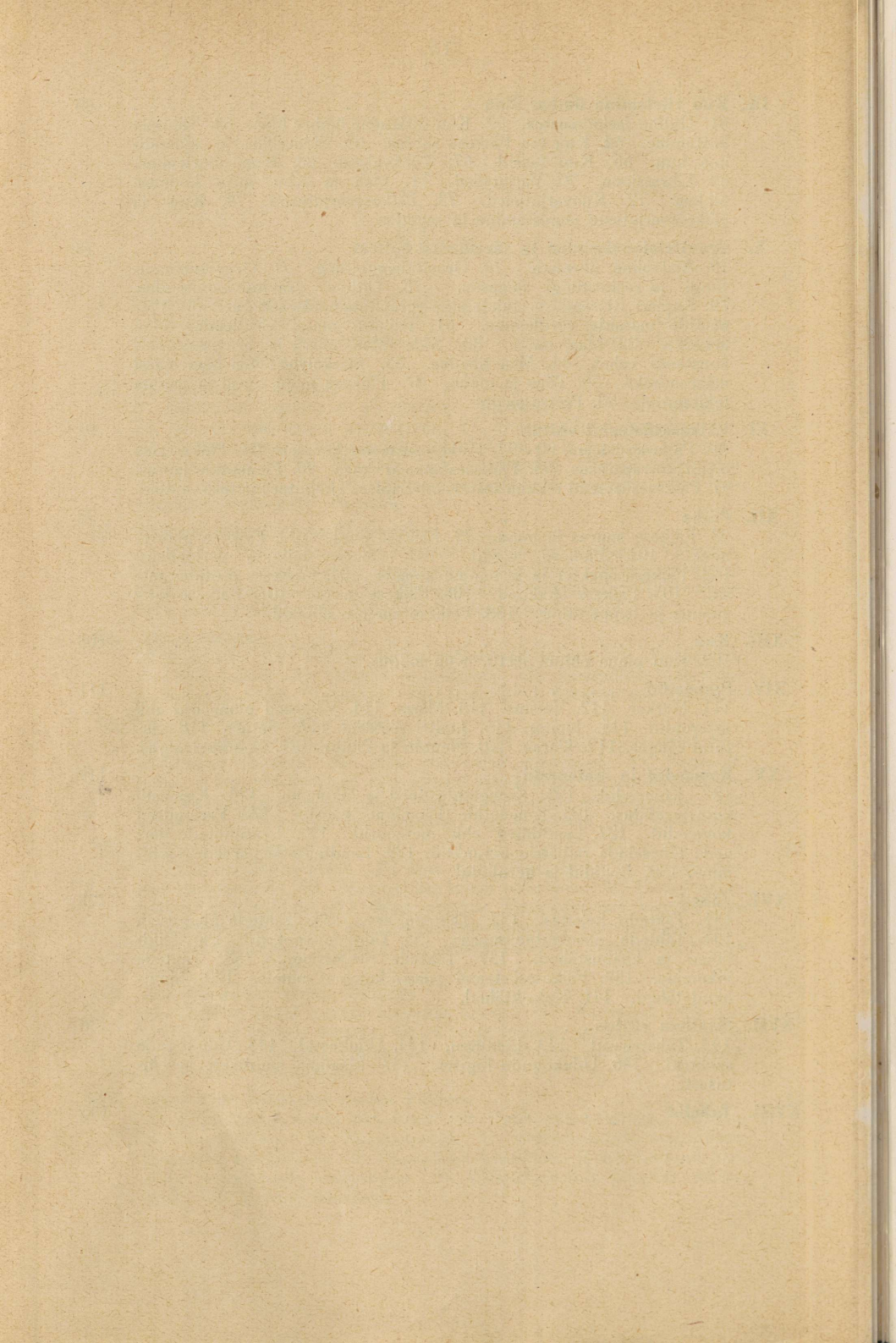
- | | |
|--|--|
| 1. Andromeda | 13. Cygnus, Luik (Suur Rist) |
| 2. Aquarius, Veevalaja | 14. Delphinus, Delfiin ehk Pääsukala (Väike Rist, Peetri Rist) |
| 3. Aquila, Kotkas (Vanad Sauatähed, Jaani Kepp) | 15. Draco, Lohe ehk Lendmadu |
| 4. Aries, Jäär | 16. Gemini, Kaksikud |
| 5. Auriga, Veomees
Capella, Kapella (Jõulutäht) | 17. Hercules, Herkules |
| 6. Bootes, Karjane
Arcturus, Arktur | 18. Leo, Lõvi |
| 7. Canis Major, Suur Peni
Sirius, Siirius (Orjätäht) | 19. Libra, Kaalud |
| 8. Canis Minor, Väike Peni | 20. Lyra, Lüüra ehk Kannel (Vanad Reinad)
Vega, Veega |
| 9. Capricornus, Kaljukits | 21. Orion (Koot ja Reha, Sauatähed, Orjätähed)
Betegeuze, Beteigeise
Rigel, Riigel |
| 10. Cassiopeja, Kassiopeia (Vardatähed) | 22. Ophiuchus, Maokandja |
| 11. Centaurus, Kentaur | 23. Pegasus |
| 12. Corona borealis, Põhja-Kroon
(Kuhjalava, Taevatahr) | |

-
- | | |
|--|---|
| 24. Perseus (Küünlapäevatähed) | Hyades, Hüaadid ehk Vihmatähed |
| 25. Pisces, Kalad | |
| 26. Praesepe, Sõim (Vana Sõel, Moosese Sõel) | 30. Ursa Major, Suur Karu (Suur Vanker) |
| 27. Sagittarius, Ambur | 31. Ursa Minor, Väike Karu (Väike Vanker) |
| 28. Scorpius, Skorpion | Polaris, Põhjanael |
| 29. Taurus, Sõnn | 32. Virgo, Neitsi |
| Plejades, Plejaadid (Sõel) | |
-

Sisu.

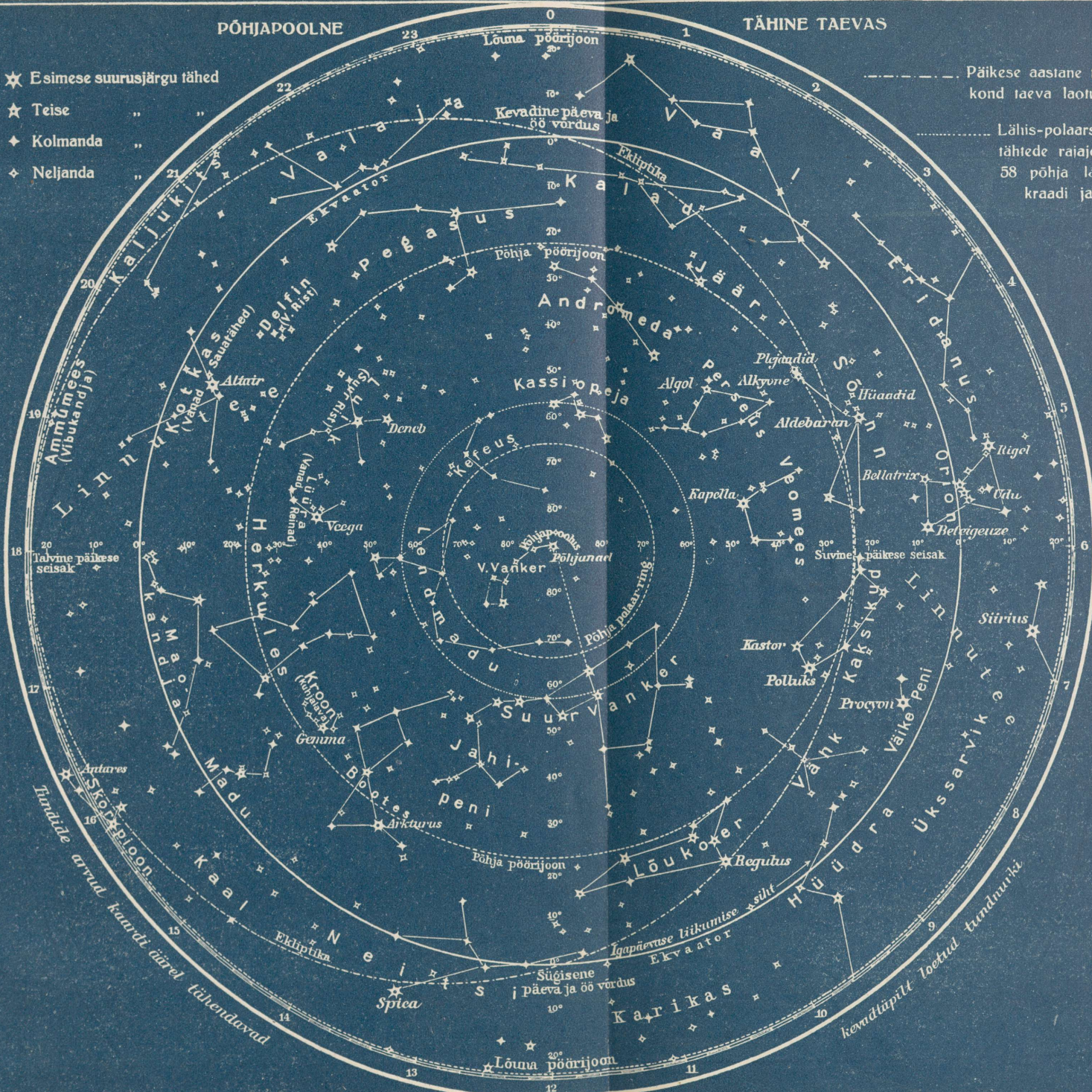
	Lk.
I. Taevavõlv ja mis on näha sellel	5
1. Millega teotseb kosmograafia. 2. Taevavõlv. 3. Matemaatiline horisont. 4. Refraktsioon. 5. Koit ja eha. 6. Taevakehade liigitamine. 7. Tähtkujud.	
II. Taevaskera ja täheae	11
8. Taevavõlvi ööpäevane pöörlemine. Taevaskera. 9. Tähe öö-päev. 10. Asendi määramine taevaskeral. 11. Horisondilised koordinaadid. 12. Ekvaatorilised koordinaadid. 13. Side δ , z ja φ vahel kulminatsioonimomendil. 14. Täheae. 15. Ligikaudne täheaja määramine antud momendil. 16. Side täheaja ja taevakeha otsetõusu vahel kulminatsioonimomendil. Aegnurk.	
III. Päikese näiv aastane liikumine	23
17. Kuu ja Päikese omaliikumine tähtede keskel (taevaskeral). Ekliptika. 18. Päikese koordinaatide muutumine. 19. Päeva pikkuse olenevus Päikese deklinatsioonist. 20. Päeva pikkuse arvutamine. 21. Zoodiagi tähtkujud. Pöörjooned. 22. Ekliptikalised koordinaadid.	
IV. Aja mõõtmine	28
23. Täheae. 24. Tõeline ja keskmine päikeseae. 25. Ajavõrrand. 26. Päikese kell. 27. Kohalik ja ühtlusaeg. 28. Troopiline, sideeriline ja kodanlik aasta. Kalender. 29. Juulise ja Gregooriuse kalender.	
V. Maa pöörlemine telje ümber	35
30. Taevaskera pöörlemise seletamine. 31. Üldised argumendid Maa pöörlemise kasuks. 32. Maa pöörlemise tõestused. 33. Foucault' katse. 34. Raskustungi kiirenduse vähenemine ekvaatori suunas. 35. Vabalt langevate kehade kõrvalekaldumine vertikaalsihist ida poole. 36. Mitmesugused nähtused, mis tõestavad Maa pöörlemist.	
VI. Maa kuju ja suurus	40
37. Maa on tasane ketas. 38. Maa on kerakujuline. 39. Geograafilised koordinaadid. 40. Geograafilise laiuse määramine. 41. Geograafilise pikkuse määramine. 42. Maa suurus. Eratostenese meetod Maa suuruse määramiseks. 43. Triangulatsioonimeetod kaarepikkuse mõõtmisel maapinnal. 44. Maa kui pöördellipsoid. Lapikus. 45. Maa tõeline kuju. Geoid.	
VII. Maa tiirlemine ümber Päikese	52
46. Päikese näiva aastase liikumise seletus. 47. Aastaajad. 48. Kuu ja Päikese kaugus Maast. 49. Kuu ja Päikese parallaks. 50. Kuu ja Päikese suuruse määramine. 51. Tähtede aastane parallaks. 52. Valguse aberratsioon.	
VIII. Planeetide liikumine ümber Päikese	61
53. Rändtähed ja nende liikumised. 54. Ptolemaiuse süsteem. 55. Koperniku süsteem. 56. Siseplaneetid. 57. Välisplaneetide vastupidiste liikumiste seletamine. 58. Planeetide sideerilised ja sünoodilised perioodid ning nende määramine. 59. Välisplaneetide kauguse määramine. 60. Kepleri seadused.	

IX. Kuu tiirlemine ümber Maa	68
61. Üldine iseloomustus. 62. Kuu tiirlemine ümber Maa. 63. Tähtede kattumine. 64. Kuu tee Päikese suhtes. 65. Sideeriline ja sünoodiline kuu. 66. Kuu faasid. 67. Tuhkvalgus. 68. Kuu pöörlemine. 69. Libratsioon. 70. Varjutused. 71. Maa ja Kuu varju koonuse pikkus. 72. Kuubarjutused. 73. Päikesevarjutused. 74. Kuu- ja päikesevarjutuste ennustamine ja sagedus.	
X. Gravitatsiooniseadus ja järeldused sellest	78
75. Ajalooline ülevaade. 76. Gravitatsioonitüüp. 77. Gravitatsioonitüüpi ja raskustüüpi samasus. 78. Üldine gravitatsiooniseadus. 79. Kepleri III seaduse tuletamine gravitatsiooniseadusest. 80. Planeetide masside võrdlemine. 81. Päikese massi võrdlemine Maa massiga. 82. Maa mass. 83. Side Maa massi ja gravitatsioonikonstandi vahel. 84. Maa tihedus. 85. Maskelyne'i viis Maa massi määramiseks. 86. Tõus ja mõõn. 87. Päikese mõju tõusu ja mõõna tekitamisel. 88. Pretsessioon.	
XI. Päikesesüsteemi ehitus	91
89. Päikesesüsteemi. 90—93. Päikesesüsteemi koosseis. 94. Päikesesüsteemi korrapärasus. 95. Päikesesüsteemi kava. 96. Planeetide jaotus. 97. Päikesesüsteemi tekkimisest. Kant-Laplace'i hüpotees ja teisi vaateid.	
XII. Päike	98
98. Päikese suurus ja mass. 99. Päikese pind. 100. Päikese pöörlemine. 101. Päikese laigud. 102. Päikese laikude perioodid. 103. Päikese spekter ja keemiline koostis. 104. Päikese protuberantsid. 105. Päikese õhkkond. 106. Päikese kroon. 107. Päikese kiirgamine ja temperatuur. 108. Päikese soojuse allikaid.	
XIII. Kuu	108
109. Kuu pinna ehitus. 110. Kuu loodus.	
XIV. Planeedid	111
111. Merkur. 112. Veenus. 113. Marss. 114. Väikesed planeedid ehk asteroidid. 115. Jupiter. 116. Jupiteri süsteem. 117. Saturn. 118. Saturni rõngas. 119. Uran. 120. Neptun ja Pluton. 121. Zodiagivalgus.	
XV. Komeedid ja meteorid	119
122. Komeedid. 123. Komeetide teed ja liikumine. 124. Komeedi kuju ja ehitus. 125. Komeetide keemiline koostis. 126. Perioodsed komeedid. 127. Lendtähed ehk meteorid. 128. Lendtähtede parved; tähesajud; radiatsioonipunktid. 129. Lendtähtede parvede tekkimine. 130. Boliidid ja aeroliidid.	
XVI. Tähed	125
131. Tähtede heledus. 132. Tähtede arv. 133. Tähtede kaugused. 134. Tähtede absoluutne suurus. 135. Tähtede spektrid. 136. Hiidtähed ja kääbustähed. 137. Tähtede evolutsioon. 138. Tähtede liikumine. 139. Päikesesüsteemi edasilikumine ruumis. 140. Muutlikud tähed. 141. Kaksiktähed.	
XVII. Maailma ehitus	136
142. Täheparved. 143. Linnutee. 144. Udukogud. 145. Udukogude spektrid. 146. Udukogude liigitus. 147. Maailma suurusest ja ehitusest.	
XVIII. Tabelid	145



TÄHINE TAEVAS

- Lähis-polaarsete
tähtede rajajoon
58 põhja laius
kraadi jaoks



Dr. Fritz Kahn

L I N N U T E E

Tõlkinud M. Reika.

Parandanud ja täiendanud Tartu Ülikooli Tähetorni astronoom-
observaator dr. E. Õpik.

98 lk., 21 joon. Hind 1 kr. 25 s.

Kiirgavate tähtede taga silmab vaatleja selgel ööl helkivat udu-
juga, mis hõbehalli paelana taevavõlvi läbib. See on Linnutee...
Linnuteega lõpeb maailm, mis veel meie vaatlemisele allub. Kuid
vaatamata kohutavate kauguste peale suudab inimene teaduslikkude
abinõude kaudu sealt veel teateid tuua.

Fr. K a h n'i töö kütkestab lugejat, pakub palju mõistusele, fan-
taasiale, jäädes sealjuures soliidselt ja kindlasse kontakti teadusega.

„Linnutee“ on värske, kena raamatuke. Paber ja trükk hea.
Teksti selgitavad huvitavad joonised ja kümmekond tabelit. Meie
tutvume siin kaudse kauguste määramise viisiga, omandame mõiste
kauguste arvutamisest, absoluutsest heledusest, kiirte rõhumisest jne.

Raamatus on käsitlemist leidnud ka viimase aja uurimiste saavu-
tised, mis uut valgust heidavad üksikuile küsimustele ja meie teadmisi
tähtede arenemisest ja universumi ehitusest täiendavad.

Vististi leiab „Linnutee“ aset igas kooli- ja rahva-raamatukogus
kui ka laialist levimist eraisikute keskel, sest „tähtedes taevas meie
kohal ja kõlbline seadus meie sees“ on Kant'i arvates „asjad, mis
inimest ikka ja alati huvitavad ja imestusega täidavad“.

A. R(audsepp).

„Postimees“.

J. Lang

FÜÜSIKA ÜLESANDED

keskkoolidele ja iseõppimiseks.

162 lk. Hind 1 kr. 50 senti.

Füüsika ülesannete lahendamine on üheks tähtsamaks abinõuks
füüsikalisele mõtlemisele kasvatamisel.

Käesolev raamat pakub hulk materjali (1040 ülesannet) füüsika
mõistete, seaduste ja nähtuste iseseisvaks käsitlemiseks kogu kesk-
kooli-kursuse ulatuses.

HIND 2 KR. 20 S.