KOSMOGRAAFIA KURSUS

RÕNGU KÕRGEM RAHVAKOOL
Tartumaal

PROF. K. D. POKROWSKY

KOSMOGRAAFIA KURSUS

KESKKOOLIDELE

579/19

TOLKINUD

W. NANO

Rüngu 6-kl. algkooli õpetaja
raamatukogu № 233.

TALLINN
KIRJASTUS-ÜHISUS „RAHVAÜLIKOOL"
1921

A-3462 II

Trükitud: poog. 1—4 Paalmann'i trükikojas Tallinnas
poog. 5—11 Ed. Bergmann'i trükikojas Tartus

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
57442

C 1580307

Eessõna.

Tôlkisin selle raamatu juba kolme aasta eest. Wahepeal on aga keel tublisti arenenud: terminoloogias on môndagi muutunud, ôigekirjutus ja lauseehitus on enam fikseerunud, fraseoloogia on saanud painduwamaks. Kuid kahjuks polnud enam wôimalik teha mingisuguseid parandusi nelja esimese poogna juures, mis juba waremini Tallinnas trükitud; neisse on jäänud môned wead. Märgin siin need, mis arusaamist segawad:

	On trükitud	Peab olema
lhk. 4 rida 15 ülewalt:	waatepiiri üle	waatepiiri kohale
„ 16 „ 1 alt:	tôustes	tôstes
„ 18 „ 2 ülewalt:	meie toa aknast	oma toa aknast
„ 18 „ 3 alt:	kus	kus juures
„ 32 „ 1 „	weeruwad siis nônda, et . . .	tähendab, weeruwad nônda, et
„ 42 „ 5 „	kulminatsioonis	kulminatsioonides
„ 43 „ 4 „	lôunapööre	lôunapöörde
„ 46 „ 7 „	aga maakera paralleelide wahel, ühesuuruste wahekauguste peale waatamata, ei ole	kuigi wahed maakera paralleelide wahel oleks ühesuurused, ometi ei ole
„ 46 „ 6 ülewalt:	Ette kujutades	Kujutades
„ 54 „ 2 alt:	halwe	hälwe
„ 58 „ 8 „	lühikene	lähikene
„ 58 „ 3 „	nurke	nurka

Oigekirjutuse wead: okean, okeaan (peab olema ookean), wastastikune (p. o. wastastikkune), ootamatalt (p. o. ootamata ehk ootamatult), lähidal, lähiduses (p. o. lähedal, läheduses), järjestikune (p. o. järjestikkune), môetmine (p. o. môôtmine), langewi kehade (p. o. langewate kehade), paiku, keskpaiku (p. o. paigu, keskpaigu), paljudes kohtades on kirjutatud „wähem", kus peaks olema „wäiksem" jne.

Sisulised ôiendused: Tekstis polnud enam vôimalik prof. Pokrowsky Kosmograafia kursuse arvulisi andmeid kokkukôlasse tuua uuemate môôtmistega, raamatule juurelisatud tabelites katsusin aga seda teha. Tähtede heleduse ja nende keskmiste kohtade määramisel wôtsin aluseks Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1921, päikese süsteemi kohta käivad andmed sain aastaraamatust Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique pour 1922. Wiimasest raamatust leidsin ka, et praegusel ajal on teada ainult 9 Jupiteri kaaslast (parandada viga lhk. 103!), sellega ei ole kinnitust leidnud paar aastat tagasi ilmunud teade Jupiteri kümnenda kuu leidmisest.

1919. aasta lôpuks oli kataloogitud juba 914 asteroiidi (wôrdle lhk. 121).

Muudatused terminoloogias.

Wene keeles	On tôlgitud	Oleks parem
площадь	pinna suurus	pindala
об'ем	maht	ruumala
положение (Lage)	seis	asend
заходит	weereb	loojub
отсчет	lugi	lugem
равномерный	wôrdmôôtne	ühtlane
формула	wormul	walem
сила	jôud	tung
маятник	pendul	pendel
время качания	wônkumisaeg	wôngu wältus
оборот	ring, pöörang	tiir
точной	täpipealne	täpne
точность	täpisus	täpsus
пластинка	platt	plaat
склонение	pööre, käänd	deklinatsioon

Ülikooli ôpejôududest on moodustunud mitmed kommisjonid oskussônade wälja töötamiseks; astronoomia meteoroloogia ja geograafia oskussônade kommisjoni tööd ilmuwad arwatawasti sügiseks 1921. Need — kahtlemata kôige autoriteetlikuma asutuse poolt wälja töötatud — oskussônad tuleks wähemalt koolikirjanduses üldisele tarwitusele wôtta.

Kôik wead ja kôik muudatused terminoloogias tuleks lasta enne ôpetüki läbiwôtmist ära parandada; loodan, et see parandamine ôpetegevust siiski wäga palju ei takista.

Awaldan otsekohest tänu prof. D. Rootsmanile, kes wôttis enese peale tôlke redigeerimise raske töö, ja keeleteadlasele hr. Joh. Weskile, kes on mind oma asjatundliku nôuandega palju aidanud keelelistes küsimustes.

W. Nano.

Tartu, weebr. 1921.

Sisu.

		lehk.
I. peatükk.	Kosmograafia aine. Mida annawad meile otsekohesed waatlemised	1
II. „	Taewawôlwi ööpäewne liikumine. Taewasfäär	8
III. „	Môôtmised taewawôlwil. Taewa koordinaadid. Uniwersaal-riist. Ekwatoriaal	13
IV. „	Täheaeg. Taewakehade kulminatsiooni aeg. Kella ôiendus. Passaaz-riist. Meridiaan-sôôr	18
V. „	Päikese nähtaw liikumine	24
VI. „	Tôeline ja keskmine päikseaeg. Päiksekell	28
VII. „	Ajaarwamine. Juliani ja Gregoriani kalendrid	30
VIII. „	Taewawôlwi ööpäewane liikumine on näiw ilmuwus. Maa pöörlemine. Maa poolused. Ekwaator, meridiaan. Geograafilised koordinaadid	32
IX. „	Koha laiuse ja pikkuse määramine. Taewakeha kôrgus meridiaanil. Täheteaduse tähtsus meresôidus. Kronomeeter. Sekstant. Taewa kuju mitmesuguste laiuste all. Weerumatud ja tôusmatud tähed	36
X. „	Maa- ja taewakaardid	45
XI. „	Maa tôeline kuju	50
XII. „	Maa pöörlemise tôendused	53
XIII. „	Taewakehade kaugus. Parallaks. Taewakeha nurk-raadius	58
XIV. „	Maa liikumine ümber päikese	62
XV. „	Tôendused maa liikumisele ümber päikese. Tähtede aastaparallaks. Walguse aberratsioon	65
XVI. „	Kuu ringimine ümber maa. Tähtede kattumised. Faasid. Sideeriline ja sünoodiline kuu. Kuu orbiit. Kuu pöörlemine ja libratsioon	70
XVII. „	Warjutused	77
XVIII. „	Planeetide liikumine. Ptolomäuse süsteem ja Kopernikuse süsteem. Kepleri seadused	82
XIX. „	Liikumise pôhiseadused. Koguilmlise grawitatsiooni seadus. Môiste segamistest. Planeetide massid. Tôusud ja môônad. Pretsessioon ja nutatsioon	89
XX. „	Päikese süsteem	103
XXI. „	Päike	107
XXII. „	Planeedid ja nende kaaslased. Soodiagu-walgus	113
XXIII. „	Komeedid ja langewad tähed	127
XXIV. „	Taewatähed	137

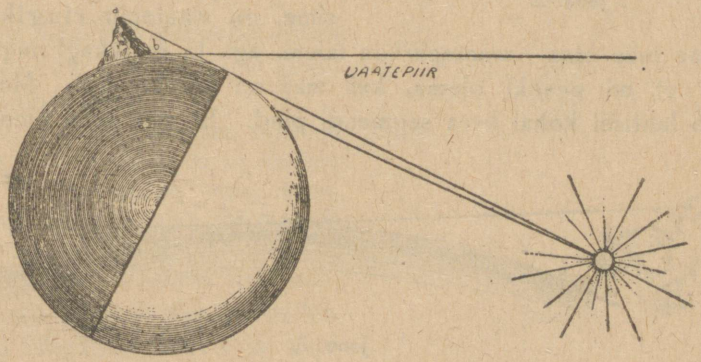
lhk.
Esimene lisa 145
Praktilised harjutused kosmograafias. (Teine lisa) 148
Kolm stereoskoobilist tabelit. (Kolmas lisa) 162
Tähtsamate ja kodumaa linnade laiused ja pikkused 163
Tähtsamate tähtede, tähtsagarate ja udukogude keskmised kohad 1921 163
Päikese, kuu ja kaaslaste tabelid 166
Kaaslased 166
Suurte planeetide tabel 167
Taewakaart 168

I. peatükk.

KOSMOGRAAFIA AINE. MIDA ANNAWAD MEILE OTSEKOHESED WAATLEMISED.

Kosmograafia aine. Kosmograafia tähendab — maailma kirjeldus (Greeka keeles on κόσμος maailm, kogum, γράφω — kirjutan). Kosmograafia kursuses kirjeldakse ja seletakse järjelikult neid nähtusi, mida waadeldakse mitmesugustel taewakehadel.

Maa kuju. Wäga palju huwitawat annawad meile otsekohesed waatlemised. Paneme, näituseks, päikese tõusu tähele. Igaüks märkab kergesti, et päikese esimesed kiired walgustawad kõige kõrge-



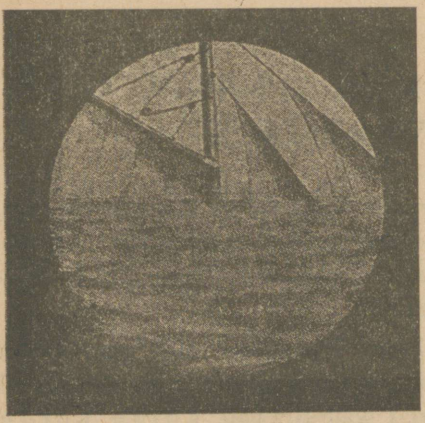
Joon. 1.

maid asju: esite hakkawad särama mägede tipud, kirikute ristid ja alles pärast walgustub järkjärgult see, mis madalamal. Nii on ka siis, kui maastik päikese sihis on päris tasane, kui seal ei ole kõrgustikka, mis päikese kiirtel wõiksid ees olla. Siit wõib järeldada, et maa on kumer.

Walguse kiired on sirgejoonelised. Kui mäetipp a (joon. 1) on juba walgustud, pole päike waatlejale punktis b weel tõusnud. See koht maapinnast on weel warjus, sest et päikese kiired sinna otsekoheselt ei tungi — maa kumerus on neil ees.

Sama järelduse teeme waadeldes, kuidas aurulaew merele läheb: kõigepealt kaob laewa kere, aga tema mastid, korsten ja suits on weel

näha, siis kaowad järkjärgult korsten, mastid ja suits, just nagu wajuks laew wette. Joon. 2 kujutab meile silmist kaduwat purjelaewa waadatuna pikksilmast. Selle juures on huwitaw, et sel ajal kui waatlejal punktis b laew juba on kadund, waatleja mäetipust a teda weel näeb. (Joon. 3.)



Joon. 2.

Reisid ümber ilma näitawad, et maa on ümmargune ja täiesti eraldud keha ruumis.

Meie wõime teda lihtsalt keraks lugeda.

Läheme wälja lahtisele tasandikule. Meie üle kerkib wõlwina taewas, mis kaugel näib maaga kokku puutuwat. See taewaserwa nähtaw ühinemine maaga on meist igas sihis ühekaugel. Meie oleme selle nähtawaks waatepiiriks ehk horisondiks kutsutawa ringi keskkohas. Igalpool, kus meie ka oleksime, on waatepiir ringikujuline. Tõuseme mäe otsa — waatepiir on laiem, aga ta on ikkagi ring. Joon. 4 näitab, et nii peabki olema, kui maa on kerakujuline. Meie silmile awaneb lahtisel kohal kera segmendi pind. Et aga selle pinna suurus



Joon. 3.

kogu maakera pinnaga wõrreldes on wäga wäike, siis ei märka meie harilikkudel waatlemistel tema kumerust ja peame teda tasapinnaks.

Horisontaalne pind on waba ja puhkawa wedeliku pind, järwe, mere, okeani oma. Tema on igas kohas raskustungi sihile perpendikulaarne. Raskustungi siht nimetakse wertikaalseks ehk lootsihiks, see on — kui maad keraks pidada — üldiselt maa raadiuse siht.

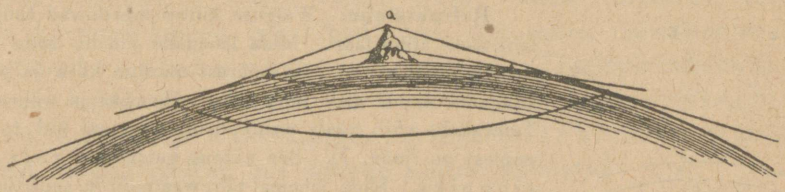
Nähtaw ja tõeline waatepiir. See maapinna osa, mida meie näeme, wiibides päris lahtises maakohas, nimetakse nähtawaks waatepiiriks, tasapind aga, mis läheb läbi waatleja silma perpendikulaarselt waatlemiskoha lootjoonega, kannab tõelise waatepiiri nime. Nurk,

mille teeb selle tasapinnaga puutuja maakerale, kutsutakse waatepiiri alanemiseks. Joon. 5 on see nurk $\angle CAB = \alpha$.

Maakera suurus. Kui mõõta waatepiiri alanemist ja mäe kõrgust, millel waatleja asub, siis wõime maakera raadiuse wälja arwata.

Täisnurksest $\triangle$-st AOB saame

$$OB = AO \cdot \text{Cos } \alpha$$



Joon. 4.

ehk, tähendes maakera raadiuse tähega x, mäe kõrguse tähega h,

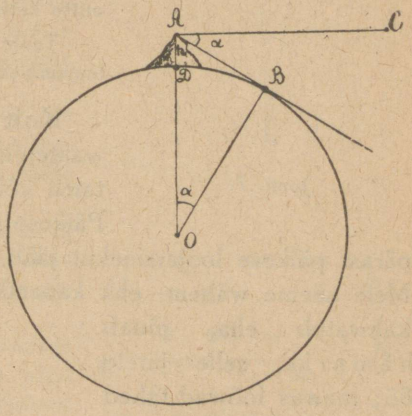
$$x = (x+h) \text{ Cos } \alpha.$$

Millest

$$x = \frac{h \text{ Cos } \alpha}{1 - \text{Cos } \alpha} = \frac{h \text{ Cos } \alpha}{2 \text{ Sin}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

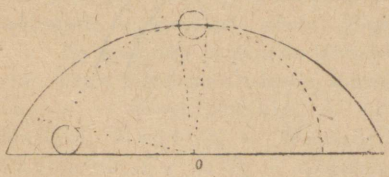
Leiti, et maakera raadius on umbes 6000 wersta pikkune. (W. praktilist ülesannet lisas).

Allpool XI peatükis räägime täpimaist mõõtmisist, millede ülesandeks on kindlaks teha maa tõeline kuju ja tema suurus. Kõigi ligikaudsete arwamiste juures wõib aga seda arwu tarwitada.



Joon. 5.

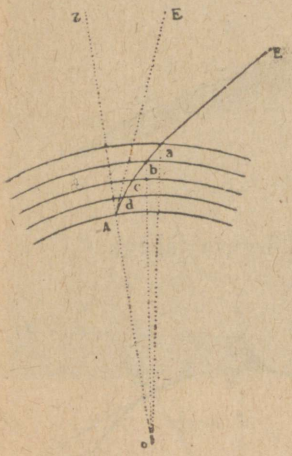
Taewawõlw. Waatame taewasse, kus walitseb päewal elustaw päike, öösel aga hiilgawad tähed ja kuu. Miski ei anna meile otsekoheseid osutusi taewakehade kauguse kohta. Meie ei märka, et üks täht teisest oleks kaugemal ehk lähemal. Nad näiwad kõik meile kinnitatuina sama wõlwi õõnsale pinnale, mis meile esimesel pilgul kerakujulisena paistab, tähelepanelikumal waatlemisel aga tunneme, et see kera on tublisti kokku pigistud, laiudes waatepiiri juures. (Joon. 6).



Joon. 6.

Taewas esineb meile ka päewal wõlwina, sest et maad ümbritsewa õhu osakesed päikese kiiri tagasi heidawad. Mida wähem on õhus

kindlaid ja wedelaid osakesi, seda enam läheb siniseid kiiri läbi. Taewa walgustus takistab meid tähti nägemast, aga nad on kahtlemata alati taewas. Kui kõrwaldada suurem hulk kiiri, mis igaltpoolt taewawõlwist meie juure tulewad, siis wõib ka päewal tähti näha. Nii nähakse kitsa aga sügawa kaewu põhjast päewalgi tähti, neid wõib ka astronoomilises pikksilmas näha.



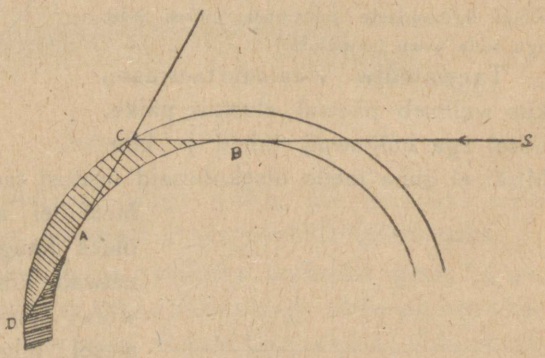
Joon. 7.

Refraktsioon. Walguse kiired murduwad tungides läbi meie atmosfääri. Mida lähemale maale, seda tihedamad on õhukihid. Sellepärast muutub kiire ja wertikaaljoone wahel olew nurk ikka wähemaks ja wähemaks. Taewakeha näib meile waatepiirilt kõrgemal kui ta tõepoolest on (joon. 7). See nähtus kutsutakse refraktsiooniks. Mida lähemal täht waatepiirile, seda suurem on refraktsioon. Refraktsiooni tagajärjel saab päike enne nähtawaks, kui ta tõepoolest waatepiiri üle on tõusnud. Selle juures kerkib päikese ülemine äär wähem kui alumine, — mille tagajärjel päike meile owaalina ilmub, mitte kettana. Sedasama näeme ka päikese loojaminekul.

Tuule ja suure niiskuse korral saab päike tõusul ja loojaminekul mitmeti moonutud.

Koit ja eha. Hämarik. Kui päike on waatepiiri all, siis ei ulata tema kiired walgustama kõiki meile nähtawa taewalaotuse osasid. Päikese tõusu eel lööb lõkendama idataewas, pärast päikese loojaminekut jääb läänetaewas mõneks ajaks helendama. Meie näeme wähem- ehk kauemkestwat koitu ja eha. Aegamööda kahwatub eha, jõuab hämarik, selle järele öö; taewas lööwad tähed hiilgama, mis päewalgi oma kohtadel olid, kuid meie ei wõinud neid näha, sest et taewawõlw oli heledasti walgustud.

Kui maa ümber poleks õhkkonda, poleks ka eha ega hämarikku, öö tuleks silmapilkselt.



Joon. 8.

Waatleja punktis A (joon. 8) saab wiimse päikese kiire, mis on tagasi heidetud atmosfääri ülemises kihis. Punktides, mis A-st pahemalpool, on juba täieline öö. Waatlejale punktis B on päike waatepiirilt weel kõrgemal. Punktides, mis B-st paremalpool, on weel päew. A ja B wahel on hämarik, seda tihedam, pimedam, mida lähemal on antud punkt A-le.

Tähtistaewas. Pimedal kuuta ööl näib taewas lõpmata hulk tähti hiilgawat. See näib ainult nii. Katsuge tähed ära lugeda — see on wõimalik. Teie saate neid nähtawal taewa poolkeral ainult kolme tuhande ümber.

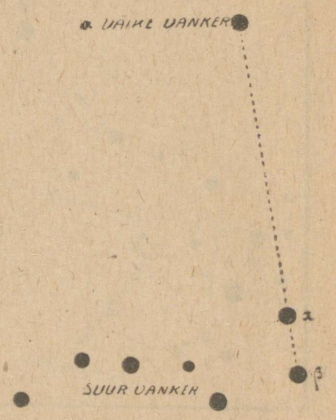
Tähelepanelikul taewa waatlemisel märkate teie kergesti wahet tähtede heleduse ja wärwi wahel. Pange tähele wilkumist, eraldage wälja ka need kujud, mis tähed ühes wõi teises taewalaotuse kohas sünnitawad — nõndanimetud tähtkujud. Tähelepanemisewäärt on, et need kujud ei muutu. Tähed ei muuda oma wastastikust seisu, sellepärast nimetaksegi neid kinnistähtedeks, eraldades teistest taewakehadest, mis tähtede suhtes nihkuwad.

Mitu aastasada näeb inimkond taewast Aga need tähtkujud, mis juba hallil wanalajal on tuntud, hoiawad oma kuju ikka weel alal. Nende nimetused andis üks rahwas teisele edasi. Paljudes juhtumistes on nad mütoloogiaga ühenduses. Näituseks, jahimehe Orioni tähtkuju, naha ja kaikaga. Seitse kuud jälgis Orion Atlandi tütreid, nõndanimetud Plejaade. Jumalad halastasid waeste Plejaadide peale, muutsid nad tuwikesteks ja wõtsid siis tähtina taewasse. See salk on Sõnni tähtkujus.

Orioni jalgade all on tema koer Siirius. Nüüd nimetakse seda tähtkuju Suureks Peniks. Siiriuse nimi jäi aga kõige heledamale tähele selles tähtkujus.

Tuntud Suure Wankri (Suure Karu) tähtkond on tähtede salk, milles wõib metslooma kujutada. Greeka müüt ühendab temaga õnnetu Kallisto saatuse, keda Heera karuks moondas.

Muidugi wõib neid kujusid, mida tähtkondade nimetused osutawad, ainult ettekujutuse abil wälja eraldada. Nüüd lahutame meie tähtkonde üksteisest lihtsamaks tehtud geomeetriliste kujude abil. Näituseks wõtame meie Suure Wankrisse ainult seitse heledamat tähte, mis annawad kopa kuju. Orioni tunneme meie suure tähe X-i kujust jne. Tähtkujude nimetused jäid alles, kuid kaduma läks see tähendus, mis neil oli wanade egüptlaste, kaldealaste ja greeklaste silmis. Meie wõtame neid tingiwas mõttes hõlpsuse pärast.



Joon. 9.

Ka paljudele üksikutele tähtedele anti nimed. Nüüd aga tarwitakse ainult mõnede, kõige tähtsamate tähtede nimesid, näit.: Algol — Perseuse tähtkujus, Aldebaran — Sõnni tähtkujus, Arktur — Bootese tähtkujus, Weega — Lüüra tähtkujus, Kapella — Weomehe tähtkujus, Mitsar Suure Wankri tähtkujus, Kastor ja Polluks — Kaksikute tähtk. Üldiselt aga tarwitakse tähtede märkimiseks Greeka tähestiku tähti ehk ka lihtsalt numbrid.

Nendele, kes soowiwad taewast põhjalikumalt tundma õppida, wõiks soowitada Suure Wankriga alata, mis kõigile tuttaw.

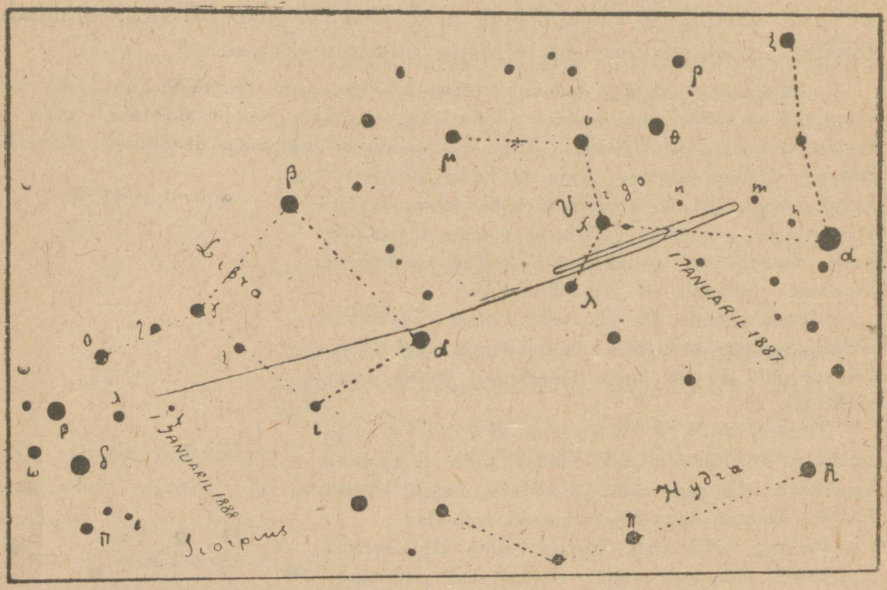
Kui sirgjoonega ühendada tähed alfa ja beeta selles tähtkujus ja seda sirgjoont alfa sihis wiiekordse kauguseni jatkata, siis leiame õige heleda tähe, nõndanimetud alfa Wäikses Wankris (joon. 9). Wäikse Wankri tähtkonda wõib ka kopa kujust ära tunda, ainult wars on temal teisiti pöördud kui Suure Wankri wars.

Wäikse Wankri taga, sümmeetriliselt Suurele on Kassiopeja tähtkond, milles wõib ära tunda wähe wäljawenitud W kuju.

Wankrite wahel lookleb lindina Draakon, kelle pea on pöördud Lüüra tähtkonna poole, tema kõrwal on ühelpool Luik, teisel pool Herkules jne.

Raamatule juurelisatud kaardi abil wõib, tähtkonnast tähtkonda asetudes, kogu taewast tundma õppida, mida antud ajal wõib waadelda.

Huwitaw on järgida Linnutee piire, — seda laia, walkjat wööti, mis läheb läbi Kotka, Madukandja, Luige, Kassiopeja, Perseuse, Kaksikute j. t. tähtkujude.



Joon. 10. Nähtaw Jupiteri tee taewawõlwil 1887—1888 aastail Neitsi (Wirgo) ja Kaalude (Libra) tähtkujudes.

Taewakehad, mis tähtede keskel liiguwad. Kuud nähes pange tähele, missugune täht on talle kõige lähemal. Waadake kuud järgmisel päewal — siis näete, et ta sellest tähest on juba kaugele pahemale poole kaldund; weel järgmisel päewal — ja ta läheb weel kaugemale. Samuti, ainult palju aeglasemalt, liiguwad mõned tähedki. Meie nimetame neid greeklaste järel planeetideks, s. t. rändtähtedeks, et neid eraldada teisist, mida nimetakse kinnistähtedeks, sest et nad üks teise suhtes ei liigu (joon. 10).

Kõige heledamad planeedid on: Merkur, Weenus, Jupiter, Mars, Saturn. Et teada, kus see ehk teine planeet antud ajal wiibib, tuleb astronoomilisest kalendrist järele waadata.

Niisama kui kuu, liigub tähtede seas ka päike, kuid tema liikumist ei wõi meie wahenditumalt märgata. Päikese heledad kiired, mis wal-

gustawad maakera õhkkonda, teewad nägematuks tähed, mis päikest ümbritsewad. Sellest, kuidas päikese liikumist tähtede keskel selgeks teha, räägime pärastpoole (V. peatükk). Siin tähendame ainult, et päikese liikumise tagajärjel tähtede keskel meie suwel mitte neid tähtkondi ei näe, mida talwel waadelda wõime.

Wahel on taewas hoopis iseäralisi tähti näha — uduse peaga ja nii ehk teistsuguse sabaga. Need on nõndanimetud s a b a t ä h e d — k o m ē e d i d. Harilikult ilmuwad nad ootamatalt ja on näha mõni päew ehk nädal; nende liikumised tähtede seas on tihti õige kiired.

Igaüks on muidugi näinud, kuidas täheke langeb. Ärge arwake, et see täht mõnest tähtkujust maha langes. Kõik tähed, mis tähtkujusse kuuluwad, on alles ja hiilgawad endiselt omal kohal. Ainult meie maakera õhkkonnast lendas läbi ja põles ära wäikene kehake, mille loodusest räägime XXIII-das peatükis.

II. peatükk.

TAEWAWÕLWI ÖÖPÄEWANE LIIKUMINE, TAEWASFÄÄR.

Taewawôlwi ööpäewane liikumine. Igaüks teab, kuidas päike tõuseb, kuidas ta ikka kõrgemale ja kõrgemale kerkib, keskpäewal kõige kõrgemale jõuab ja pärast waatepiirile hakkab wajuma. Paljud on muidugi tähele pannud kuu tõusu, aga mitte kõik ei kujuta ette, et tähed just niisama waatepiiri kohal liiguwad, kui päike ja kuu. Ometi on see wäga tähtis ja huwitaw nähtus. Igaüks peab selle enesele selgeks tegema oma isikliku otsekohese waatlemise abil.

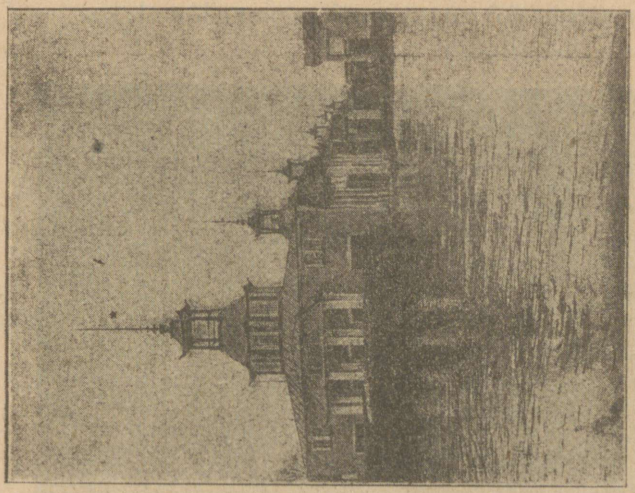
Wõtame tähe mõne korstna, puuoksa ehk kauge kirikutorni lähiduses. Tuleme poole tunni pärast samale kohale, kust enne waatasime. Meie näeme, et täht märksa paremale poole on nihkunud (joon. 11 ja 12).

See ei tähenda aga mitte, et täht on eemale läinud neist tähtedest, millede naabruses ta oli. Tähtkonna kuju jääb, nagu ülewal öeldud, alati samaks; kõik tähed näiwad waatepiiri suhtes edasi nihkunud olema, alalhoides oma wastastikuse seisu. Kõik tähed tõusewad ühelt poolt, nõndanimetud idapoolt, kõik nad jõuawad kõige suuremale kõrgusele ühel ja samal tasapinnal, mis on taewalaotuse lõuna osas, kõik weerewad lääne. Nad ei tõuse mitte ühekõrgusele waatepiirilt, ja kaared, mida nad teewad, on mitmesugused. Tähtis on aga, et tasapinnad, milledes taewakehad liikuma näiwad, on kõik paralleelsed ja et täie pöörangu wältus on igal tähel üks ja seesama.

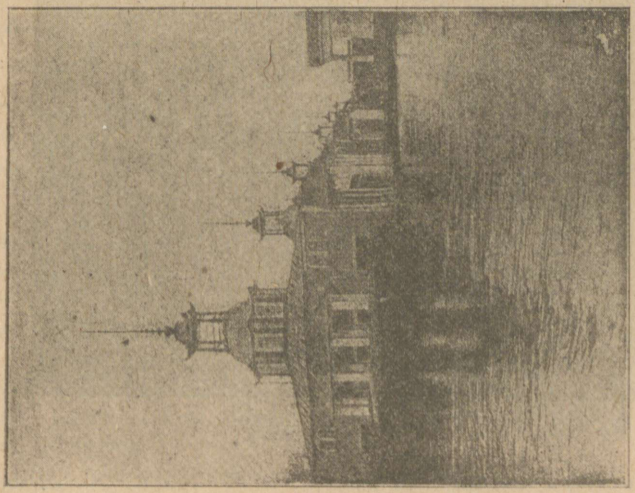
Tähed liiguwad waatepiiri suhtes just nii, nagu oleks nad taewawõlwi külge kinnitud, ja nagu pöörduks see wõlw terwena mõne telje ümber. Tõmmake tasapindadele, milledes tähed liikuma näiwad, ristjoon, siis saate taewawõlwi pöörlemistelje, nõndanimetud, maailma telje. Selle joone lõikepunktid taewawõlwiga on liikumatud. Neid kutsutakse poolusteks ehk nabadeks. Üks neist — põhjanaba — on meie waatepiirist kõrgemal, teine — lõunanaba — waatepiiri all, lõuna-poolkeral. Nabad ei ole millegagi märgitud. Nad on mõel-

dawad punktid. Aga meie põhjanaba lähidal on hele täht — alfa Wäikeses Wankris, sellepärast kutsutaksegi see täht Põhjanaelaks.

Olete selle tähe ülewalantud juhatuse abil leidnud, siis saategi otsekohe maailma telje ligikaudse sihi — see on siht teie silmast Põhjanaelale.



Joon. 12. Teine waatlemine: täht on torni wardast paremal pool.



Joon 11. Esimene waatlemine: täht on torni wardast pahemal pool.

Taewalaotuse täiel pööramisel ümber telje teeb Põhjanael wäikese ringi õige naba ümber. Täht, mis nabast kaugemal, teeb suurema ringi. Kui Põhjanaelale juhtida fotograafiline aparaat ja jätta teda paariks tunniks lahtisena ja liikumatuna seisma, siis saame fotograafilisel platel rea kaare, milledel on ühine keskkoht. Need on tähtede jäljed, mis nabast mitmesugustel kaugustel ja milledel mitmesugune heledus (joon. 13).

Meie ei saa Põhjanaela ja tema lähiduses olewate tähtede täit ringi järgida, sest päewal ei ole neid tähti näha, kuigi nad taewasse jääwad, kuid selles, et need tähed ringi kujutawad, ei ole kahtlust.

Täielise ringkäigu wältus on kõigil tähtedel üks ja seesama. See on ajamõõtmise loomulik üksus — **ööpäew.** Sellepärast nimetakse täherada taewawõlwil ööpäewaseks paralleeliks.



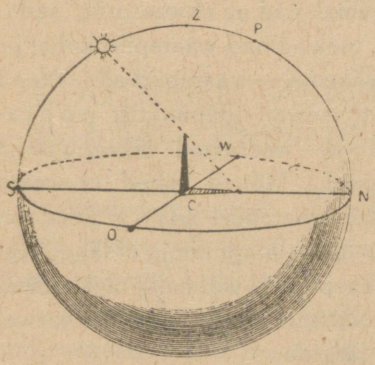
Joon. 13.

Tutwume mõnede oskussõnadega.

Punkt, mis on waatleja pea kohal, kutsutakse seniidiks — Z. Selle punkti, naba ja waatleja silmast läbitõmmatud tasapind kutsutakse **meridiaaniks**. See on wäga tähtis tasapind. Temast läbiminnes on täht oma ööpäewases liikumises waatepiirilt kõige kõrgemal ja kõige madalamal. Päikest näeme temas keskpäewal. Sellepärast kutsutak-

segi meridiaani ja waatepiiri lõikjoon *keskpäewajooneks*. Sellele joonele heidab wertikaalne kepp keskpäewal oma warju (joon. 14).

Gnoomon. Wertikaalne tulp, millest päike warju heidab, on kõige lihtsamaks ja wanemaks täheteaduslikuks riistaks; teda nim. *gnoomoniks* (joon. 15). Gnoomoni abil tehti juba wanas Egüptuses ja Hiinas wäga tähtsaid uurimisi.



Joon. 14.

Ülesanne 1. Näidata, kuidas meridiaani tasapind on waatlemiskohal asendud.

Ülesanne 2. Tõmmata keskpäewa joon ja tähele panna, missugused asjad on tema lähiduses.

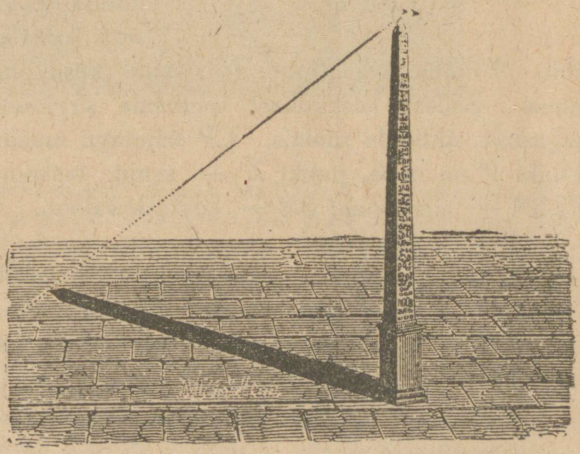
Keskpäewajoone lõikepunkti waatepiiri ringiga kutsutakse lõunapunktiks (S) põhjapunktiks (N).

Punkte, mis neist on 90° eemal, — idapunktiks (O) ja läänepunktiks (W).

Täies ringkäigus ümber maailma telje läheb taewakeha kaks korda meridiaani tasapinnast läbi: üks kord, kerkides kõige kõrgemale waatepiirilt, teine kord — wajudes kõige madalamale tema poole ehk isegi kadudes tema alla. Need mõlemad läbiminekud nimetakse **kulminatsioonideks**: esimene — ülemiseks kulminatsiooniks, teine alumiseks. Alumine kulminatsioon järgneb ülemisele 12 tunni pärast.

Ülesanne 3. Millal on päike alumisel kulminatsioonil?

Ülesanne 4. Kui Weega (σ Lüüras) kell 7,40 min. õhtul ülemisel kulminatsioonil wiibib, millal jõuab ta siis alumisse?



Joon. 16. Sambakujuline gnoomon.

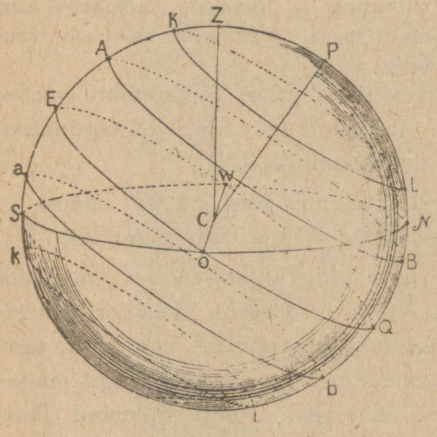
Maailma teljele perpendikulaarne suurring nimetakse **taewaekwaatoriks**. Tema jagab taewa kaheks: põhja- ja lõunapoolkeraks.

Taewaekwaator lõikab waatepiiri just ida- ja läänepunktis.

Tähed, mis ööpäewases liikumises ekwaatorit mööda käiwad, jääwad 12-ks tunniks waatepiiri kohale ja 12-ks tunniks waatepiiri alla.

Lõunapoolkera tähed teewad meie waatepiiri kohal wäiksema osa oma ööpäewasèst teest. Nad tõusewad ida- ja lõunapunkti w a h e l, weerewad sümmeetriliselt lõuna- ja läänepunkti wahel. Mõningaid tähti ei näe meie silmapilgukski horisondi kohale ilmuwat.

Põhjapoolkera tähed jääwad, wastuoksa, kauemaks kui 12-ks tunniks meie waatepiiri kohale, ja mida kaugemal nad on ekwaatorilt, seda suurema osa oma ööpäewasest paralleelist teewad nad waatepiiri kohal ja seda wähema — waatepiiri all. Need tähed tõusewad idapunktist p õ h j a p o o l ja weerewad läänepunktist põhjapool. Mõned tähed ei weere üleüldse waatepiiri alla — need on tähed, mis kunagi looja ei lähe. Kui tähti ka päewal wõimalik oleks näha, siis wõiksime nende liikumist terwel ringil järgida.



Joon. 16.

Taewasfäär. Taewawõlwi ööpäewasest liikumisest olenewaid nähtusi, samuti ka mitmesuguseid wahekordi taewakehade seisus wõime kujutada geomeetrilise konstruktsiooni, nõndanimetud t a e w a s f ä ä r i abil. Wõtame kera (joon. 16), mille keskkohas C mõtleme waatleja silma. Sellest keskkohast tõmbame sirgjooned, paralleelsed mitmesugustele sihtidele ruumis. CP kujutagu maailma telge, CZ — lootsilhti. Punkt P on naba, punkt Z — seniit, tasapind SWNO — waatepiir, PZSN — meridiaan, SN — keskpäewajoon.

EQ — ekwaator.

ab — lõunapoolse tähe ööpäewane paralleel.

AB — mõne põhjapoolse tähe ööpäewane paralleel.

KL — iialgi-weeruwa tähe ööpäewane paralleel } antud waate-

kl — iialgi-tõuswa tähe ööpäewane paralleel } piiri tarwis.

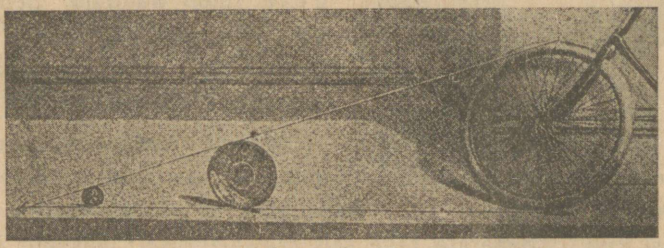
Ülesanne 5. Näidata, kuidas taewaekwaator meie waatepiiri suhtes on asendud.

III. peatükk.

MÕÕTMISED TAEWAWÕLWIL. TAEWA KOORDINAADID. UNIWERSAAL-RIIST. EKWATORIAAL.

Nurk-kaugused. Et wõimalik oleks kindlamaid järeldusi teha sellest, mis waatlemised annawad, ei lepita harilikult taewalaotuse palja silmitsemisega, waid püütakse mõõta.

Taewast ei saa muidugi mõõta ei arsinatega, ei meetritega ega mingisuguste teiste joonmõõtudega.



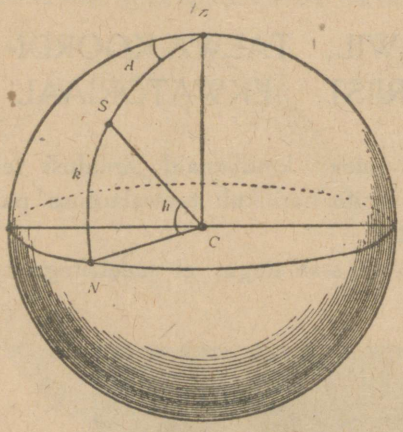
Joon. 17.

Taewakehad on meist mitmesugusil kaugusil, üks lähemal, teine kaugemal. Meie silm aga ei märka seda wahet ja kannab kõik taewakehad ühele sfäärile. Selle sfääri raadius on mitmesugusil waatlejail mitmesugune — mis oleneb silma iseäraldusist. Sellepärast on see, mis ühel sülla suurune näib, teisele mitte suurem arsinast. Seltskonnas on kerge selles suhtes terawaid lahkuminekuid konstateerida, näit. kuu waatlemisel. Üks wõrdleb teda suure supitaldrikuga, teine — wäikese desserttaldrikuga, kolmandale ei näi tema alustassist suurem olemagi. Ja igalühel neist waatlejaist on omamoodi õigus — ainult nende puht-subjektiiwsel hindamisel ei wõi mingisugust üldist tähendust olla. Teine asi on nurk, mille all meie kuu ketast näeme. See on kõigil ühesuurune. Pilt 17 kujutab näitlikult, et ühele ja samale nägemisnurgale wastawad mitmesugused joonsuurused olenedes kaugusist, milledel on waadeldawad asjad.

Missugused wead wõiwad tekkida kauguste ja taewakehade nähtawa suuruse hindamisel, saab meile iseäranis selgeks, kui tuletame meele, et päike ja kuu tõustes ja weerudes meile palju suurematena näiwad, kui juhtumistel, mil nad on kõrgel. Waatepiiri lähidal näiwad tähtkujudki suurematena. Lähemal waatlemisel märkame aga, et taewawõlw päris sfäärikujuline ei ole, waid on wähe lapik. Just nagu kannaksime meie waatepiiri lähiduses olewad taewakehad ja taewawõlwi osad oma ettekujutuses kaugemale, kui need, mis on meie pea kohal (joon. 6).

Sellepärast tarwitame meie kauguste mõõtmiseks taewasfääril, samuti ka taewakehade nähtawa suuruse mõõtmiseks ainult nurke. Näituseks on wahe Suure Wankri alfa ja beeta wahel $5^1/_2$ kraadi, kuu ketta läbimõõt — $^1/_2$ kraadi.

Aasimut, kõrgus, seniitkaugus. Wäga tähtis ülesanne on taewakeha koha määramine taewalaotusel. Selgub, et selleks on kahest nurgast küll. Tõmbame wertikaalse tasapinna läbi taewakeha ja märgime nurga, mille see meridiaani tasapinnaga sünnitab.

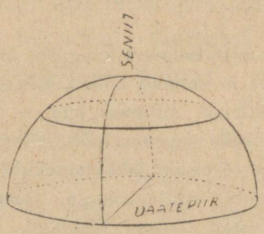


Joon. 18.

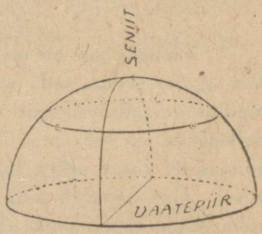
See kahetahune nurk A (joon. 18) kutsutakse taewakeha **aasimudiks**. Teda mõõdetakse waatepiiri ringjoone kaarega MN.

Kui aasimut on antud, siis teame missuguses tasapinnas tähte otsida. Tarwis ainult weel teada, kui kõrgele tuleb waadata. Selle määrab kaar NS, ehk nägemissihi CS nurk waatepiiriga, — see nurk kutsutakse taewakeha **kõrguseks** (h).

Mitmel tähel wõib korraga üks ja sama aasimut olla (joon. 19), samuti wõiwad mitu tähte korraga ühekõrgusel wiibida (joon. 20). Sellepärast ei ole aasimudist ehk kõrgusest üksi küll, et määrata tähe seis taewalaotusel; aasimut ja kõrgus üheskoos aga otsustawad küsimuse täielikult. Suurusi, mis ära määrawad punkti seisu, nimetakse matemaatikas koordinaatideks. Tähendab, aasimut ja kõrgus on taewakeha horisontaalsed ehk waatepiirilised **koordinaadid**, waatepiirilised sellepärast, et käesolewal juhusel waatepiiri tasapind põhitasapinnaks loetakse. Aasimute loetakse lõunapunktist ida poole ja lääne poole 0° kuni 180°.



Joon. 19.



Joon. 20.

Kõrgusi loetakse waatepiirist seniidini, 0° kuni 90°.

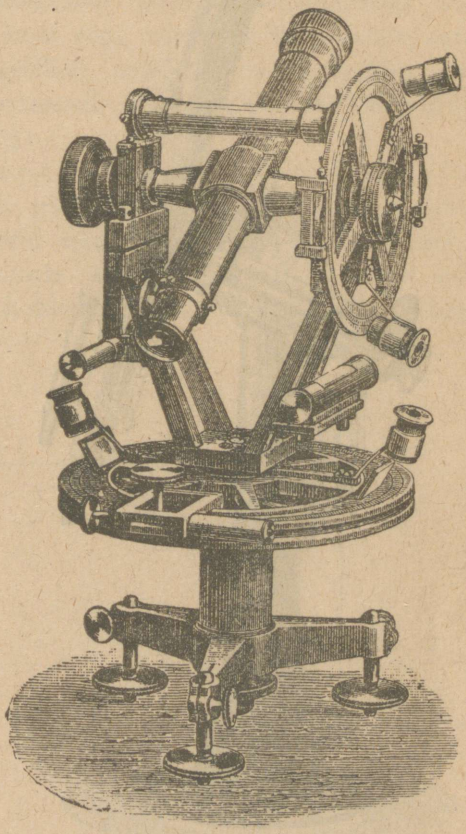
Kõrguse asemel wõib tarwitada nõndanimetud seniitkaugust, s. t. kaart ZS, mis kaart NS kuni 90° täiendab (joon. 26). Märkides

nõnda taewakeha seniitkauguse tähega z, kõrguse tähega h, saame wahekorra

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

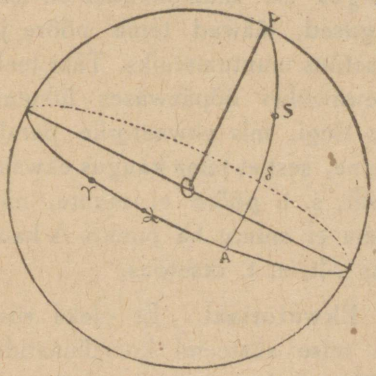
Taewawõlwi ööpäewase liikumise tagajärjel muutub tähe aasimut ja kõrgus alatasa. Nüüdsel silmapilgul on tähel teatud aasimut ja teatud kõrgus, järgmisel silmapilgul on tema koordinaadid juba teised.

Uniwersaal-riist. Horisontaaliste koordinaatide mõõtmiseks tarwitakse riista, mis kutsutakse uniwersaal-riistaks (joon. 21). Selle riista peaosadeks on pikksilm ja kaks lahusolewat wastastikku perpendikulaarist sööri. Horisontaalsel sööril loetakse aasimudid, wertikaalsel — kõrgused (w. lisa).



Joon. 21.

Pööre, otsetõus. Tähe seisu taewas wõime ka teiste koordinaatide abil määrata,



Joon. 22.

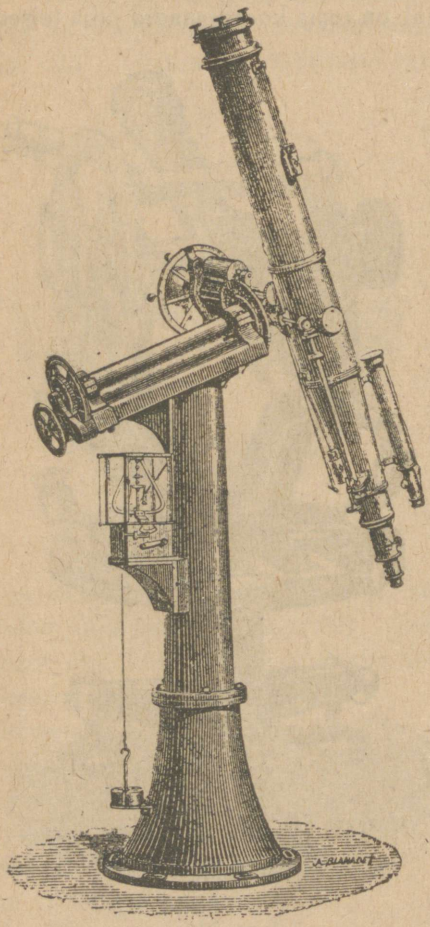
näit. ekwatoriaaliste koordinaatide abil, kui põhitasapinnaks on wõetud taewaekwaatori tasapind.

Ühte selle süsteemi koordinaati nimetakse deklinatsiooniks ehk pööreks, teist — otsetõusuks.

Pööre on taewakeha kaugus ekwaatorilt; see kaugus loetakse mööda suurringi, mis läheb läbi taewakeha ja on perpendikulaarne ekwaatorile; joonistusel 22 kujutab teda kaar AS.

Ringi PSA ennast nim. pöörringiks.

Otsetõus on ekwaatori kaar ühelt kindlaks määratud punktilt γ, nõndanimetud kewadpunktilt, kus päike on 21 märtsil (w. V peatükk) kuni pöörringi AS aluseni.



Joon. 23.

Taewakeha võib ekwaatorilt kas põhja ehk lõuna pool olla. Esimesel juhtumisel loetakse tema pööre positiiwseks 0^0-st kuni 90^0-ni, teisel juhtumisel negatiiwseks 0^0-st kuni — 90^0-ni.

Pööre märgitakse tähega δ.

Otsetõus loetakse wastupäewa 0^0-st kuni 360^0-ni ja märgitakse tähega α.

Teist koordinaatide süsteemi esimesega wõrreldes saab selgeks, et otsetõus wastab aasimudile, pööre aga — kõrgusele.

Kuna taewakeha aasimut ja kõrgus ise silmapilkudel on isesugused, jääwad tema pööre ja otsetõus muutumatuiks. Täht teeb taewawõlwi ööpäewases liikumises ringi, mis ekwaatorile paralleelne, sest et tema kaugus ekwaatorilt, s. t. pööre ei muutu, niisama ei muutu ka punkti A kaugus γ-lt, s. t. otsetõus.

Ekwatoriaal. Et oleks riist ka teise süsteemi koordinaatide määramiseks, seame uniwersaalriista niiwiisi üles, et tema wertikaalne telg püsiks maailma teljele paralleelsena. Siis on horisontaalne sõõr ekwaatori tasapinnale paralleelne. Temal loeme otsetõusud, perpendikulaarsel sõõril aga — pööred.

Seda laadi riist kutsutakse ekwatoriaaliks.

Taewawõlwi ööpäewase liikumise tagajärjel muudab täht alatasa oma seisu. Et teda pikksilma abil järgida, mis nagu uniwersaal-riistki horisontaalse ja wertikaalse telgede ümber pöörduda wõib, tuleb pikksilma paremale poole pöörata ja tema kallet muuta: üles tõustes,

kui täht on taewawõlwi idapoolses osas ja alla lastes, kui täht meridiaanist juba läbi on läinud.

Ekwatoriaaliga waatlemisel on aga ühest maailma telje ümber paremale poole pööramisest selleks küll, et täht kõik aeg jääks pikksilma waatewäljale. Pikksilm läheb ekwaatorile paralleelset ringi mööda ja teeb sedasama paralleeli, mis tähtki. Sellepärast on pikksilma ekwatoriaalne ehk nõndanimetud parallaktiline ülesseade waatlemiseks wäga hõlbus, iseäranis siis, kui tähte kaua aega tuleb järgida. Suurtel astronoomilistel pikksilmadel on harilikult parallaktiline ülesseade; kella mehanism paneb pikksilma ühetasaselt liikuma, täielises kokkukõlas taewawõlwi ööpäewase liikumisega.

Pildil 23 on näitus niisugusest ülesseadest. Ekwatoriaalil on kaks telge: üks kallak, maailma teljele paralleelne, teine temale perpendikulaarne. Telgede otsades on sõõrid mõõtkriipsudega. Samba küljel on kella mehanism, mis hammasrataste abil liikumise pikksilmale edasi annab, nii et see, teatud pööre kohaselt asendatud, maailma telje ümber wõib pöörduda.

IV. peatükk.

TÄHEAEG. TAEWAKEHADE KULMINATSIOONI AEG. KELLA ÕIENDUS. PASSAAZ-RIIST. MERIDIAAN-SÕÕR.

Täheaeg. — Kordame seda waatlemist, millest eelpool rääkisime. Järgime mõne tähe liikumist mingisusest kindlast kohast, kas wõi meie toa aknast. Paneme tähele, millal täht kauge kirikutorni wõi mõne puu kuiwa oksa taha kaob (joon. 24). Tabame selle silmapilgu s a m a s t waatlemiskohast järgmisel päewal. Siis näeme, et meie kell 4 minutit wähem näitab, kui eelmisel päewal. Järgmisel päewal kaob täht weel 4 min. warem jne.



Joon. 24.

Kust see wõib tulla?

Kõigi tähtede ringkäigu aeg taewawõlwi liikumises on ühesugune. Taewawõlw pöörleb terwena ja selle juures ühetasaselt. Tema täieline ring annab aja mõõtmiseks päris kindla üksuse, mis kutsutakse **tähe-ööpäewaks.** P ä i k e aga ei seisa tähtede keskel paigal, sellepärast ei ole ka aeg päikese järjestikkude meridiaanist läbiminekute wahel sama pikk, kui wältus mõne tähe kahe ühenimelise kulminatsiooni wahel. Wältused kahe k e s k p ä e w a wahel, nõndanimetud **päikse-ööpäewad,** lähewad tähe-ööpäewast wähe lahku. Wahe on ligikaudselt 4 m i n u t i t, kus tähe-ööpäew on päikse-ööpäewast, mille järele meie elame, niiwõrd lühem. Just seda meie waatlemine näitabki.

Nõnda tehakse wahet päikseaja ja täheaja wahel

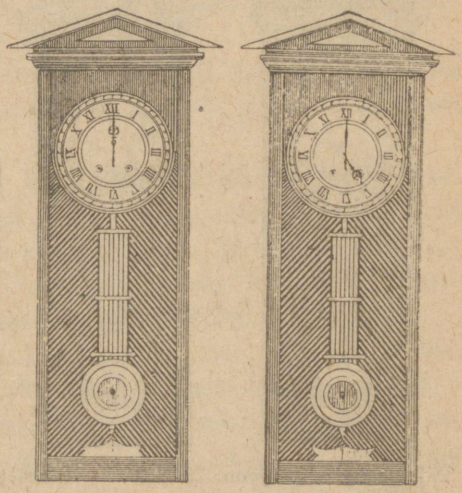
Tähe-ööpäew jaguneb, nagu päiksegi oma, 24 tunniks, tund jaguneb 60 minutiks, minut 60 sekundiks.

Tähe-ööpäewa **alguseks** loetakse kewadpunkti ♈ ülemise kulminatsiooni silmapilk.

21-sel märtsil on päike just kewadpunktis. Järjelikult on siis ♈ keskpäewal ülemises kulminatsioonis.

Igapäewases elus loetakse ööpäewa, nõndanimetud kodanlise ööpäewa alguseks kesköö. Täheteadlasele aga on waatlemisöö kaheks kuupäewaks lahutamine tülikas. Astronoomilises ajaarwamises loetakse ööpäewa alguseks keskpäew.

Niisuguse ajaarwamise juures on, järjelikult, keskpäewal 21-sel märtsil nii päikse- kui tähe-ööpäewa algus. Järgmisel päewal on aga päike ♈-st juba wähe pahemalpool; taewalaotuse ööpäewases liikumises jääb ta kewadpunktiga wõrreldes 4 minutit hiljemaks. Kui päike meridiaani tuleb, s. t. kui meile keskpäew — uue ööpäewa algus — kätte jõuab, siis näitab tähekell juba 4 minutit uut tähe-ööpäewa.



Päikese aeg Joon. 25. Tähe aeg keskpäewal 5. juunil.

Keskpäewal 23. märtsil näitab tähekell 8 minutit, 24 märtsil — 12 minutit jne. Tähekell läheb iga päew 4 minutit ette sellest kellast, mille järele meie elame. Kuu jooksul läheb ta umbes 2 tundi ette, kahe kuu jooksul — 4 tundi, 8 kuu jooksul — 16 tundi jne.

Aasta jooksul läheb tähekell 24 tundi ette ja näitab keskpäewal 21-sel märtsil jälle niisama palju, kui meie harilik kellgi.

Meie wõime alati iga keskpäewa tarwis täheaja kergesti wälja arwata.

Näituseks, küsitakse, missugune on täheaeg keskpäewal 28. mail

Ligikaudselt wõime meie 21-se mai keskpäewal lugeda täheaega 4 tunni suuruseks. 21-sest maist kuni 28-ni on 7 päewa. Selle aja jooksul läks tähekell weel $4 \times 7 = 28$ minutit ette. Järjelikult on täheaeg keskpäewal 28-mal mail ligikaudselt 4 tundi 28 minutit.

Samal päewal kell 9 õhtul on täheaeg 13 tundi 28 min. (joon. 26).

Ülesanne 1. Missugune on täheaeg keskpäewal 15. weebruaril ja 3. detsembril?

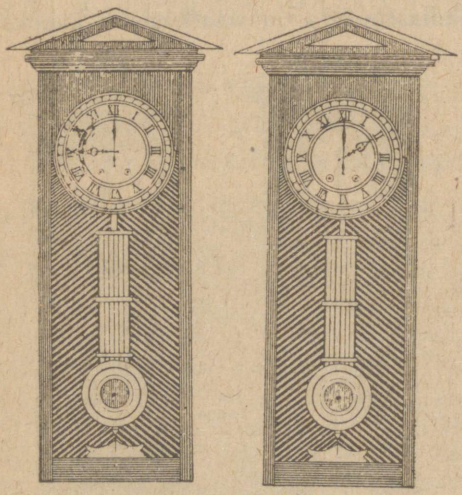
Wastus. Umbes 21 tundi 40 min. ja 16 tundi 50 min.

Ülesanne 2. Millal on kodanlise aja järele tähe-ööpäewa algus 1. juulil.

Wastus. Kell 5,16 min hom.

Täpimalt antakse täheaeg keskpäewal sellekohastes astronoomilistes kalendrites.

Tähe kulminatsiooni aeg. Waatame nüüd, missuguses wahekorras on tähe kulminatsiooni aeg tema otsetõusuga.



Päikeseaeg Joon. 26. Täheaeg
kell 9 õhtul 5. juunil.

Tähe-ööpäewa kestes, s. t. 24 tähetunniga teeb taewawõlw täie pöörangu, 1 tunnis pöördub ta 15^0.

Järjelikult läheb täht, mille otsetõus 15^0, meridiaanist 1 tund hiljem läbi kui kewadpunkt. Täht, mille otsetõus on 30^0, jääb 2 tundi hiljemaks; on otsetõus 45^0 — 3 tundi jne.

Sellepärast wõib otsetõusu mõõtmiseks nurga asemel aega tarwitada, lugedes iga 15^0 üheks tunniks, iga 15 kaareminutit üheks ajaminutiks (15′ wastab 1 min.), iga 15 kaaresekundit üheks ajasekundiks (15″ — 1 sek.)

Nõnda wõime ütelda, et tähe otsetõus on

2 tundi, kui ta on . . 30^0
3 tundi, „ „ „ . . 45^0
4 tundi 2 m., kui ta on $60^0 30'$
7 tundi 12 m., „ „ „ $108^0\ 0'$ jne.

Et tähe-ööpäewa alguseks loetakse kewadpunkti ülemise kulminatsiooni moment, siis on täheaeg igal antud momendil nende tähtede otsetõusu wõrdne, mis just on ülemisel kulminatsioonil.

Ümberpöördult: täht tuleb ülemisse kulminatsiooni sel momendil, mil täheaeg saab tema otsetõusu wõrdseks.

Otsustame ülesande: Missugused tähed on ülemisel kulminatsioonil 28 juulil kell 10 õhtul?

Selleks arwame esite, missugune on täheaeg 28. juulil kell 10 õht.

21. juuli keskpäewal on täheaeg umbes 8 tundi
28. „ . . . . . 8 „ 28 m.
28. „ kell 10 õhtul . . . . . 18 „ 28 m.

Tähendab, 28. juulil kell 10 õhtul on meridiaani lähidal ülemisel kulminatsioonil need tähed, millede otsetõus on umbes $18^1/_2$ tundi. Raamatu lõpus juurelisatud tähtede nimekirjast leiame:

γ Draakonis otsetõus 17 tundi 55 min.
α Lüüras „ 18 „ 34 „
ε Lüüras „ 18 „ 41 „

Esimene neist kolmest tähest on juba meridiaanist läbi läinud, teine ja kolmas on temast weel ida pool.

Ümberpöördud ülesanne. Arwata, mil ajal meie hariliku kella järele läheb alfa Luiges 1-sel oktoobril meridiaanist ülemisel kulminatsioonil läbi.

Otsustamine. Tähe ülemise kulminatsiooni silmapilgul on täheaeg tema otsetõusu wõrdne. Raamatu lõpul olewast tähtede nimekirjast näeme, et α Luiges otsetõus on 20 tundi 38 min. Järjelikult on α Luiges meridiaanis sel silmapilgul, kui tähekell näitab 20 tundi 38 min.

Keskpäewal 1. oktoobril on täheaeg 12 tundi 40 min.

Tähendab, α Luiges ülemine kulminatsioon on 7 tundi 58 min. (20 tundi 38 min. — 12 tundi 40 min.) pärast keskpäewa, s. t. 1. oktoobril on α Luiges kella 8 paiku õhtul ülemisel kulminatsioonil.

Wõtame weel ülesande: Millal kulmib Arktur (α Bootis) 10. weebruaril?

Otsustamine:

Täheaeg keskpäewal 10 weebruaril umbes 21 tundi 20 min.
Arkturi otsetõus . . . . . 14 „ 12 „

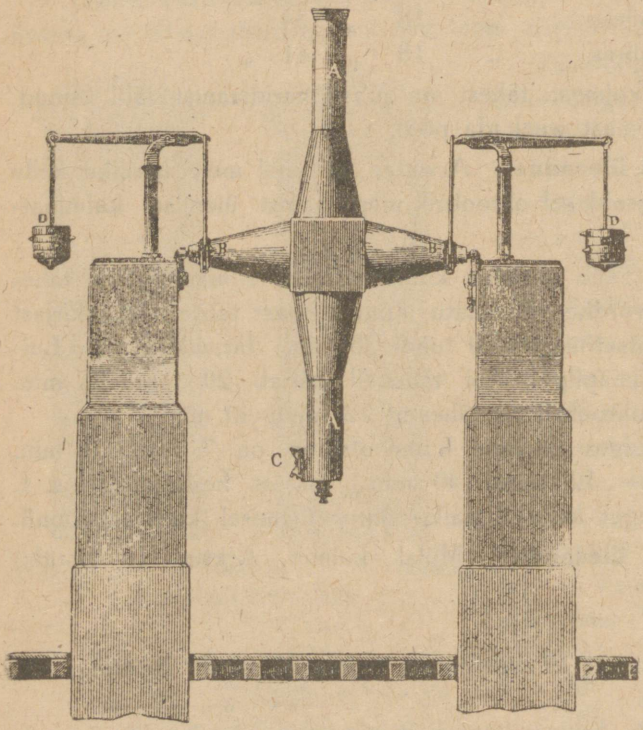
Järjelikult kulmib Arktur 7 tundi 8 minutit enne keskpäewa, s. t. kell 4,52 min. hommikul.

Wõib ka teisiti teha: arwame, kuipalju aega läheb keskpäewast kuni Arkturi kulminatsioonini. Keskpäewal on täheaeg 21 tundi 20 m. tähe-ööpäewa lõpuni on weel 2 tundi 40 min. järele jäänud. Arktur aga läheb meridiaanist läbi 14 tundi 12 min. pärast tähe-ööpäewa algust. Järjelikult, see täht kulmib 2 tundi 40 min. + 14 tundi 12 min. = 16 tundi 52 min. pärast keskpäewa, see ongi kell 4,52 min. hommikul.

Arwata wõib järgmiselt:

14 tundi	12 min.	+ 24 tundi	= 38 tundi	12 min.	
— 21 „	20 „		— 21 „	20 „	
		pärast keskpäewa	16 „	52 „	

Nõnda wõime meie alati kergesti wälja arwata, millal wõib oodata mingisuguse tähe ülemist kulmimist, kui meie tähe koordinaate teame. Wõime ka ümberpöördult ette arwata, missugused tähed mõnel antud silmapilgul kulmima tulewad. Lööme kaardi lahti, otsime üles tähtkujud, mis meie wäljaarwamiste järele waatlemisajal meridiaanil peawad olema, waatame taewasse ja meie tunneme need tähtkujud ilma suurema waewata ära.



Joon. 27.

Neist tähtkujudest läheme naabruses olewaisse: lääne pool on need, millede otsetõus wähem — nemad kulmisid warem, ida pool need, millede otsetõus suurem — nemad ei ole weel meridiaanini jõudnud.

Kella õiendus. Ükski kella mehanism, mida inimese käsi walmistanud, ei wõi päris täpipealt käia. Taewakehade liikumist waadeldes wõime meie aga oma kella õiendada. Ütleme, meie nägime Weega (*a* Lüüras) läbiminekut meridiaanist kell 18,20 min. Weega otsetõus on aga 18 tundi 34 m. (w. tähtede nimekiri raamatu lõpus), tähendab, meie kell on 14 minutit maha jäänud.

Täheajalt wõime üle minna päikseajale ja nõnda saame nende kellade õienduse, millede järele meie elame.

Passaaz-riist. Riist, mille abil tähtede läbiminekut meridiaanist waadeldakse, kutsutakse passaaz-riistaks, s. t. läbiminekute riistaks. See on pikksilm, mis meridiaani tasapinnale perpendikulaarse horisontaal-telje ümber pöördub (joon. 27). Selle riista juures peab tingimata kell olema. Tähtede järele, millede otsetõus teada, õiendakse kellasid.

Kui aga õige kellaga tundmatu taewakeha meridiaanist läbiminekut waadata, saame selle otsetõusu teada.

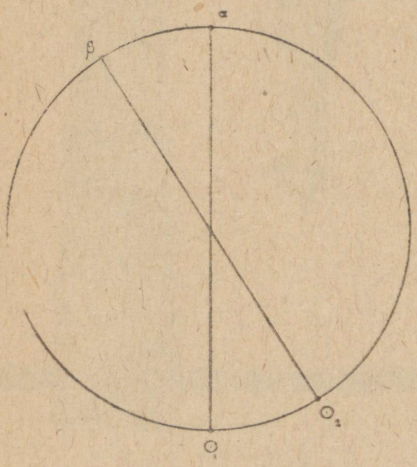
Meridiaan-sõõr. Kinnitades weel passaaz-pikksilma külge môôtkriipsudega sõôri, saame n. n. meridiaan-sôôri. Tema abil määratakse mõlemad ekwatoriaalsed koordinaadid. Sätime pikksilma ekwaatoriga paralleelseks ja kirjutame üles sõôrri loe (lugi, loe — отсчетъ). Siis sihime pikksilma meid huwitawale taewakehale, märgime kella järele pikksilma waatewälja keskkohast tema läbimineku silmapilgu ja loeme sôôril pikksilma uue seisu.

Nõnda on kokku seatud suured katalogid, milledes antakse koordinaadid α ja σ, mis määrawad tähtede seisu taewawôlwil.

V peatükk.

PÄIKESE NÄHTAW LIIKUMINE.

Päikese liikumist tähtede keskel ei saa meie otsekoheselt näha, sest walgustud õhkkonna mõjul ei näe meie päikese ümber tähti. Sellegipärast on kerge otsusele tulla, et päike paigal ei püsi, waid alatasa paremalt poolt pahemale poole liikudes aasta jooksul taewas täie ringi teeb. Selleks on tarwis ainult üles märkida, missugused tähed igal kesköö̆l ülemisest kulminatsioonist läbi lähewad. Arusaadaw, et need tähed on päikesele wastuseiswad.



Joon. 28.

Mingu täna kesköö̆l täht α ülemisest kulminatsioonist läbi (joon. 28). Kuu aja pärast ei kulmi kesköö̆l enam täht α, waid β, mille otsetõus on 30^0 suurem, kui tähel σ.

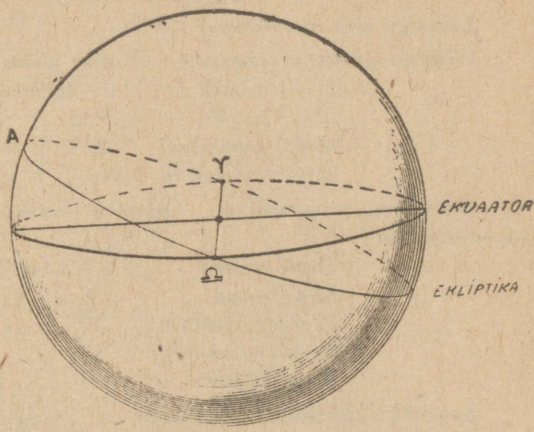
Järjelikult on päike kuu jooksul 1-sest seisust 2-se seisu nihkunud. Aasta jooksul teeb ta täie sõõrjoone taewawõlwil.

Waadeldes päikese kõrgust keskpäewal, saame kindlaks teha ka tema pööre muutumise — kõik teawad, et päike käib suwel palju kõrgemalt kui talwel.

Ekliptika. Selgub, et päike tähtede keskel nõnda liigub, et ta aasta jooksul teeb suurringi; see ring nimetakse ekliptikaks. Ekliptika lõikab ekwaatorit kahes punktis ♈ ja ♎, nõndanimetud öö ja päewa ühepikkususe punktides (joon. 29). Need nimetused tulid sellest, et neil päiwil, mil päike on ekwaatoril, tema taewawõlwi ööpäewases liikumises niisama kaua waatepiiri all kui selle kohal wiibib, s. t. 12 tundi. Öö ja päew on ühepikkused. Mis puutub märkidesse, siis tuletawad need meele tähtkujude nimesid, milledes olid need punktid

wanal ajal. Jäära tähtkuju (♈ — just kui oina sarwed) ja Kaalude tähtkuju.

Punktis ♈ on päike 21. märtsil uue kal. j. See on kewadine öö ja päewa ühepikkususe punkt ehk lühemalt — kewadpunkt. Punktis ♎ läheb päike põhja poolkerast 24. sept. lõunasse. See on sügisene öö ja päewa ühepikkususe punkt — sügispunkt.

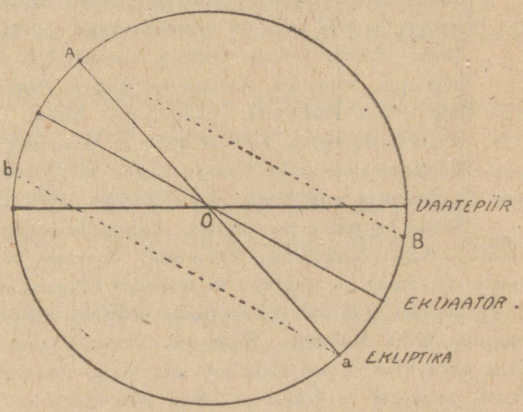


Joon. 29.

22. juunil on päike ekwaatorilt kõige kaugemas ekliptika punktis A ja tõuseb põhja poolkeras olewale waatlejale kõige kõrgemale horisondilt (joon. 30).

Tema teeb päewa jooksul paralleeli AB, tõuseb kirdest, weereb loodesse: nüüd on kõige pikem päew, kõige lühem öö.

23. detsembril, wastuoksa, on päike lõuna poolkeral ekwaatorilt kõige kaugemas ekliptika punktis. Päewa jooksul teeb ta paralleeli ab, tõuseb lühikeseks ajaks meie waatepiirilt kõrgemale, suurema osa oma ööpäewasest teest käib ta waatepiiri all: nüüd on kõige pikem öö, kõige lühem päew.



Joon. 30.

22. juuni ja 23. detsembri paiku, kui päike ekwaatorilt kõige kaugemais ekliptika osades liigub, muutub tema kõrgus wähe. Sellepärast nimetakse punkte A ja a suwiseks ja talwiseks seisakpunktideks.

Katsume mõõta päikese kõrgust keskpäewadel 22-sel ja 23-dal detsembril. Wahe kaar bA suurune, on nähtawasti kahekordne ekwaatori ja ekliptika wahel olew nurk.

Hiinlased tegid niisuguseid mõõtmisi gnoomoni abil juba 3000 aastat tagasi.

Päikese kõrgus keskpäewal:

	Peetrilinnas.	Moskwas.
22. juunil	53°41′	57°42′
23. detsembril	6°47′	10°48′
wahe	46°54′	46°54′

Ekliptika nurk ekwaatoriga 23°27′.

Päikese pööre muutumine. Päikese pööre on:

21-sel märtsil	0° (päike on ekwaatoril)
22-sel juunil	$23^1/_2{}^0$
24-dal septembril	0°
23-dal detsembril	$-23^1/_2{}^0$

Otsetõusu muutumine. Otsetõus loetakse kewadpunktilt. Järjelikult on päikese otsetõus

21-sel märtsil	0 tundi (umbes)
22-sel juunil	6 „
24-dal septembril	12 „
23-dal detsembril	18 „
21-sel märtsil	24 „ ehk jällegi 0.

Soodiagu tähtkujud. Huwitaw on järgida ekliptika seisu taewas. Ta läheb 12-st tähtkujust läbi. Päike, tehes aasta jooksul ekliptikat mööda täie ringi, jääb igaühte nendest umbes üheks kuuks. Kõik ekliptilised tähtkujud kokku moodustawad nõndanimetud soodiagu wöö, mida 12-ks ühesuuruseks tähiseks jagatakse, milledel on samad nimed kui tähtkujudel, olgugi et nende tähiste piirid alati ühenimeliste tähtkujude piiridega ei ühine.

Luuletaja Ausonius muutis riimi nõuete kohaselt mõned tähtkujude ladinakeelistest nimedest ja tegi kergesti meelespeetawa salmi:

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

s. t. Jäär, Sõnn, Kaksikud, Wähk. Lõwi, Neitsi,
Kaalud, Skorpion, Kütt, Kaljukits, Weemees, Kalad. (W. kaart).

Kewadel käib päike Kalade, Jäära ja Sõnni tähtkonnad läbi; kesköö[1] näeme meie lõunataewas wastuseiswaid tähtkonde: Neitsit, Kaalusid, Scorpioni.

Suwel on päike Kaksikutes, Wähjas ja Lõwis, lõunataewas näeme kesköö järgimööda: Kütti, Kaljukitse, Weemeest. See on ekliptika alumine osa. Meie põhjalaiuste all tõuseb ta waatepiirilt waewalt kõrgemale.

Sügisel ja talwel wiibib päike ekliptika alumise osa tähtkujudes: Neitsi, Kaalud, Scorpion, Kütt, Kaljukits, Weemees. Kesköö[1] näeme meie järgimööda: septembris — Kala, oktoobris — osa Kaladest, siis Jäära, nowembris — Sõnni, detsembris — Kaksikuid, jaanuaris — Wähki ja Lõwi, weebruaris — Lõwi.

Nõnda näeme talwel seda ekliptika osa, mis waatepiirilt kõrgele üles kerkib.

Ekliptilised koordinaadid. Ülewalpool õppisime tundma kahte koordinaatide süsteemi, mis tähe seisu taewas ära määrawad:

I. süsteem — koordinaadid: aasimut ja kõrgus, põhitasapind — waatepiiri pind.

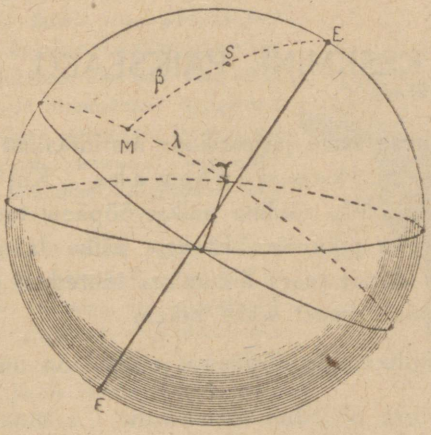
II. süsteem — koordinaadid: otsetõus ja pööre, põhitasapind — ekwaatori pind.

On weel III. süsteem — koordinaadid: astronoomiline pikkus ja astronoomiline laius, põhitasapind — ekliptika tasapind.

Ekliptika tasapinnale perpendikulaarne joon lõikab taewasfääri kahes puktis, mi nimetakse ekliptika poolusteks ehk nabadeks. Neist nabadest läbi-

minewad suurringid kutsutakse laiusringideks. Wôtame antud tähest läbiminewa laiusringi. Seda ringi mööda loetud tähe kaugus ekliptikalt, s. t. kaar MS = β (joon. 31) kutsutakse astronoomiliseks laiuseks. Ekliptikast pôhjapoole loetakse laius positiiwseks, lõunapoole — negatiiwseks.

Kaugus ekliptikat mööda kewadpunktist kuni laiuseringi aluseni, s. t. kaart $M\gamma = \lambda$, nimetakse pikkuseks.



Joon. 31.

Pikkust loetakse nagu otsetôusugi kewadpunktilt wastupäewa 0°-st kuni 360°-ni. Taewakeha astronoomilist laiust ja pikkust ei tule ära segada maapinnal wôetud koha geograafiliste laiuse ja pikkusega.

Pöörijooned. Seisaku päiwil teeb päike ööpäewases liikumises ekwaatorile paralleelseid ringe, need nimetakse troopikuteks ehk pöörijoonteks: 22. juunil — Wähja pöörijoon (sest warem oli suwine päikese seisak Wähja tähtkujus) ja 23. detsembril — Kaljukitse pöörijoon (sest warem oli talwine päikese seisak Kaljukitse tähtkujus).

Ülesanne. Missuguse kaare wõrra nihkub päike tähtede keskel ööpäewa jooksul?

VI. peatükk.

TÕELINE JA KESKMINE PÄIKSEAEG. PÄIKSEKELL.

Waheaeg päikese kahe järjestikuse meridiaanist läbimineku wahel kutsutakse tõeliseks päikse-ööpäewaks. Kui päike püsiks tähtede seas paigal, siis oleks tõeline päikse-ööpäew taewawõlwi ringkäigu aja, s. t. tähe-ööpäewa pikkune. Et aga päike läänest idasse nihkub, jääb ta taewawõlwi ööpäewases liikumises tähtedest maha ja sellepärast on päikse-ööpäew tähe omast wähe pikem.

Päikese edasinihkumine ööpäewa jooksul on umbes 1^0 $\left(=\frac{360^0}{365}\right)$ Niisuguse nurga wõrra pööridub taewawõlw $^1/_{15}$ tunniga, s. t. 4 minutiga. Nõnda on wahe tähe- ja päikse-ööpäewade wahel umbes 4 minutit, ta on aga muutlik: päike jääb kord enam, kord wähem hiljaks. Tõelised päikse-ööpäewad ei ole ühepikkused ja ei wõi sellepärast ajamõõtmise üksuseks olla. Ometi on meie elamine päikese, kuid mitte tähtede järele seatud. Sellepärast wõeti tarwitusele nõndanimetud keskmine päikseaeg.

Kujutame ette päikese, mis ekwaatorit mööda wõrdmõõtselt liiguks. Selle ettekujutud päikese meridiaanist läbimineku ,silmapilgu nimetame keskmiseks keskpäewaks. Tõeline päike liigub ekliptikat, mitte ekwaatorit mööda ja ei liigu selle juures wõrdmõõtselt, sellepärast läheb tema otsetõus ettekujutud päikese otsetõusust üldiselt lahku. Tõeline päike läheb sellepärast meridiaanist läbi kas warem ehk hiljem kui keskmine. Nõnda läheb tõeline päikseaeg lahku keskmisest ajast, mille järele meie elame. Wahe nimetakse aja ekwatsiooniks. See wahe on 4 kord aastas null: 14. aprilli, 14. juuni, 31. augusti ja 23. detsembri paiku.

23. dets. ja 14. aprilli wahel jääb tõeline päike keskmisest maha, nii et siis, kui meie kell keskpäewa näitab (kell 12), päike tõepoolest weel meridiaanini jõudnud ei ole; kõige suurem wahe $14^1/_2$ min. on 14. weebruaril.

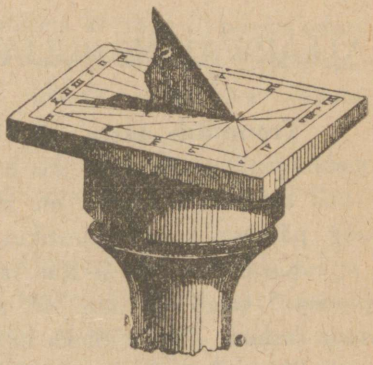
14. aprilli ja 14. juuni wahel jääb keskmine päike tõelisest maha, nii et siis, kui päike tõepoolest juba meridiaanis on, meie kell weel 12 ei ole.

14. juuni ja 31. augusti wahel jääb uuesti tõeline päike maha.

31. augusti ja 23. dets. wahel jääb keskmine päike maha. Kõige rohkem jääb ta maha 2. nowembri paiku ($16^1/_3$ min.).

Kalendrites antakse iga päewa kohta aja ekwatsioon wastawa märgiga. Neid tabelid on tarwis, kui kella päikese järele õiendada tahetakse.

Joonistusel 32 on nõndanimetud päikesekell. Horisontaalsele lauale on wertikaalselt täisnurkse kolmnurga kujuline lauakene pandud, nii et hüpotenuus on juhitud maailma telje sihis. Horisontaalsele lauakesele tõmmatakse sirgjooned, selle järele kuidas lauakese warju äär langeb, kui päike teda mitmesugusel päewaajal walgustab, hakates kella neljast hommikul, lõpetades kella kaheksaga õhtul.



Joon. 32.

Ootame kuni warju äär mõne jooneni jõuab ja waatame, kui palju on meie kell. Kui kell on õige, peab ta tunniarwu näitama, mis wastab joonele, kuhu warju äär on langenud + aja ekwatsioon.

Ütleme, näituseks, et 14. oktoobril pärast keskpäewa, meie kella järele kell 2,49 min. warju äär joonega III kokku puutus.

14. oktoobril jääb keskmine päike tõelisest päikesest 14 minutit maha, nagu aja ekwatsiooni tabel näitab, järjelikult, peaks meie kell näitama 3 tundi — 14 min. = 2 tundi 46 min.

Ta näitab aga 2 tundi 49 min. Tähendab, kell käib 3 minutit ette.

Ülesanne. 6-da juuli hommikul, meie kella järele kell 10,2 min. nähti warju ääre kokkupuutumist joonega X. Üles leida kella õiendus, kui teada on, et sellel päewal on keskmine päike tõelisest päikesest 6 minutit ees.

Arwamine.

Tõeline aeg =	10 tundi
Aja ekwatsioon =	+ 6 min.
Keskmine aeg =	10 tundi 6 min.
Kell näitab	10 tundi 2 min.

Järjelikult, kell käib järele 4 minutit.

Kui gnoomoniga waadelda, siis on parem tabada silmapilk, mil wari on kõige lühem. See on päikese meridiaanist läbiminekul, tähendab, tõelisel keskpäewal.

VII. peatükk.

AJAARWAMINE. JULIANI JA GREGORIANI KALENDRID.

Troopiline aasta. Keskmine päikse-ööpäew annab ajamõõtmiseks meie igapäewases elus ühe põhiüksuse.

Teiseks üksuseks on nõndanimetud troopiline aasta, s. t. aeg päikese kahe järjestikuse kewadpunktist läbimineku wahel.

Kahjuks ei ole aastas terwe arw päiwi. Aasta pikkus on 365 päewa 5 tundi 48 min. 46 sek. Selle tagajärjel tekib ajaarwamises suur raskus. Imelik oleks uut aastat peale hakata mitmesugusel päewa-ajal: üht aastat, ütleme, kell 12 öösel, järgmist kell 5,48 min. 46 sek. hommikul, kolmandat kell 11,37 min. 32 sek. hommikul, neljandat kell 5,26 min. 18 sek. pärast lõunat jne. Sellepärast on kalendrid tingimisi kokku seatud. Wanal ajal tõi püüd kuu liikumist päikese liikumisega ühendada ajaarwamisse suure segaduse. Roomas oli nähtawasti kord 304 wõi 354-päewane aasta.

Juliani kalender. Keiser Julius Caesari suureks teeneks oli kalendri reform, mille ta Aleksandria täheteadlase Sosigeeni abil läbi wiis. Et selleks ajaks kokku kuhjund kalendri wigu parandada, tuli Sosigeenil 46-le aastale (enne Kr. s.) kolm lisa kuud juure panna, nii et see aasta 445 päewa pikaks sai. Edaspidiseks seab Sosigeen ajaarwamise ainult päikese järele, kuu liikumist hoopis arwesse wõtmata; aasta pikkuseks wõtab ta $365^1/_4$ päewa, s. t. 11 min. 14 sek. pikema kui aasta tõepoolest on; selle juures paneb ta ette kolm aastat järgimööda lugeda 365 päewa, iga neljas aga 366 päewa pikaks.

Nikea kirikukogu (325. a.) wõttis lihawõtte pühade pühitsemise aja määramisel Juliani kalendri wastu. Greekamaal ja teistes idakiriku alla kuuluwais riikides oli see kalender senini tarwitusel.

Juliani kalender on wäga lihtne ja kaunis, aga ta ei ole täpipealne. Olgugi et wahe wastuwõetud aastapikkuse ja tõelise aastapikkuse wahel on nähtawasti wäga wäike (11 min. 14 sek.), sai ta aast-aastalt kuhjudes ometi tuntawaks.

Juliani ajaarwamises kogub ühepäewane wiga 128 aastaga. 1280 aastaga saab wiga 10 päewa suureks.

Juliani aasta on õigest aastast pikem; Juliani kalendriaasta ei saa weel ära lõppeda, kui looduses juba uus aasta peale hakkab. Nõnda jääme meie Juliani kalendri järele elades päikesest m a h a.

Gregoriani kalender. Nikea kirikukogu ajal (325. a.) oli kewade algus 21-sel märtsil, XVI aastasajal läks päike läbi kewadpunkti 10. märtsil. Paawst Gregor XIII otsustas kalendrit loodusega suuremasse kokkukõlasse seada.

1582. a. läkitas ta bulla, kus ajaarwamises korraga 10 päewa edasi minna kästi, lugedes selle aasta 5. oktoobri asemel 15. okt., tulewikus kästi igale 400 aastale juure lisada 3 päewa, wõrreldes Juliani kalendriga.

Juliani kalendris kogub ühepäewane wiga, nagu öeldud, 128 aastaga. Kolmepäewane wiga kogub 384 aastaga, mis õngi õige lähidal 400-le.

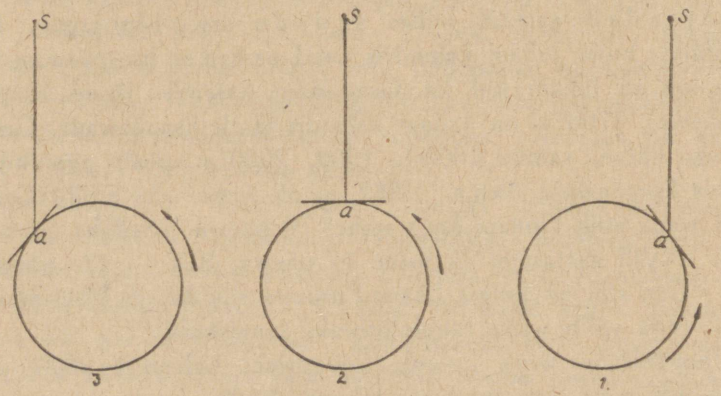
Kolme päewa juurelisamist tehakse Gregoriani kalendris wäga terawmõtteliselt. On arusaadaw, kui meie Juliani lisapäewasest aastast selle lisapäewa ära heidame, siis jõuame meie sellega juba, Juliani ajaarwamisega wõrreldes, ühe päewa ette. Gregoriani kalendris tehakse nii: s a j a n d e d aastad, milles s a d a d e arw 4-le jagab, loetakse liht-aastaiks, kuna Juliani kalendris need aastad on lisa-päewased. Näit. 1600 a. on nii Juliani kui ka Gregoriani kalendri järele lisapäewane (366 päewa), 1700 a. on Juliani kalendri järele lisapäewane, Gregoriani järele aga lihtne, samuti 1800 ja 1900, 2000 a. peab aga kummaski kalendris lisapäewane olema. 1582. a. oli wahe uue stiili (Gregoriani kal.) ja wana stiili (Juliani kal.) wahel 10 päewa. Selleks jäi ta 1700. aastani. XVIII aastasajal oli wahe 11 päewa, XIX — 12, nüüd — 13 päewa. Uus stiil on kõigis Lääne-Euroopa riikides ja Wenemaal wastu wõetud; teda wõib wäga rahuloldawaks tunnistada.

Ühepäewane wiga kuhjub Gregoriani kalendris 3000 aastaga; sellel ei wõi meie elus suuremat tähendust olla.

VIII. peatükk.

TAEWAWÕLWI ÖÖPÄEWANE LIIKUMINE ON NÄIW ILMUWUS. MAA PÖÖRLEMINE. MAA POOLUSED, EKWAATOR, MERIDIAAN. GEOGRAAFILISED KOORDINAADID.

Meelte petted. Maa pöörlemine. Mitte kõik ei näi meïle niisugusena, nagu ta on tõelikult. Kui näit. sõita kaua aega kinniste silmadega, siis wõib tunduda, et meie liigume wastupidises sihis sellele, kuhu meie tõepoolest sõidame.



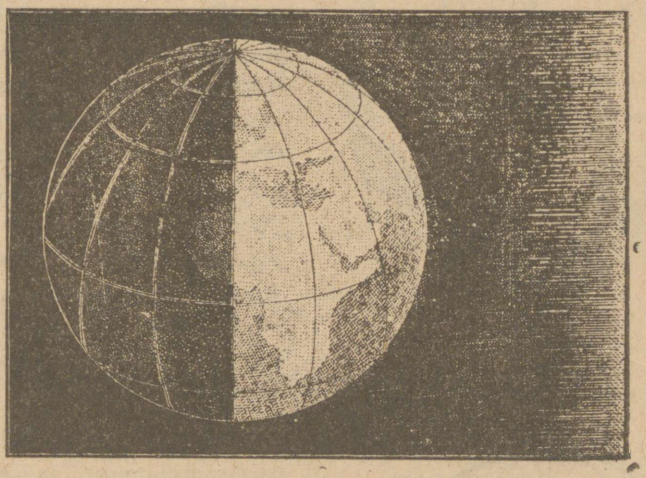
Joon. 33.

Paljud on ehk niisugusesse eksitusse langenud. Teie sõidate aurulaewal minema. Anti ärasõiduks märk, ja teie panete korraga tähele, et sadam ja kallas lähewad eemale. On liikunud muidugi aurulaewmillel seisate, ta on aga suur ja ei ole mingisuguseid põrutusi tunda, kõik ümbritsewad asjad liiguwad teiega ühes, teie näete ennast endises ümbruses ja paistab, nagu kauguks wälised asjad, aga mitte teie ei liiguks neist aurulaewaga eemale.

Samasugune meelte pete tekib taewawõlwi ööpäewase liikumise waatlemisel. Meie rääkisime, et päike, kuu ja tähed tõusewad, kerkiwad teatawale kõrgusele, wajuwad uuesti waatepiirile, weeruwad siis

nõnda et kogu taewawõlw mingisuguse telje ümber näib pöörlema; samad nähtused peawad tekkima ka sel juhtumisel, kui kõik taewakehad kindlatele kohtadele ruumis paigale jääwad ja ainult maa wastases sihis end pöörab.

Wõtame maa peal läbilõike, mis sellele teljele oleks perpendikulaarne. Olgu joonistusel 33 waatleja a kolm seisu maa liikumisel noole sihis. Esimesel juhtumisel on täht S' waatleja horisondilt ainult wähe kõrgemal, teisel on ta juba kõige suuremale kõrgusele jõudnud, kolmandal on ta uuesti waatepiirile wajund, läheb looja. Kui antud maa-



Joon. 34.

pinna koht päikese poole on pöördud, siis langewad siia päikese kiired, siin on päew. Pöördub aga see koht maa keerlemisel teisele poole — on öö (joon. 34).

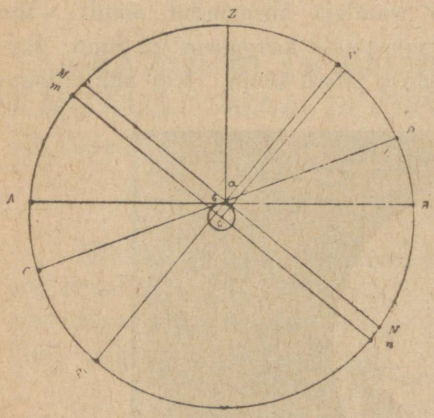
Teine waatepunkt on lihtsam, loomulikum, aga ta ei ole meie otsekohese tundega kokkukõlas, ja inimkond elas palju aastatuhandeid enne kui aru saadi sellest meelte pettest. Nüüd on ka reaalseid tõendusi selleks, et maa ise pöörleb, aga mitte taewawõlw kõigi taewas nähtawate tähtiga. Mõned neist tõendustest on näidatud XII. peatükis.

Õige seletuse eest taewawõlwi ööpäewasele liikumisele oleme meie Kopernikusele tänu wõlgu, kes täielise pöörde tõi astronoomiasse ja kogu meie ilmawaatesse, õpetades maa keerlemist ja tema liikumist ühes teiste planeetidega ümber päikese.

Nikolaus Kopernikus sündis 1473. a., suri 1543. a. Tema pea-elukohaks oli Frauenburg Baltimere kaldal, kus ta katoliku kiriku preester oli ja ühtlasi arstimisega tegutses. Siin metsade waikuses walmis tema suur õpetus, mis terawalt lahku läks kõigest, mis paistis loomulik olema, mida aastasadade kestes loeti wankumatuks tõeks

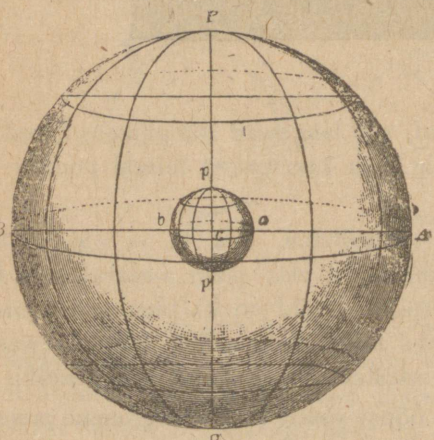
Kopernikus ei rutanud oma mõtete awaldamisega. Tema suremata raamat trükiti just enne tema surma. Katoliku kirik pani selle raamatu wande alla. Usupuhastuse esitajad, Luther ja Melanchton, naersid uut õpetust, rahwahulk nimetas hirwitades suure mehe nime.

Maanabad, ekwaator, meridiaan. Maa pöörlemistelg ongi selleks jooneks, mille ümber maapinnal olewale waatlejale taewawõlw ööpäewases liikumises pöörlema näib. Täpimalt, ta on paralleelne selle joone wastu, mida waatleja maailma teljeks nimetab (joon. 35 on aP — maailma telg waatlejale punktis a, cP — maa pöörlemistelg). Maa suurus on, nagu selgub, tähtede kaugustega wõrreldes nii wäike, et meie seda arwesse wõtta ei tarwitse ja oma joonistustes wõime maad lihtsalt punktiks pidada. Maatelg läheb muidugi läbi keskkoha, ta lõikab pinda kahes diametraalselt wastuseiswas punktis, nõndanimetud maanabades, mis maa pöörlemisel jääwad liikumatudeks.



Joon. 35.

Tasapind, mis pöörlemisteljele perpendikulaarne ja maa keskkohast läbi läheb, on maaekwaatori tasapind; ta lahutab maa kaheks poolkeraks — põhja ja lõuna poolkeraks.

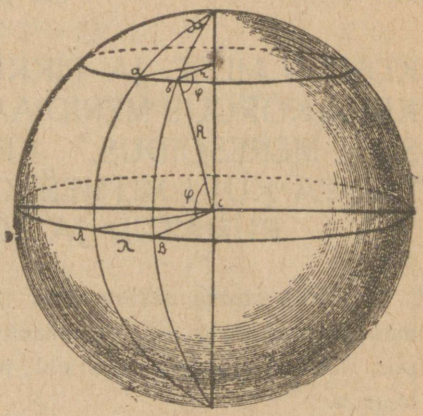


Joon. 36.

Taewaekwaator MN, mille waatleja oma waatlemiskohas mõttes tõmbab, on maaekwaatorile alati paralleelne. Waatepiir aga — puutuja tasapind maapinnale — muudab oma sihi waatlemiskoha muutumisega. Ühtlasi muutub ka teine nurk ekwaatoriga ja järjelikult ka maa pöörlemisteljega, s. t. muutub pooluse kõrgus waatepiirilt. Punktis a on waatepiiriks AB, pooluse kõrguseks ∠ PaB. Punktis b on CD waatepiir, ∠ PbB — pooluse kõrgus.

Maateljest ja waatlemiskohast läbiminew tasapind kutsutakse geo-

graafiliseks meridiaaniks. See on muidugi selle waatlemiskoha taewase meridiaani tasapind, mida määrawad kaks sirgjoont: maailma telg ja waatlemiskoha lootjoon. Joon. 36 on punktid p ja p' — maapoolused, punktid P ja P' — taewapoolused, ab — maaekwaator, AB — taewaekwaator. Ringid, mis lähewad läbi pooluste p ja p' perpendikulaarselt ab-le — geograafilised meridiaanid; ringid, mis lähewad läbi pooluste PP' perpendikulaarselt AB-le — taewased meridiaanid.



Joon. 37.

Geograafilised koordinaadid. Mingisuguse maakoha b seisu määramiseks tarwitakse kahte suurust (joon. 37):

1) Geograafiline laius — kaugus ekwaatorilt, loetud koha meridiaani mööda, s. t. kaar Bb, ehk nurk φ.

2) Geograafiline pikkus — nurk λ maakoha b meridiaani ja ühe teise täiesti kindla, teatud punkti a meridiaani wahel.

Laius loetakse ekwaatorilt põhja ja lõuna poole.

Pikkus — punkti a meridiaanilt ida ja lääne poole; nõnda on Samaara Pulkowist*) ida pool, Warsawi aga lääne pool, Pulkow ise nagu Warsaw ja Samaaragi on Greenwichist**) ida pool jne.

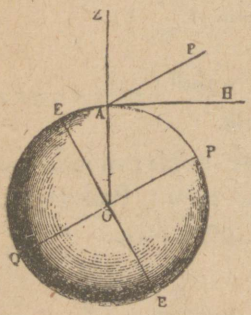
---

*) Pulkowis, Peetrilinna lähidal, on Wene astronoomiline peaobserwatoorium.
**) Creenwichis, Londoni lähidal, on Inglise astronoomiline peaobserwatoorium.

IX. peatükk.

KOHA LAIUSE JA PIKKUSE MÄÄRAMINE. TAEWAKEHA KÕRGUS MERIDIAANIL. TÄHETEADUSE TÄHTSUS MERESÕIDUS. KRONOMEETER. SEKSTANT. TAEWA KUJU MITMESUGUSTE LAIUSTE ALL. WEERUMATUD JA TÕUSMATUD TÄHED.

Koha laiuse määramine. Waatame joonistust 38. Joon QP olgu maa pöörlemistelg, EE' — maaekwaator, AH — waatlemiskoha A waatepiir, AP' — maailma telje siht, paralleelne OP-le, nurk EOA — koha laius φ.



Joon. 38.

On selge, et see nurk nurga P'AH suurune on, sest nende nurkade küljed on wastastikku perpendikulaarsed, ∠ P'AH on aga pooluse kõrgus.

Nõnda on pooluse kõrgus antud waatlemiskoha waatepiirilt selle koha geograafilise laiuse suurune.

Tähendab, koha laius on kerge määrata. On ainult tarwis mõõta kui kõrgel on Põhjanael. Et aga Põhjanael pole mitte poolusel, saame sel teel laiuse ainult ligikaudselt, paljudes juhtumistes aga wõib selle resultaadiga leppida.

On aga suurem täpisus soowitaw, wõime ära oodata mõne tähe ülemise kulminatsiooni, et meridiaanist läbimineku silmapilgul ära mõõta tema kauguse seniidist. Joon. 39 näitab, et kui täht S seniidist lõuna pool kulmib, siis on tema seniitkaugus (z) + pööre (δ) pooluse kõrguse suurune, sest külgede perpendikulaarsuse põhjal on

$$\angle MaZ = \angle PaB.$$

Nõnda saame

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

Kui täht on ülemisel kulminatsioonil seniidist põhja pool (S_1), siis saame nähtawasti wormuli

$$\delta = \varphi + z,$$

millest

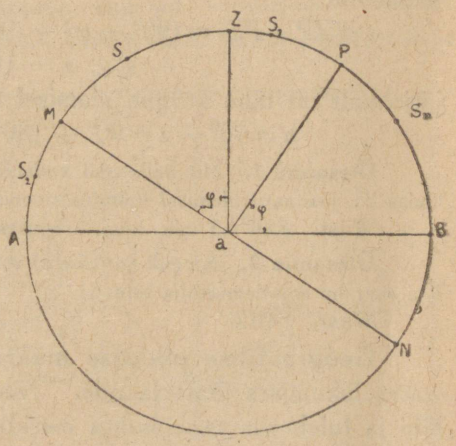
$$\varphi = \delta - z.$$

Olgu näituseks Weega, mille $\delta = +38^{0}42'$ ülemisel kulminatsioonil Tartus $z = 19^{0}41'$ seniidist lõuna pool; siis saame otsekohe Tartu laiuse $\varphi = 38^{0}42' + 19^{0}41 = 58^{0}23'$.

Samuti, kui α Suures Wankris, mille pööre $\delta = +62^{0}13'$, Samaaras ülemisel kulminatsioonil on seniidist $9^{0}2'$ põhja pool, siis on Samaara laius

$$\varphi = 62^{0}13' - 9^{0}2' = 53^{0}11'.$$

Tähe kõrgus meridiaanil. Huwitaw on ka wastupidine ülesanne. Ilma ühegi waatlemiseta wõime ette arwata, kui kõrgel mõni täht kulmib linnas, mille laiuse meie teame. Raamatu lõpus on antud mitmesuguste maakohtade geograafiliste koordinaatide tabel, mida niisuguste wäljaarwamiste juures tarwitada wõib.



Joon. 39.

Wõrdleme näituseks Weega kõrgust ülemisel kulminatsioonil Tallinnas ja Odessas.

Wäljaarwamine sünnib wormulite järele:

$$z + \delta = \varphi, \text{ millest } z = \varphi - \delta$$
$$\text{ja } h = 90^{0} - z$$

saame:

	Tallinn	Odessa
Laius	$\varphi = 59^{0}26'$	$46^{0}29'$
Weega käänd	$\delta = 38^{0}42'$	$38^{0}42'$
seniitkaugus	$z = 20^{0}44'$	$7^{0}47'$
kõrgus	$h = 69^{0}16'$	$82^{0}13'$

Pööre on wormulis algebraliselt wastawa märgiga. Lõunapoolse tähe pööre on negatiiwne, tema absoluutne suurus on φ-le tarwis juure panna, et saada z. Arwame, näit., kulminatsiooni silmapilgul Siiriuse kõrguse Moskwas:

Moskwa laius $\varphi = 55^{0}45'$
Siiriuse käänd $\delta = -16^{0}36'$

wormuli järele

$$z = \varphi - \delta$$
$$\text{saame } z = 55^{0}45' - (-16^{0}36') = 55^{0}45' + 16^{0}36' = 72^{0}21'$$
$$\text{ja kõrgus } h = 90^{0} - 72^{0}21' = 17^{0}59'$$

See on muidugi ka joonistusest arusaadaw:

Tähe S_2 kõrgus on AS_2, tema kaugus seniidist $S_2Z = MZ + MS_2 = \varphi +$ kaugus ekwaatorist, s. t. Siiriuse tarwis Moskwas

$$z = 55^0 45' + 16^0 36' = 72^0 21'$$

Meele tuletades, kuidas wälja arwati tähe kulminatsiooni silmapilk, wõime nüüd täieliselt ära määrata ülemise kulminatsiooni tähel, mille koordinaate meie tunneme.

Joonistusest 30 järgneb, et seniitkaugus on tähe alumisel kulminatsioonil

$$z = ZP + PS_3 = (90^0 - \varphi) + (90^0 - S_3N) \equiv 90^0 - \varphi + 90^0 - \delta$$

$$\text{s. t. } z = 180^0 - \varphi - \delta$$

järjelikult on tähe kõrgus alumisel kulminatsioonil

$$h = 90^0 - z = 90^0 - 180^0 + \varphi + \delta = \varphi + \delta - 90^0.$$

Ülesanne 1. Mis kella ajal kodanlise aja järele ja kui kõrgel on Arktur Tallinnas 25. jaanuaril ülemisel kulminatsioonil.

Wast. Kell 6,5 min. hom. kõrguses 50°16'.

Ülesanne 2. Re guli (α Lõwis) seniitkaugus ülemisel kulminatsioonil oli 41°48'. Kui suur on waatlemiskoha laius?

Wast. 54°12'.

Geograafilise pikkuse määramine. Taewawõlw pöördub ööpäewases liikumises idast lääne. Täht läheb enne ühe koha meridiaanist läbi ja tuleb siis teise kohta meridiaanile, mis esimesest lääne pool.

Ütleme, et Pulkowis on keskpäew, s. t. päike läheb Pulkowi meridiaanist läbi. On selge, et Kaasanis, mis Pulkowist ida pool, on keskpäew juba mööda, kell on juba 12 läbi. Wastuoksa, Riias, mis Pulkowist lääne pool, ei ole keskpäew weel kätte jõudnud.

Täie ringi teeb taewawõlw 24 tunniga. Järjelikult pöördub tema igas tunnis 15°, igas minutis 15', igas sekundis 15". Siit järgneb, et pikkuste wahet wõib aja kaudu awaldada; see pole muud kui aegade wahe kahes maakohas ühel ja samal füüsilisel silmapilgul.

Nullmeridiaanilt ida pool olewa maakoha pikkust on hõlbus positiiwseks arwata, lääne pool — negatiiwseks. Kaasan on Pulkowi meridiaanist 18°49' ida pool. Sellepärast on Kaasani aeg Pulkowi ajast 1 tund 15,3 min. ees (18°49' = 1 tund 15,3 min.)

Riia on Pulkowist 6°10' lääne pool ja Riia aeg Pulkowi ajast 24,7 min. järele. Räägitakse: Kaasani pikkus Pulkowi suhtes = + 1 tund 15,3 min. Riia pikkus aga = — 24,7 min.

Greenwichi suhtes on

Kaasani pikkus = 3 tundi 16,5 min.
Riia „ = 1 „ 36,5 „

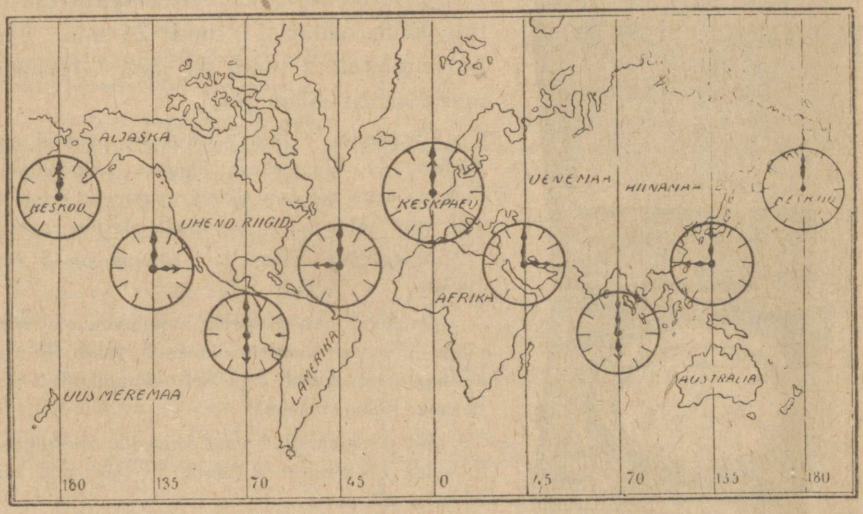
nende pikkuste wahe = 1 tund 40 min.

see ongi just 1 tund 15,3 min. + 24,7 min.

Joon. 40 annab üldpildi mitmesuguste maakohtade aegade wahest, mis oleneb nende maakohtade pikkusest.

Maakoha pikkuse määramise wiis on nõnda omalt mõttelt lihtne ja arusaadaw. On tarwis teada, mis aeg on ühes kohas ja missugune teises ühel ja samal füüsilisel silmapilgul; nende aegade wahe ongi pikkuste wahe suurune.

1-ne wiis: telegraafilised märguandmised. Punktides A ja B, millede pikkuste wahe tarwis määrata, asuwad waatlejad. Tähtede järele seawad nad oma kellad õigeks. Siis antakse ühest punktist teise



Joon. 40.

telegraafi teel signaal. On ainult tarwis üles kirjutada aeg, millal signaal punktis A anti ja millal ta punktis B wastu wõeti. Nende aegade wahe annabki pikkuse wahe, sest elektriwool liigub peaaegu silmapilkselt.

Näitus. Pulkowist anti kell 10,33 min. 43 sek. Pulkowi aja järele signaal Potsdammi. See signaal wõeti Potsdamis kell 9,24 min. 40,5 sek. wastu.

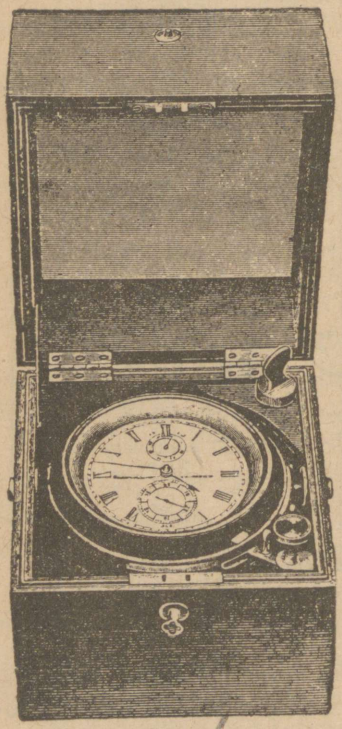
Järjelikult on Potsdam Pulkowist 1 tund 9 min. 2,5 sek. lääne pool.

2-ne wiis: kronomeetrite üheswedamine. Teine wiis on wähem täpipealne. Teda tarwitakse seal, kus telegraafi ei ole, näit. ekspeditsioonidel tundmatuis mais ja mere peal.

Kronomeeter on õigesti käiw wedrukell. Tema harilikumat kuju näeme joon. 41. Ekspeditsioon ja kaugele sõidule minew laew wõtawad mitu kronomeetrit ühes, mis mõne meridiaani, näit. Greenwichi

kohaselt seatud. Kronomeeter keeratakse muidugi korralikult üles, tema näitajaid aga ei liigutata ja käiakse temaga ka muidu wäga ettewaatlikult ümber.

Kui tahetakse reisul mõne koha pikkust määrata, on ainult tarwis määrata selle koha aeg. See läheb muidugi lahku ajast, mida sel silmapilgul kronomeeter näitab. Wahe annab waatlemiskoha pikkuse Greenwichist.



Joon. 41.

Ütleme näituseks, waatlemisist on selgunud, et aeg laewal on 8 tundi 40 min., kronomeeter aga, mis Greenwichi aja järele käib, näitab 11 tundi 24 min. Laew on järjelikult 2 tundi 44 min. Greenwichi meridiaanist lääne pool.

Ülesanne. Ühes Kesk-Aasia punktis nähti Kapella (α Weomehes) ülemist kulminatsiooni Pulkowi aega näitawa tähe-kronomeetri järele kell 2,56 min. Missugune on waatlemiskoha pikkus?

Arwamine. Kapella otsetõus on 5 tundi 10 min.

Järjelikult on Kapella kulminatsiooni silmapilgul täheaeg waatlemiskohas 5 tundi 10 min. Kronomeeter näitab aga sel silmapilgul 2 tundi 56 min. Pulkowi aega.

Siit järeldame, et waatlemiskoht on Pulkowist 5 tundi 10 min. — 2 tundi 56 min. = 2 tundi 14 min. ida pool.

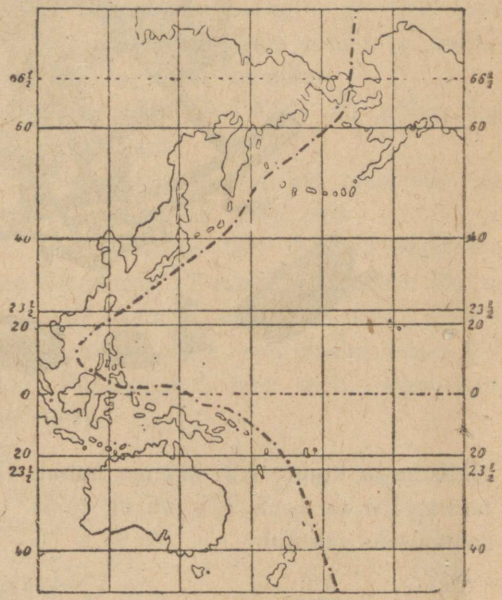
Kuupäewa piir. Tuleme tagasi joonist. 40 juure. Olgu, näit., Greenwichis pühapäewa keskpäew. Kõigis kohtades, mis Greenwichist ida pool, on keskpäew juba mööda. Uraalis on kell 4, Beeringi lahes on juba keskõö pühapäew lõppenud, algab esmaspäew. Wastuoksa, keskpäew ei ole weel kätte jõudnud kohtades, mis Greenwichist lääne pool. Põhja-Ameerika Ühisriikides on warane hommik, Beeringi lahes hakkab pühapäew alles peale. Nõnda on sellel Greenwichi meridiaani poolel, mis Waiksest okeaanist läbi läheb, ühe korraga pühapäew ja esmaspäew.

Kolonistidest, kes üle terwe maa laiali asusid, sõitsid ühed lääne poole, teised ida poole. Selle juures tekkisid päewade lugemises mõned ebaloomulikkused: mõnikord juhtus, et lääne poole sõitjad mööda jõudsid ida poole sõitjaist ehk ümberpöördult. Joon. 42 annab kõwerjoone sihi, mis oli kuni 1844. a. kuupäewa piiriks (demarkatsiooni jooneks). Temast paremalpool loeti pühapäew (äärmine lääs), siis kui pahemalpool esmaspäew oli (äärmine ida). Nüüd peab laew Waikses okeaanis Greenwichi meridiaanist läbi minnes järgmisest määrusest kinni: kes läänest ida poole sõidab, see kirjutab kaks korda päewa, mil ta Greenwichi meridiaanist läbi läks, kes

idast lääne poole sõidab, jätab oma ajaarwamises selle päewa ära ja paneb, näituseks, 1-se mai järele otsekohe 3-da.

Täheteaduse praktiline tähtsus. Ülewal tähendasime, et astronoomia on meie elus wäga tähtis, sest et ta meie ajaarwamist korraldab. Nüüd näeme astronoomiliste waatlemiste uusi praktilisi kasutusi, nimelt — mitmesuguste maakohtade geograafiliste koordinaatide määramisel ja meresõidul.

Harilikult räägitakse, et laew merel kompassi järele teed leiab. See ei ole päris täpipealne. Kompassi näitamise järele wõib ainult wõrdlemisi wäikseid wahesid sõita. Okeaanis aga, kus laew woolude, tuulte ja marude tagajärjel oma õigelt teelt tublisti kõrwale kalduda wõib, tuleb aegajalt laewa seisu määrata, s. t. tema geograafilisi koordinaate, seda aga wõib ainult astronoomiliste waatlemiste abil teha.



Joon. 42.

Et lainetuse tagajärjel laewalagi harilikult mitte horisontaalsena ei püsi, siis ei saa merel uniwersaalriista tarwitada, kus üks sõõr tingimata horisontaalne peab olema, teine aga — wertikaalne.

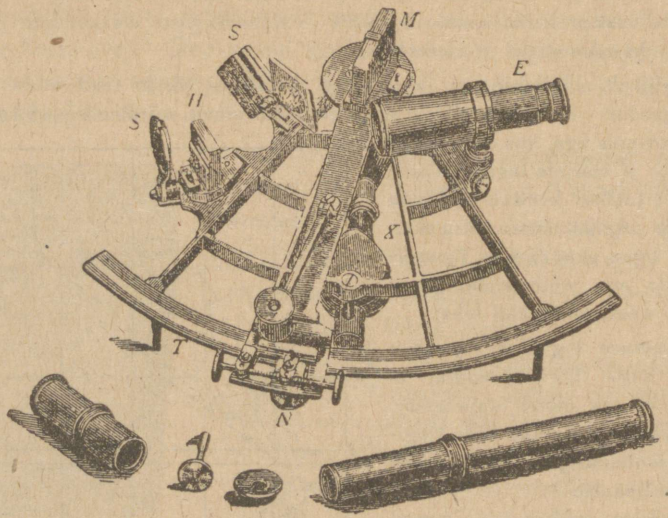
Sellepärast määratakse laewal taewakeha kõrgus s e k s t a n d i abil; selle riista leidis Newton üles ja oma nime sai ta sellest, et kraadideks jagatud on k u u e s osa sõõrjoonest, s. t. 60°. Waatleja hoiab selle riista waatlemise juures käes (joon. 43).

Taewa kuju mitmesuguste laiuste all. Kas lõunapool ja kaugel põhjapool on samad tähed näha mis meilgi? Kas nende seis taewas samasugune, kas nad samuti liiguwad taewawõlwi ööpäewasel pööramisel?

Mis puutub tähtede w a s t a s t i k u s s e seisu, siis on see muidugi sama kõigile waatlejaile, kus maakohas nemad ka oleksid: kõigile on ühesugused Suur Wanker, Orion ja teised tähtkujud. Tähtkujude eneste seis nähtawal waatepiiril, nende liikumine taewawõlwi ööpäewases pöörlemises ja kõige suurem kaugus waatepiirilt on aga mitmesugused mitmesugustes maakohtades. Mõningaid tähti ei ole ühedes waatlemiskohtades sugugi näha, teistes ei tõuse teised waatepiirilt kõrgemale.

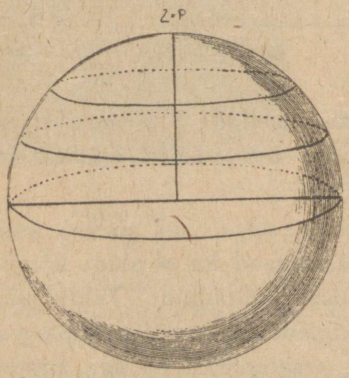
See on muidugi arusaadaw: sest telg, mille ümber taewawõlw näib pöörlema, teeb waatepiiriga mitmesugustes maakohtades mitmesuguse nurga. Pooluse kõrgus on koha laiusega ühesuurune. Maa

põhja poolusel on maailma telg waatepiirile wertikaalne (laius = 90°), ekwaatoril langeb ta waatepiiriga ühte ja Põhjanael ei tõuse peaaegu sugugi waatepiirilt kõrgemale (laius = 0°). Ühes sellega muutub ka



Joon. 43.

tähtistaewa kuju. Kui läheme nabalt ekwaatorile, siis nagu pöörduks taewawõlw terwena 90°, nii et tema pöörlemistelg wertikaalsest horisontaalseks muutub.



Joon. 44.

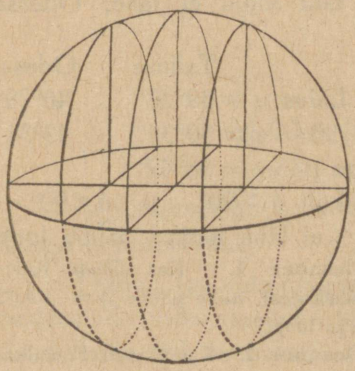
Missugune näib olema taewawõlwi ööpäewane liikumine waatlejale maakera põhja poolusel? Missuguseid tähti wõib ta näha?

Tähed teewad oma ööpäewases liikumises paralleel-sõõre, mis on perpendikulaarsed maailma teljele. Käesolewal juhtumisel on maailma telg wertikaalne, naba langeb seniidiga ühte. Järjelikult teewad kõik taewakehad waatepiirile paralleelseid sõõre, igaüks neist jääb alati ühele ja samale kindlale kõrgusele ja on näha mõlemais kulminatsioonis, kui teda üleüldse näha wõib. Ekwaator ühtub waatepiiriga. Nõnda on kõik põhjapoolkera tähed waatepiiri kohal, kõik lõunapoolkera tähed — waatepiiri all (joon. 44).

Et päikese pööre on poole aasta jooksul positiiwne, siis on ta

pool aastat waatepiiri kohal, pool aastat aga on ta selle all ja ei ole näha. Pool aastat kestab alatine päew, pool aastat — alatine öö.*)

Missugune näib olema taewawõlwi ööpäewane liikumine waatlejale ekwaatoril?



Joon. 45.

Maailma telg on waatepiiri tasapinnal (joon. 45). Taewaekwaator ja kõik tähtede ööpäewased paralleelid on waatepiirile perpendikulaarsed. Iga täht jääb 12-ks tunniks waatepiiri kohale ja waatepiiri alla ka 12-ks tunniks.

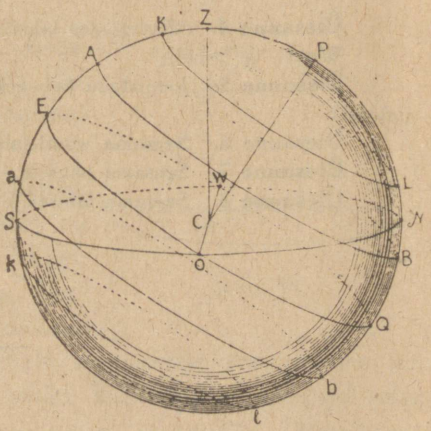
Näha wõib kõiki tähti nii põhja- kui lõunapoolkeral.

Keskmistel laiustel on maailma telg waatepiirile kallak (joon. 46).

Ekwatoriaalne täht on oma ööpäewases liikumises 12 tundi waatepiiri üle ja jääb 12 tunniks waatepiiri alla. Tähte, millel lõunapööre, saab aga wähem aega näha, suuremaks osaks ööpäewast jääb ta waatepiiri alla. Põhjapoolne täht teeb, wastuoksa, suurema osa oma teest waatepiiri kohal, wähema — waatepiiri all.

Mida põhjapoolsem on täht, seda kauemaks jääb ta oma ööpäewases liikumises waatepiiri kohale, seda kaugemal põhja pool on tema tõusu ja loojamineku punkt.

W e e r u m a t u d j a t õ u s m a t u d t ä h e d. Joonistusel 47 on näha, et need tähed, millede kaugus ekwaatorist ehk pööre suurem on kui $90^0 - \varphi$, üleüldse looja ei lähe.



Joon. 46.

Samuti kui tähe lõunapööre absoluutne suurus on suurem kui $90 - \varphi$, ei tõuse täht sugugi waatepiirile.

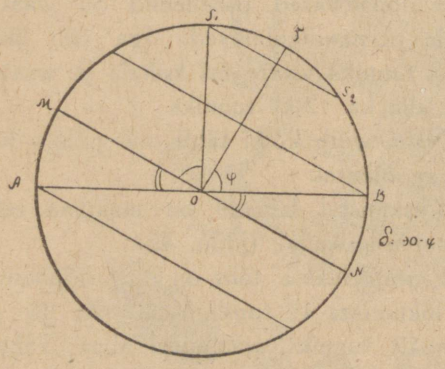
Järjelikult ei näe meie paljuid lõunapoolkera tähti.

---

*) Refraktsioon tõstab näiwalt taewakeha kõrgemale, nii et päike juba siis waatepiiril näha on, kui tema keskkoht kaugeltki weel ekwaatorini ei ole jõudnud, sellepärast on alatine päew põhja poolusel poolest aastast wähe pikem, alatine öö — wähe lühem.

Mida põhjapoolsem on waatlemiskoht, seda madalamal on taewakeha ülemisel kulminatsioonil ja seda kõrgem on ta alumisel. Eelpool arwasime wälja, et Weega kõrgus on ülemisel kulminatsioonil Tallinnas 69°16′, Odessas 82°13′.

Kerge on näidata, et Tallinnas see täht looja ei lähe, Odessas aga läheb.



Joon. 47.

	Tallinn	Odessa
Laius φ	$59^0 26'$	$46^0 29'$
$90 - \varphi$	$30^0 34'$	$43^0 31$

Weega pööre $= 38^0 42'$

Järjelikult $\delta > 90^0 - \varphi$ $\delta < 90^0 - \varphi$

Täht ei lähe looja läheb looja.

Ülesanne 1. Kas läheb Kastor (α Kaksikutes), mille pööre $\delta = +32^0 5'$, Moskwas looja?

Ülesanne 2. Kas tõuseb Fomalhaut (α Lõuna-Kalades), mille pööre $\delta = -30^0 5$ Arhangelskis?

Ülesanne 3. Kui kõrgel on Kapella (α Weomehes) ülemisel ja alumisel kulminatsioonil Tartus?

Wast. $77^0 32'$, $14^0 18'$.

Ülesanne 4. Missugustes laiustes ei lähe päike 21. juunil looja?

Wast. $\varphi > 66^1/_2{}^0$.

Ülesanne 5. Joonistada taewaekwaator ja ekliptika waatleja tarwis, kes asub poolusel.

Ülesanne 6. Seesama waatlejale ekwaatoril.

Ülesanne 7. Seesama laiusele $+ 23^1/_2{}^0$?

Ülesanne 8. Seesama laiusele $- 23^1/_2{}^0$?

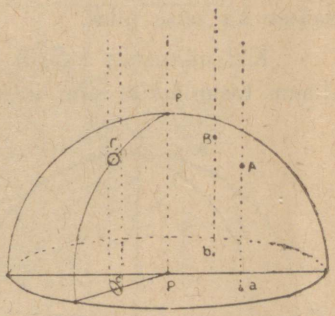
X. peatükk.

MAA- JA TÄHTKAARDID.

Astronoomiliste waatlemiste abil määratakse maakohtade geograafilised koordinaadid.

Teades aga mitmesuguste punktide geograafilisi koordinaate, wõime walmistada selle maakoha kaardi. Selle juures on mõned matemaatilised harutused tarwilikud.

Maakaart on mõne sfäärilise maapinna osa kujutus tasapinnal. Muidugi peab see kujutus teatawa porportsionaalsusega tehtud olema. Peab ette kujutama, et sfäär on tasapinnale proekteeritud, nõndanimetud k a a r d i t a s a p i n n a l e.



Joon. 48.

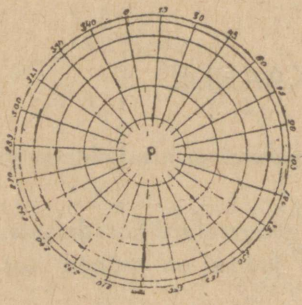
Ortograafiline proektsioon. Kujutame näituseks ette, et meie poolkera lõpmatusest waatame, eemale minnes poolusse wiiwa raadiuse sihis

Waatekiired, s. t. sihtjooned waatleja silmast mitmesugustele kera punktidele, on sel juhtumisel paralleelsed (joon. 48). Mingu kaardi tasapind läbi sfääri keskkoha, perpendikulaarsena neile waatekiirtele (ekwaatori tasapind). Wiimased jätawad sellele tasapinnale rea punkte, mis kujutawadki kaardil mitmesugustele sfääri kohtadele wastawaid seise.

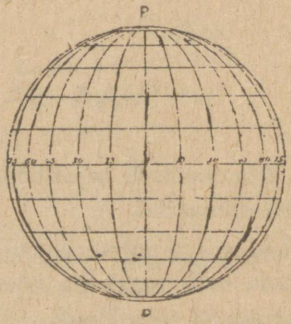
Pooluse kujutus on selle juures muidugi keskkohas. Meridiaanidele wastawad sirgjooned, mis raadiustena keskkohast laialduwad, paralleelid annawad rea ühiskeskseid sõõre, aga maakera paralleelide wahel, ühesuuruste wahekauguste peale waatamata, ei ole kaugused neile wastawate ühiskesksete ringide wahel tasapinnal mitte ühesuurused. Need ringid on üks teisele seda lähemal, mida kaugemal nad keskkohast seisawad (joon. 49). See on arusaadaw, sest kerapind muutub — kui minna nabalt ekwaatorile — waatekiirtele perpendikulaarsest aegamööda neile paralleelseks.

Rattakest C sfääril ei saa tasapinnal rattakesena kujutada, waid lapiku owaalina (c), mis ekwaatoril sirgjooneks muutub (joon. 48).

Nõnda ei saa meie kaardil neidsamu kontuure, mis sfääril on wõetud, tekib moonutus; aga sfääril wõetud kontuuride ja nende kujutuste wahel kaardil peawad alati kindlad wahekorrad olema.



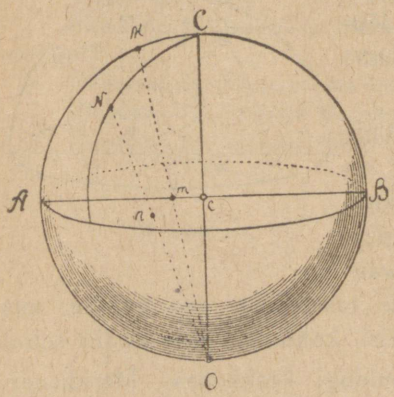
Joon. 49.



Joon. 50.

Ette kujutades waatleja silma sfäärinaba suhtes teisiti asetatuna, saame ka teise pildi.

Kui näituseks kaardi tasapinnaks wõtta mitte ekwaator, waid meridiaani tasapind ja silm wiia lõpmatusse sellele meridiaanile perpendikulaarses sihis, siis saab paralleel-ringide ja meridiaanide wõrk nõnda kujutud, kui joonistusel 50 näha. Paralleel-ringid ilmuwad siin sirgjoontena, meridiaanid — owaalidena.



Joon. 51.

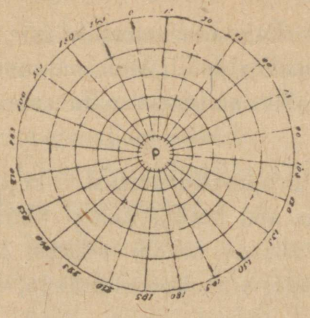
Proektsioon, mille saame, kui oletame, et silm lõpmatuses asub, — nagu kahel ülewaltoodud juhtumisel — kutsutakse ortograafiliseks, s. t. otsekujutawaks.

Stereograafiline proektsioon. Waatepunkti wõime mõelda kerapinnal, siis saame nõndanimetud stereograafilise proektsiooni.

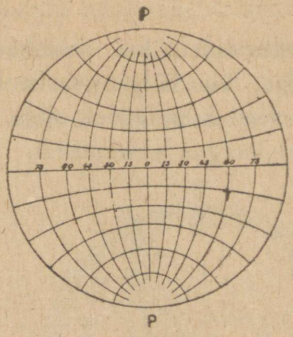
Kui waatepunkt on ühes pooluses ja kaardi tasapind ühtub ekwaatori tasapinnaga (joon. 51), siis saame poolkera ABC proekteerimisel pildi, mida näeme joon. 52.

Meridiaanid kujutakse siin, nagu esimese ortograafilise proektsiooni juureski, sirgjoontena, mis naba kujutawast punktist radiaalselt wälja lähewad. Paralleel-ringid kujutakse ühiskesksete ringidena, kau-

gused nende ringide wahel on aga otse ümberpöördult seda suuremad, mida kaugemal nad on keskkohast.

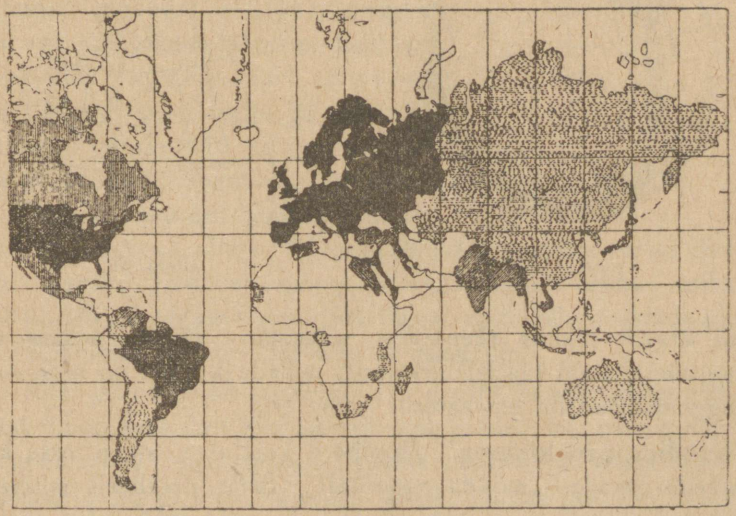


Joon. 52.



Joon. 53.

Kui waatepunkt on ekwaatoril, ja kaardi tasapind mõne meridiaani tasapinnaga ühte langeb, siis saame wõrgu, nagu ta on joonist. 53 kujutud (wõrrelda joon. 50).



Joon. 54.

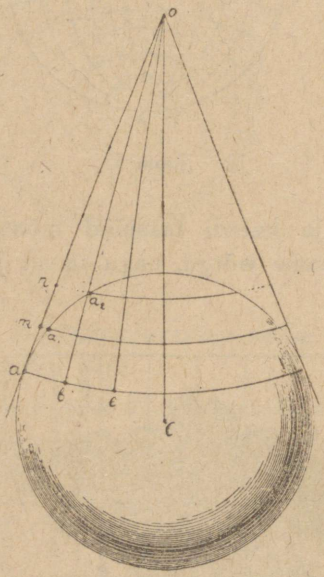
Merkaatori proektsioon. Meresõidu praktikas ja ekwatoriaaliste maade kujutamiseks kaardil on wäga hõlbus hollandlase Merkaatori proektsioon, milles nii meridiaanid kui paralleelid on kujutud paralleeljoonte süsteemina.

Sfääril on kaugus meridiaanide wahel seda wähem, mida lähemal nabale, ($ab < AB$, joon. 37) — wähenemine on proportsionaalne $\cos\varphi$-le,

kus φ on paralleeli laius, sest kaared, milledes on ühepalju kraade, on raadiustele proportsionaalsed, joonistusest saame aga otsekohe

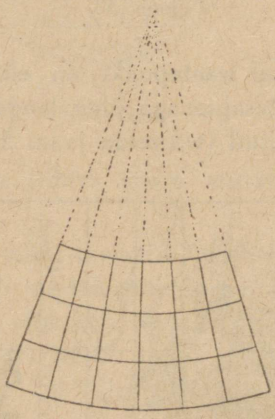
$$r = R\cos\varphi.$$

Sellepärast, kui meridiaani kraade kujutada samapikkuste joonlõikudega, kui kõigi paralleelide kraadisidki, tekib suur moonutus — nimelt wenitus paralleeli sihis. See on seda suurem, mida suurem on kontuuri kaugus ekwaatorilt.



Joon. 55.

Et proportsionaalsust kujutawas kontuuris alal hoida, panigi Merkaator ette meridiaani kraadi pikkust kaardil suurendada, wahekorras sellega, kuidas



Joon. 56.

paralleeli kraadi pikkus tõepoolest wäheneb. Nõnda saame wõrgu mitte ruutudest, waid täisnelinurkadest, millede kõrgus on seda suurem, mida kaugemal nad on ekwaatorilt (joon. 54).

Kooniline proektsioon. Mõnikord kujutakse sfääri otse koonusel, mis teda paralleeli mööda puudutab. Selle paralleeli mitmesuguseid punkte koonuse tipuga ühendades, saame meridiaanide süsteemi: ao, bo, co jne. Paralleelide süsteemi saame, tõmmates koonusel rea paralleel-ringe, mis üks teisest sama kaugel on, kui paralleelid sfääril (joon. 55 $am = aa_1$, $mn = a_1a_2$ jne.).

Koonuse pinda tasapinnale lahti rullides saame pildi nagu joonistusel 56.

Seda proektsiooni tarwitakse harilikult üksikute, wõrdlemisi wäikeste maakohtade kujutamiseks.

Maagloobus. Maapinda wõib ilma moonutuseta ainult keral kujutada, nõndanimetud gloobusel. Et aga gloobus praktikas mitte wäga suur olla ei saa, on temal ka wõimata üksikasjalist kujutust anda.

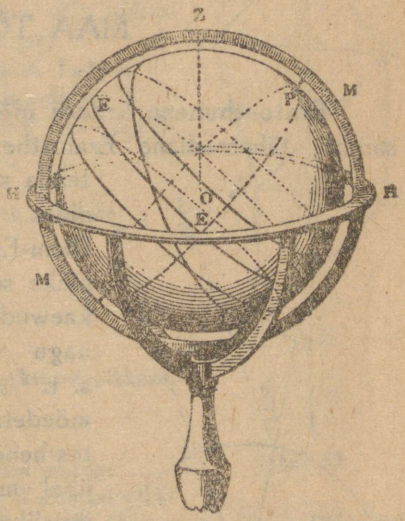
Tähtkaardid. Tähtkaardid seatakse kokku samadel alustel kui maakaardidki. Meridiaanide osa mängiwad ainult pöör-sõõrid; mitmesuguste laiuste paralleel-sõõride asemele tulewad mitmesuguste pöörete paralleel-sõõrid.

Ülesande kohaselt walitakse kõige sündsam proektsioon.

Raamatu lõpus juurelisatud kaart on stereograafilises proektsioonis tehtud, mille juures kaardi tasapinnaks on wõetud ekwaatori tasapind.

Taewagloobus. Taewast wõib kujutada keral samuti kui maadki.

Selle juures ilmub aga wäike wastawusetus. Waatleja waatab taewast kujutawat gloobust wäljastpoolt, kuna aga tõelikkuses tähed on nähtawa taewawõlwi sisemisel poolel Kera tähtede kujutustega ja pöörringide ning paralleelide wõrguga peab tema keskkohast läbiminewa telje ümber pöörlema, kus selle telje kallakust waatepiiri kujutawa rõnga HH (joon. 57) tasapinnaga soowi järele muuta wõib. Seades gloobuse mõne laiuse kohaselt, wõime mitmesuguste sellel paralleelil olewate punktide tarwis näitlikult otsustada mitmesuguseid ülesandeid tähtede liikumise ja seisu üle.



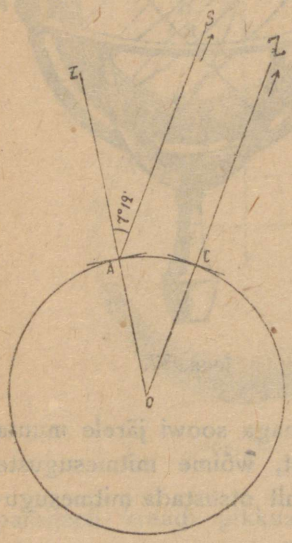
Joon. 57.

Aga parem on muidugi, kui igaüks katsub taewawõlwi ööpäewasest liikumisest ilma gloobuseta aru saada, otsekoheste waatlemiste abil. Aru saades, kuidas taewawõlw antud kohal pöörleb, on waatlejal kerge ette kujutada kõiki nähtusi ka teistes waatlemiskohtades.

XI. peatükk.

MAA TÕELINE KUJU.

Eratosthenese kraadi mõetmine. 230 a. enne Kr. s. tegi Aleksandria täheteadlane Eratosthenes katse otsekoheste mõetmiste abil teada saada, kui suur on maa, mida ta keraks pidas. Tema teadis, et Sieenis (nüüd Assuan, Ülem-Egüptis) kõige pikema päewa keskpäewal päike seniidis on — ta paistab just sügawate kaewude põhja. Samal ajal oli ta Aleksandrias, nagu waatlemised gnoomonil näitasid, 7°12′ s. t. $^1/_{50}$ ringjoont seniidist eemal. Järjelikult mõedetakse nurk zAS ringjoone $^1/_{50}$-ga. Eratosthenes sai aru, et kui Aleksandriat ja Sieeni ühel meridiaanil asuwaiks lugeda, kaar AC, järjelikult, ka $= ^1/_{50}$ ringjoont (joon. 58).



Joon. 58.

Karawaanide liikumise kiiruse järele arwas ta wälja, et wahe Aleksandria ja Sieeni wahel on 5000 staadiumi. Siit saame otsekohe, et meridiaani ringjoon $5000 \times 50 = 250000$ staadiumi pikk on, maa raadius aga $= 39789$ staadiumi.

Pärast Ameerika ülesleidmist ja suurte ümberilma reisude läheb maa suuruse ja õige kuju küsimus iseäranis huwitawaks. Eratosthenese wiisi järele, kuid täielikumal kujul, pannakse kogu rida erilisi kraadi mõõtmisi toime.

Kolmnurgeldamine. Suurt kaart pole wõimalik otsekoheselt mõõta. Teel wõiwad ees olla metsad, mäed, sood jne. Hollandi õpetlane Snellius sai neist raskusist üle, esinedes abinõuga, mis kutsutakse triangulatsiooniks ehk kolmnurgeldamiseks, sest et kaare mõõtmiseks ehitakse kolmnurgad. Täit kaart ei mõõdeta wahenditumalt mitte, waid tema pikkus arwatakse wälja kolmnurkade põhjal.

Ütleme, tarwis on mõõta meridiaani pikkust A-st kuni H—ni (joon. 59).

Paneme punktides A, B, C, D... tähised kõrgete püramiidide kujul, mida mitme wersta taha näha wõis.

Mõõdame hästi walitud tasase, sileda ulatuse AB — nõndanimetud baasi

(ehk aluse) ja wiies uniwersaal-riista punktidesse A, B, C... mõõdame temaga kõik nurgad kolmnurkades ABC, CBD, DCE...

Mõõdame weel sihi AB aasimudi, s. t. nurga HAB, siis wõime wälja arwata AH, kui joonlõikude Aa, ab, bc, cd, dH summa, mida saame kolmnurkade järkjärgsest wäljaarwamisest

Aa, △-st ABa

ab, △-st aCb (külg BC △-st ABG, aC = BC — Ba ja ∠ a △-st BAa, ∠ C on mõõdetud.

bc △-st bDc (DC △-st BCD, bC △-st aCb, Db = DC — bC, ∠ b △-st aCb, ∠ D on mõõdetud jne.

Jääb üle weel mõõta lõpp-punktide A ja H laius.

Nende laiuste wahe annabki kaare AH kraadides.

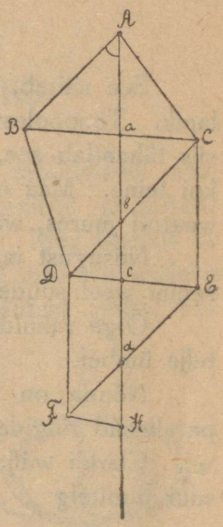
Nõnda saame meie kaare AH ühelt poolt joonmõõtudes, teiselt poolt kraadides.

Olgu AH α^0 ja tema pikkus d wersta.

Tähendates siis maa raadiuse r-ga, saame wõrduse

$$\frac{2\pi r}{360}\,\alpha = d,$$

millest raadius r saadakse teada $r = \frac{360 \cdot d}{2\pi\alpha}$



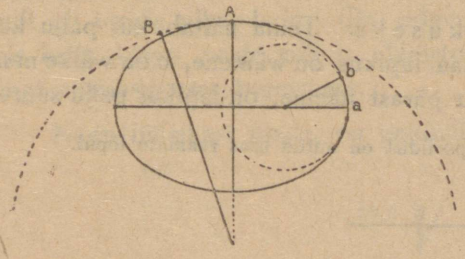
Joon. 59.

Wõib wälja arwata mõõdetud kaare ühe kraadi pikkuse.

See on nähtawasti $\frac{d}{\alpha}$ suurune.

Niisuguseid kraadi mõõtmisi tehti paljudes maades.

Üks kõige suuremaist ja täpimaist tehti Wenemaal pikki Tartu meridiaani. Teda algas kuulus täheteadlane W. Struwe, ta ulatas Põhja-Jäämerest kuni Doonau jõeni — 25°20'. 1899—1901 toimetas Wene-Rootsi ekspeditsioon Terawmägedel kraadi mõõtmisi, mida wõib lugeda Tartu meridiaani kaare mõõtmise jatkamiseks.



Joon. 60.

Wilhelm Struwe sündis 1793 a. Altoonas. Õppis Tartu ülikoolis. Tegi oma töödega Tartu tähttorni ilmakuulsaks; asutas Pulkowi tähttorni. Suri 1864 a.

Kõigist kaarte mõõtmisist, mis mitmesugustes maakohtades tehtud, selgub see asjaolu, et meridiaani kaare 1° on ekwaatori juures lühem, kui rohkem põhjapoolistes maades.

Geograafiline laius.	1° meridiaani kaare pikkus.
0°	110,56 klm.
20°	110,70 „
40°	111,03 „
60°	111,41 „
80°	111,65 „

See näitab, et maa pole mitte kera, waid on keerlemistelje sihis lapik. Tõepoolest, kui 10° kaar AB on pikem, kui 10° kaar ab (joon. 60), siis tähendab see, et esimene kaar on suurema raadiuse abil tõmmatud kui teine. Maa on järjelikult nabade juures wähema kumerusega. Ekwaatori juures, wastupidi, on tema kumerus suurem.

Niisugust maa kuju, mis kõigile mõõtmistele täiesti wastaks, ei ole senini weel suudetud wälja walida.

Õige rahuldaw on aga oletus, et maa on pöördellipsoiid lühema telje ümber.

Nõnda on kõik maa meridiaanid ellipsiteks*), ekwaator aga ja paralleelid ringideks.

Clark'i wäljaarwamise järele on ekwaatori raadius ehk meridiaani suur pooltelg

$$a = 6378{,}2 \text{ kilomeetrit}$$

wäike pooltelg $b = 6356{,}5$ „

Kõige pikema ja kõige lühema raadiuse wahe on järjelikult umbes 22 kilomeetrit

$$a - b = 21{,}7.$$

Huwitaw on tähendada, mitmenda osa suurest poolteljest see wahe wälja teeb

$$c = \frac{a-b}{a} = \frac{21{,}7}{6378} = \frac{1}{294}$$

ehk lihtsalt ligi $\frac{1}{300}$

Suurus c nimetakse lapikuseks. Tema näitab, kui palju keha sfääri kujust kõrwale kaldub. Maa lapikus on wäikene, c on wäike murd.

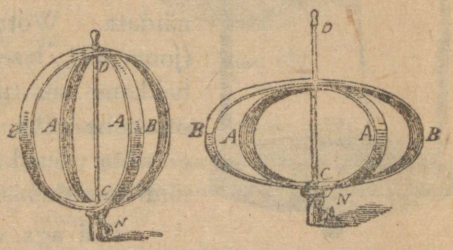
Teistel taewakehadel, nagu pärast näeme, on lapikus palju suurem.

*) Üldine mõiste ellipsist ja ellipsoiidist on antud lisas raamatu lõpul.

XII. peatükk.

MAA PÖÖRLEMISE TÕENDUSED.

Maa kuju. Mitmesuguste kaarte otsekohesed mõõtmised maapinnal näitawad, et maa ekwaatori sihis on wäljawenitud ja nabade sihis kokku surutud. See tõendabki, et ta pöörleb. Maa lapikus on kesktõuke tungi tegewuse tagajärg tollest ajast, mil maa oli wedelas olekus. Tuntud füüsiline katse illustreerib seda nähtust (joon. 61). Mida kaugemal punkt on pöörlemisteljest, seda suurem on kesktõuke tung, mis punkti teljest eemale püüab paisata.



Joon. 61.

Raskustungi wähenemine ekwaatoril. Kui maakera pöörleb, siis peab kesktõuke tung praegugi awalduma, ehk küll maa juba ammu on kõwa koorega kattund. Nimelt peaks kesktõuke järeldusel näiw raskustung wähenema, kui meie põhjapoolistest ehk lõunapoolistest maadest ekwatoriaalistesse läheme. See ongi tõepoolest nii. 1672. a. läks Prantsuse täheteadlane Richer Lõuna-Ameerikasse, Kaienni linna, planeet Marsi waatlema. Imestusega märkas ta, et tema kell Kaiennis maha jääma hakkas. Kella pendulit tuli lühemaks teha, et kell õigesti käiks. Kui aga Richer Pariisi tagasi keeras, tekkis uus üllatus — kell käis nüüd ette, nii et pendulit oli tarwis pikendada. On selge, et waatlemiskoha geograafiline seis kella käigu peale mõjub. Newton sai aru, et põhjus on raskustungi mitmesuguses tugewuses.

Nagu füüsikast teada, on penduli täis wõnkumisaeg

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

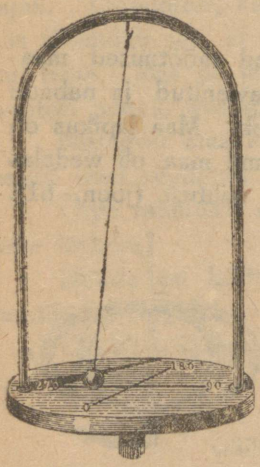
kus l penduli pikkus, g — raskustungi kiirendus.

Kui raskustung suurem on ja järjelikult ka g, siis on t wähem.

Ümberpöördult, g wähenemisega suureneb t, — kell hakkab maha jääma, nagu Richer'l Kaiennis.

Ekwaatoril on g alati wäiksem, sest seal on kesktõuke tungi mõju kõige suurem. Raskustungi wähenemist ekwaatoril wõib tundliku wedrukaalu ja penduli abil ilmutada.

Paneme ühe ja sama penduli mitmesugustes maapinna kohtades wõnkuma. Temä wõnkumise ajast neis katsetes wõib järeldusi teha raskustungi muutumise ja ka maa kuju ja pöörlemise kohta.



Joon. 62.

Foucault' pendul. Pendul wõib maa pöörlemist ka weel teistwiisi näidata.

Iga waba penduli wõnkumistasapind on jäädaw.

Seda omadust on järgmise katse abil kerge näidata. Wõtame raami külge kinnitud penduli (joon. 62), laseme tema teatud sihis wõnkuma ja hakkame siis raami ühes alusega pöörama, siis on otsekohe näha, et pendul sellest liikumisest osa ei wõta, waid kõik aeg endises sihis wõngub, niidi keerdumise peale waatamata.

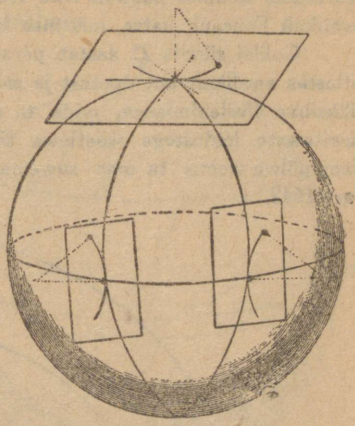
Kui aga wõtta pendul, mis kaua wõib wõnkuda — näituseks kõrge maja lakke kinnitud raske kuul pika nööri otsas — siis näeme, et tema wõnkumiste tasapind korrapäraselt ja järkjärgult läände pöördub. See pöördumine ilmub maa läänest idasse pööramise kajastusena.

Kõige suurem on penduli pöördumine nabadel, kus waatepiiri tasapind pöörlemisteljele perpendikulaarne. Täie pöörangu oma telje ümber teeb maa 24 tunniga. Järjelikult peab näima, et pendli wõnkumistasapind 1 tunnis 15^0 kõrwale pöördub, sest maa keerlemise tagajärjel nihkub see põrand, millel pendul wõngub, ja kõik asjad sel põrandal 15^0 tunnis wertikaalse telje ümber, kuna penduli wõnkumise tasapind ruumis muutumata jääb (joon. 63). Ekwaatoril on aga horisontaalne tasapind maa pöörlemisteljele paralleelne. Ütleme näituseks, meie pendul hakkas meridiaani tasapinnas wõnkuma. Igal järgnewal silmapilgul wõngub tema sama meridiaani tasapinnas ja mingit penduli wõnkumise tasapinna pöördumist ümbritsewate asjade suhtes ei sünni. Niiwiisi on geograafiline laiusel $= 90^0$ pendult halwe 15^0 tunnis, laiusel $= 0^0$ on halwe 0^0. Üldjuhusel on halwe $15^0 \sin\varphi$, kui koha laiust märkida φ-ga.

Mehaanikas tõendakse, et kahte pöörliikumist wõib ühendada üheks ainsaks, ja wastupidi, ühte pöörliikumist wõib lahutada kaheks kokkuliidetud pöörliikumiseks, näituseks wertikaalseks ja horisontaalseks.

Olgu meil näituseks pöörlemine telje AB ümber.

Mõõdame selle teljele nõndanimetud nurk-kiiruse ω, s. t. kaare pikkuse, mille teeb sekundis punkt, mis teljest ühe üksuse kaugusel. Lahutame selle nurk-kiiruse horisontaalseks ja wertikaalseks osakiirusteks, teiste sõnadega, kujutame pöörlemist telje AB ümber kahe pöörlemisega: telje AG ümber kiirusega $\omega\cos\varphi$ ja telje AD ümber $\omega\sin\varphi$, nagu täisnurksest kolmnurgast ABD järgneb (joon. 64).

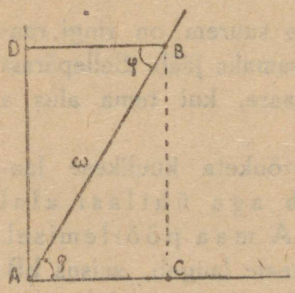


Joon. 63.

Esimene pöörlemine ei mõju penduli wõnkumistasapinna seisusse, sest konks, mille otsas pendul ripub, ei saa põrandale läheneda. Jääb järele ainult pöörlemine wertikaalse telje ümber kiirusega $\omega\mathrm{Sin}\varphi$.

Ekwaatoril olewale waatlejale langeb maa pöörlemistelg waatepiiri tasapinnaga kokku, s. t. $\varphi = 0$, ja järjelikult pöörlemise nurk-kiirus $= 0$. Penduli wõnkumistasapind ei nihku ümbritsewate asjade suhtes üleüldse mitte.

Poolusel on $\varphi = 90^0$, wertikaalse telje ümber pöörlemise nurk-kiirus $= \omega$, penduli wõnkumistasapind näib oma seisu ümbritsewate asjade suhtes muutma, selle juures teeb ta täie ringi, nagu maagi, 24 tunniga, 1 tunniga 15^0.



Joon. 64.

Üldjuhusel, kui waatlemiskoha laius on φ, näib penduli wõnkumistasapind 1 tunnis $15^0\mathrm{Sin}\varphi$ kõrwale pöörduma.

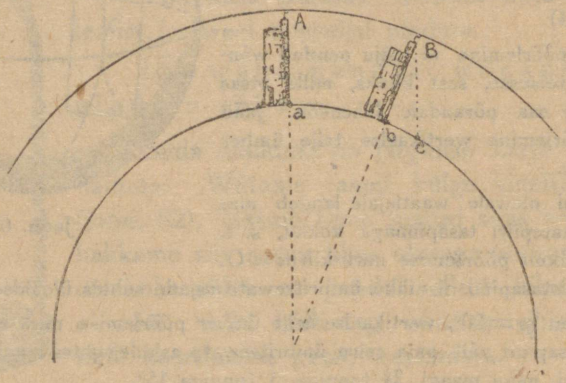
Prantsuse õpetlane Foucault tegi hulga pealtwaatajate ees Pariisi Panteonis 1851. a. esimesena niisuguse katse. Pariisi geograafiline laius on $48^0 50'$. Sellepärast peab penduli wõnkumistasapinna nähtaw pöördumine $11^0,3$ tunnis olema. Nii näitaski Foucault suure hoolsusega tehtud katse.

Pärast korrati katset paljudes teistes maakohtades ja alati olid resultaadid teooriaga täielises kokkukõlas, nagu järgmisest tabelist näha:

Waatlemiskoht	laius	pendli wõnk. arwatud	tasap. hälwe. waadeld.
Dublin	$53^0,4$	$12^0,04$	$11^0,90$
Köln	$50^0,9$	$11^0,65$	$11^0,64$
Genf	$46^0,2$	$10^0,83$	$10^0,18$
Room	$41^0,9$	$10^0,02$	$9^0,90$
New-Jork	$40^0,7$	$9^0,78$	$9^0,73$
Ceilon	$6^0,9$	$1^0,81$	$1^0,87$
Rio-de-Janeiro . . .	$-22^0,9$	$5^0,84$	$5^0,17$

1633. a. mõistis püha Rooma inkwisitsioon kuulsa täheteadlase, wana Galilei üle kohut ja nõudis, et tema pattu kahetsedes loobuks Kopernikuse ketserlikust õpetusest, kes wäitis, et maakera telje ümber keerleb. Ligi kakssada aastat hiljem teeb aga samas Roomas paawsti truu teener, munk-jesuiit Secchi, Püha Ignaatsiuse kirikus awalikult Foucault katse, mis maa keerlemist näitlikult tõendab.

Galilei sündis 21 aastat pärast Kopernikuse surma, s. t. 1564. aastal. Tema jutlustas awalikult uut õpetust ja sai kuulsaks oma uurimistega kehade langemise üle, pikksilma ülesleidmisega, mida ta esimesena märkas taewasse juhtida, ja terwe rea huwitawate leidustega waatlewa täheteaduse alalt. Oma wiimsed elupäewad pärast wangipõlwe weetis ta oma suwemajas Arcetris Florentsi lähidal koduse aresti all. Suri 1642. a.



Joon. 65.

Langewi kehade hälwe ida poole. Mida suurem on ringi raadius, seda pikem on kaar, kuigi kraadide arw samaks jääb. Sellepärast teeb torni tipp A maa pöörlemisel suurema kaare, kui tema alus a (joon. 65).

Laseme punktist A ettewaatlikult, ilma tõuketa kuulikese langema. Tema langeb raskuse mõjul alla, hoiab aga ühtlasi alal relatiiwse liikumise, mis on punktil A maa pöörlemisel.

Olgu torn sel silmapilgul, kui kuul maa peale langeb, seisus bB. Tema alus a nihkub punkti b. Kuul aga läheb relatiiwses liikumises kaare AB ja langeb järjelikult punkti c, mis on torni alusest ida pool.

Niisuguseid katseid tehti mitu korda. Mitmesugused kõrwalpõhjused, nagu küljepealne tõuge, tuul j. t. wõiwad kuuli korralikku langemist segada. Üldiselt aga märgatakse nende katsete juures alati langewa keha hälwet ida poole, mis näitab, et maa läänest idasse pöördub.

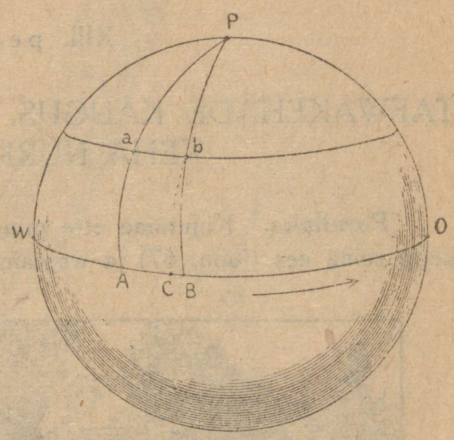
Passaadid. Õhukogud, soenedes ekwaatoril, tõusewad üles ja walguwad põhja ja lõuna poole laiali. Nende asemele tungiwad põhjast ja lõunast külmemad õhu hulgad. Nad ei lähe aga meridiaane mööda, waid sihtipidi, mis meridiaanidele wähe kallak.

Tõepoolest, osakene a, liikudes mingist põhjapoolsest paralleelist (joon. 66) ekwaatorile, kantakse maa pöörlemisest selle kiirusega, mis maal sellel paralleelil oli; see kiirus on aga wähem, kui ekwaatoril, sest paralleeli raadius on ekwaatori raadiusest wähem.

Nihkugu punkt A punkti B selle ajaga, mil osakene a ekwaatorini jõuab.

Maa pöörlemise relatiiwses liikumises läheb osakene a selle ajaga tee AC = ab. Waatlejale punktis A näib, et õhk tema juure kirdest tuleb. See on enam-wähem alatine tuul, nõndanimetud k i r d e - p a s s a a t, mille siht selgesti näitab maa pöörlemist läänest idasse.

Samuti tekib ekwaatorist lõuna pool õhuwool kagust — nõndanimetud k a g u - p a s s a a t.



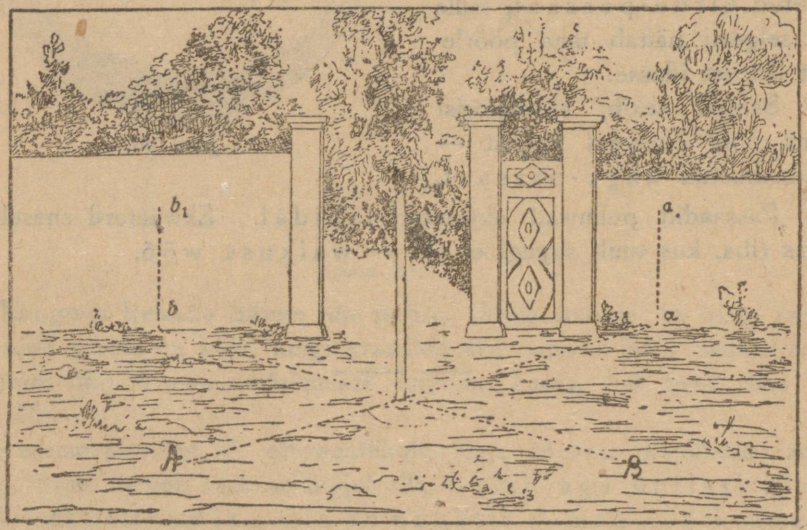
Joon. 66.

Passaadid puhuwad ekwaatori l ä h i d a l. Ekwaatoril enesel on kitsas riba, kus tuult sugugi ei ole — w a i k u s e w ö ö.

XIII. peatükk.

TAEWAKEHADE KAUGUS. PARALLAKS. TAEWAKEHA NURK-RAADIUS.

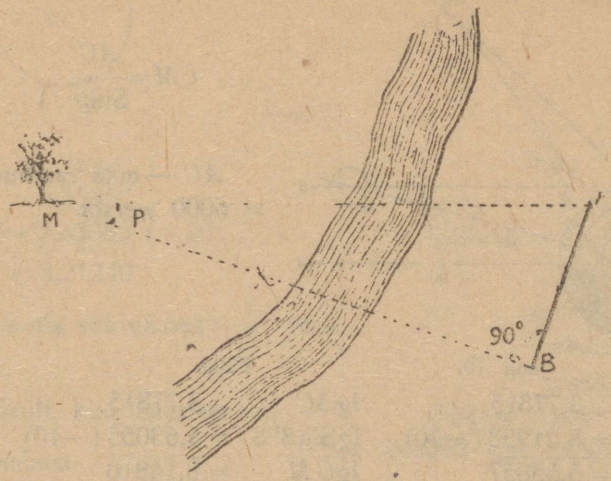
Parallaks. Kujutame ette mingisuguse asja, olgu wõi näituseks kepp seina ees (joon. 67) ja waatame teda, seisatades enne punktis A,



Joon. 67.

siis punktis B. Esimesel juhtumisel näib meile kepp wärawast kaugel paremal pool (aa1), teisel — pahemal pool (bb1). Nurk, mille wõrra lühikene asi waatekoha muutmisel nihkuma näib, nimetakse *parallaksiks*. Mida lähemal on asi, seda suurem on parallaktiline nihkumine. Nõnda iseloomustab asja parallaks tema kaugust. Parallaksi mõõtes wõime asja kauguse isegi siis teada saada, kui ta meile kättesaamatu on. Olgu lihtsuse pärast siht MB perpendikulaarne AB-le (joon. 68). Siis, mõõtes otsekoheselt AB-d ja nurke A, saame teada nurga M = p ja kauguse MB = AB ctg P, ehk kauguse AM = AB cosec P. Samuti on ka taewakehaga. Tema kauguse meilt wõime

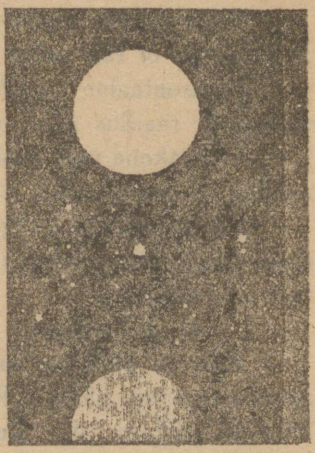
wälja arwata, mõõtes, kuipalju ta nihkuma näib, kui waatekoht maal muutub, ehk weel parem kui mõõdame, kuipalju lähewad lahku taewa-



Joon. 68.

keha seisud ühel ja samal silmapilgul kahel isemaakohas asuwal waatlejal.

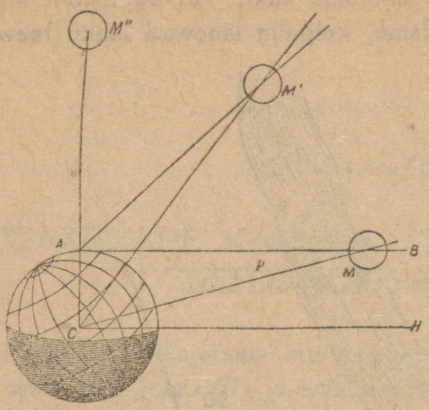
Joonistusel 69 on antud kuuseis ümbritsewate tähtede keskel ühel ja samal silmapilgul Berliinis (alumine ketas) ja Kaplinnas (ülemine ketas). Nihkumine on suur — umbes kolm kuu läbimõõtu.



Joon. 69.

Harilikult mõeldakse parallaksi all nurka sihtide wahel: waatlejast täheni ja maa keskkohast täheni. Joon. 70 näeme, et see nurk oleneb taewakeha kõrgusest waatleja horisondil. Kui täht seniidis on (M''), ei ole mingit parallaksi. Mida suurem on kaugus seniidilt, seda suurem on parallaks (M'), ja kui taewakeha on waatepiiril wiibiw, tuleb parallaks kõige suuremaks. See on taewakeha nõndanimetud horisontaalne parallaks. Wõib öelda, et taewakeha horisontaalne parallaks on kõige suurem nurk, mille all taewakehalt maa raadius näha oleks.

Kuu ja päikese kaugus. Leiti, et kuu horisontaalne parallaks on 57', päikese oma on palju wähem, ainult 8''8.



Kolmnurgast AMC (joon. 70) saame:

$$CM = \frac{AC}{\mathrm{Sin}p}$$

AC — maa raadius = 6000 wersta.

Joon. 70.

Kuu		Päike	
$-\lg AC$	$= 3{,}77815$	$\lg AC$	$= 3{,}77815$
$\lg \mathrm{Sin}57' = 8{,}21958\ (-10)$		$\lg \mathrm{Sin}8''8 = 5{,}63055\ (-10)$	
$\lg CM$	$= 5{,}55857$	$\lg CM$	$= 8{,}14810$
CM	$= 361900$ wersta.	CM	$= 140640000$

ehk lihtsalt

60 maa raadiust **Umbes 140 milj. wersta**

(joon. 70).



Joon. 71.

Taewakeha nurk-raadius. Taewakeha horisontaalse parallaksiga ei tule mitte ära wahetada tema nurk-raadiust.

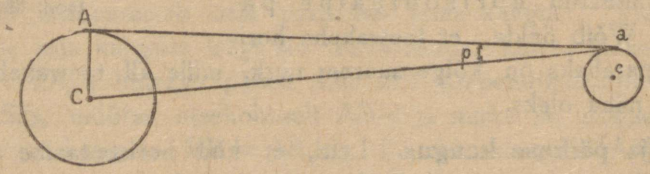
Horisontaalne parallaks on nurk, mille all taewakehalt on maa raadius näha, s. t. nurk $\angle AaC = p$ (joon. 70).

Taewakeha nurk-raadius on nurk, mille all taewakeha raadius on maalt näha, s. t. nurk $\angle aAc = \rho$.

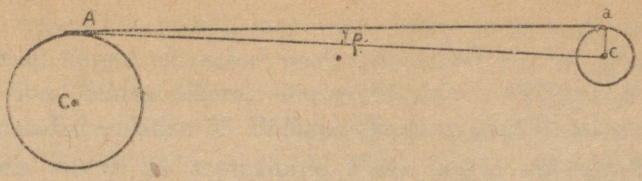
Kui taewakeha kaugust teame, siis wõime tema nurk-raadiuse järele joon-raadiuse wälja arwata, s. t. tema tõelise suuruse ära määrata.

$\triangle$-st Aac saame $ac = Ac\mathrm{Sin}\rho$.

Kuu ja päikese suurus. — Kuu ja päike on ligikaudselt ühe ja sama nurga all näha. Kuu keskmiseks nurk-raadiuseks wõime wõtta 15'5 ja päikese 16'. Kuu kaugus maalt on, nagu praegu just leidsime, 361900 wersta, päikese kaugus aga 140640000 wersta. Sellepärast saame:



Joon. 72.



Joon. 73.

Kuu

$\lg Ac = 5{,}55857$

$\lg \text{Sin}\ 15'5 = 7{,}65383\ (-10)$

$\lg ac = 3{,}21240$

$ac = 1651$ wersta ehk umbes $= \frac{3}{11}$ maa raadiust,

järjelikult, kuu maht umbes $= \frac{1}{50}$ maa mahust.

Päike

$\lg Ac = 8{,}14810$

$\lg \text{Sin}\ 16' = 7{,}66784\ (-10)$

$\lg ac = 5{,}81594$

$ac = 654540$ wersta umbes 109 maa raadiust.

Päikese maht umbes = 130000 maa mahtu.

Niiwiisi on kuu maaga wõrreldes wäikene keha, päike aga — wäga suur.

XIV. peatükk.

MAA LIIKUMINE ÜMBER PÄIKESE.

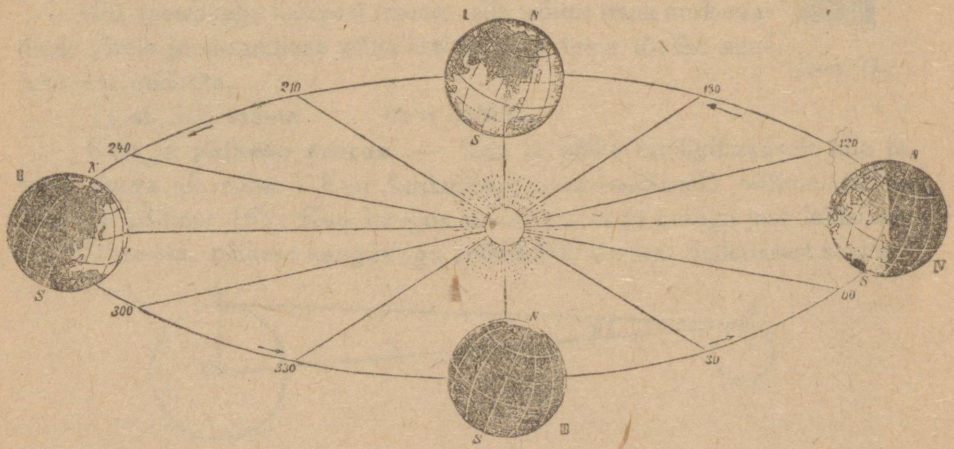
Päikese nähtaw liikumine ekliptikat mööda on niisama kui taewawõlvi ööpäewne nähtaw pöörduminegi näiw ilmuwus.

Kopernikusel oli julgust põlisest eelarwamisest loobuda; ta sai aru, et mitte maa pole keskkohaks, mille ümber kõik taewakehad liiguwad, waid ümberpöördult, tema ise ühes teiste planeetidega liigub päikese ümber keereldes samal ajal ümber oma telje.

Päikese nähtaw liikumine on maa liikumise wastukujutuseks. Meie näeme päikest sellepärast teises sihis, et maa ise edasi on nihkund.

Tasapind, millele maa keskkoht oma liikumises päikese ümber jääb, on ekliptika tasapind. Maa pöörlemistelg jääb ekliptikale alati ühe ja sama nurga $66^1/_2{}^0$ kallakuks.

Aastaajad. Kui maa on I-ses seisus, siis langevad päikese kiired ühemõõduliselt mõlemale poolkerale. Päike näib ekwaatoril olema, päew on igalpool maakeral ööga ühepikkune. See on meie kewade algus—21. märts (joon 74).



Joon. 74.

II-ses seisus (22. juunil), langewad päikese kiired enam põhjapoolkerale, päike on kõrgel ekwaatori peal, põhjapoolkeral on pikad päewad, lühikesed ööd, lõunapoolkeral—ümberpöördult. Põhjanabal on alatine päew, lõunanabal—alatine öö. Põhjapoolkeral on suwi, lõunapoolkeral talw.

III seis wastab 24. septembrile. Päike on jälle ekwaatoril, päew on jälle ööga ühepikkune, päike läheb aga põhjapoolkerast lõunasse—on meie sügis.

IV seis (23 detsembril)—põhjapoolkeral on talw. Päikese kiired langewad suuremalt jaolt lõunapoolkerale. Päike on madalal ekwaatori all. Põhjapoolkeral on lühikesed päewad, pikad ööd. Põhjanabal—alatine pilkanepime öö.

Maawööd. Nii lihtsalt ja näitlikult seletab Kopernikuse joonistus päikese nähtawa liikumise ja meie aastaajad. Kerge on tema järele ka maapinna wiieks wööks jagunemist seletada.

P ö ö r i j o o n e d, s. t. ringid, millede kaugus nabadelt $23^1/_2{}^0$, ehk ekwaatorilt $66^1/_2{}^0$, piirawad neid maakohte, kus öö wõib päewast pikem olla. Poolustel enestel on öö ja päew poole aasta pikkused*). 70^0 laiusel on alatine öö 48 ööpäewa, 80^0—118 ööpäewa.

Pöörijoonte sees langewad päikese kiired suwelgi wäga wiltu. Nad soojendawad maapinda nõrgasti, lumekate läheb ainult osalt ära, nabade ümber on suures ulatuses igawene lumi. Need on nõnda nimetud k ü l m w ö ö d.

Wööd, mis ulatab $23^1/_2{}^0$ kummalegi poole ekwaatori, nimetakse p a l a w w ö ö k s. Siin on päike alati kõrgel ja igal kohal on ta kaks korda aastas seniidis. Palawwööd piirawad paralleel-ringid nimetakse t r o o p i k u t e k s: põhjapoolne — Wähja troopikuks, lõunapoolne — Kaljukitse troopikuks. Nimetused on muidugi laenatud neilt tähtkujudelt, kus päike ennewanast neil päiwil wiibis, milledel tema troopikutel olewais kohtades seniidis paistab.

Maapinna osad, mis on palawwöö ja kummagi külmwöö wahel, nimetakse p a r a s w ö ö e k s. Neis ei ole päike kunagi seniidis ja wajub talwel õige madalale, talw on nii külm, et maa pea igalpool lumega kattub.

Maa orbiit. Maa liikumine päikese ümber ei ole wõrdmõõtne. Talwel näib päike ööpäewaga suurema kaare edasi nihkuma, kui suwel. Samal ajal muutub ka tema nurk-läbimõõt. Detsembri lõpul paistab meile päike kettana, mille labimõõt on 31'32″, juuni lõpul aga on tema nähtaw läbimõõt 31'26″.

Need nähtused seletuwad sellega, et maa o r b i i t, s. t. tema rada ruumis, pole mitte ring, waid ellips, mille ühes fookuses on päike. Selle

ellipsi lapikus on wäike, ta läheb wäga wähe ringist lahku*), ometi tundub wahe kauguste wahel maalt päikeseni. Detsembri lõpul läheb maa päikesele kõige lähemal olewast punktist, n. n. p e r i h e e l i s t **) läbi, päikese nähtawad nurk-nihkumised on siis kõige suuremad ja päikese läbimõõt n ä i b meile suurema nurga all. Juuni lõpul on maa päikeselt kõige kaugemal—a f e e l i s ,***) päikese nähtawad nihkumised on wäiksemad, wäiksem on ka tema nurk-läbimõõt, sest mida kaugemal asi on, seda wäiksem ta näib.

Imelik, et m e i l detsembris, kui päikesel kõige lähemal oleme, on talw. Nagu nägime, on see tingitud sellest, et sel ajal päikesekiired meile põhjapoolkerale w i l t u langewad.

Ülesanne. Joonistuse järele (mis sarnane 48-le joonist.) selgitada taewa p ö ö r i j o o n t e wahekorda maa pöörijoontega.

---

*) Isegi siis, joonistada maa orbiit õige suurelt, ei märka meie silm tema lahkuminekut ringjoonest.

**) περί—ümber, lähidal; ἥλιος—päike.

***) ἀπό—kaugel; ἥλιος—päike.

XV. peatükk.

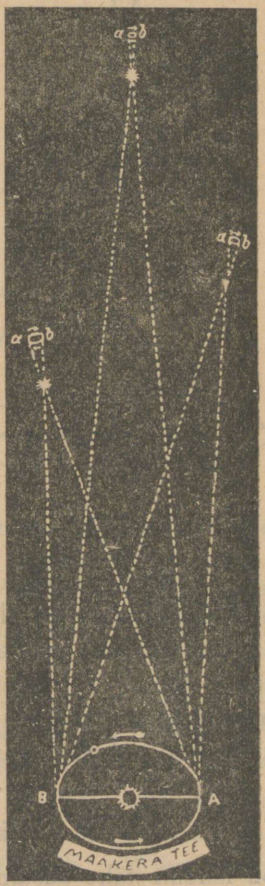
TÔENDUSED MAA LIIKUMISELE ÜMBER PÄIKESE: TÄHTEDE AASTAPARALLAKS, WALGUSE ABERRATSIOON.

Tähtede aastaparallaks. Kui maa ruumis mitte liikumata paigal ei püsi, waid päikese ümber aasta jooksul ringi teeb, mille raadius on 140 milj. wersta, siis on loomulik oodata, et iga tähtki aasta jooksul parallaktiliselt nihkub, tehes ka ringi oma keskmise seisu ümber, nagu joonistus 89 seletab. Selle juures peab tähe nihkumine seda suurem olema, mida ta meile on lähedamal.

Täheteadlased aga ei saanud kaua aega sarnast tähtede nihkumist ilmsiks teha, ja see asjaolu oli peawastuwäiteks Kopernikuse ôpetusele. Kui maa päikese ümber liigub, tähed aga parallaktilist nihkumist **ei näita,** siis peame oletama, et nad on meist wäga suures kauguses, millega wôrreldes maa orbiidi 280 milj. werstane läbimôôt on môôtmatu-wäike. Niisugust oletust tähtede kauguse kohta ei tahetud teha. Kopernikuse ôpetus andis uue seletuse maailma ehitusele ja laiendas ühtlasi tema piirid lôpmatuseni.

Alles XIX aastasaja keskpaiku läks Struwel Tartus ja Besselil Königsbergis korda üksikute tähtede parallaktilist nihkumist täiesti kindlaks teha, — esimesel Alfa Lüüras, teisel — 61-se Luiges nihkumist.

F. W. Bessel oli W. Struwe kuulus kaasaeglane. Tal olid silmapaistwa teoreetiku ja osawa, põhjaliku praktiku haruldased waimuanded, ta andis täpipealiste waatlemiste tarwis uued walidad metoodid. Tähelepanemiswäärt on, et Bessel oma eriharidust mitte koolis ei saanud, waid ise ôppis kôik, mis tal tarwis oli.

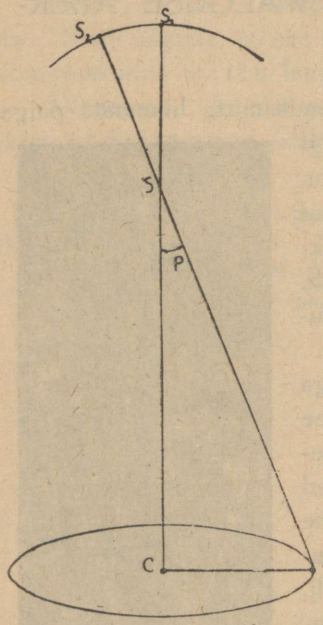


Joon. 75.
Tähtede näiwad nihkumised maakera liikumise tagajärjel.

Poisikesena astus ta Breemeni kaubamajasse ja et kaubamajal mere kaudu laialdane läbikäimine oli, otsustas tema laewajuhtimisega tutwuneda, sai täheteadusest waimustud ja hakkas selle kallal eriliselt tööd tegema. Bessel sündis 1784 a., suri 1846. a.

Pärast leiti üles ka mônede teiste tähtede parallaktilised nihkumised.

Nôndanimetud aastaparallaks, ehk nurk, mille all tähelt maa orbiidi raadius näha (joon. 76), on, nagu selgub, ühest kaarsekundist alati wäiksem. Kôige suurem parallaks on alfal Kentauris — 0.″75.



Joon. 76.

Teades tähe aastaparallaksi, leiame tema kauguse.

$$SA = \frac{AC}{\mathrm{Sin}p}.$$

Alfale Kentauris:

$\lg AC = \lg\ 140.000.000 = 8{,}14613$
$\lg \mathrm{Sin}p = \lg \mathrm{Sin}\ 0'',75 = 4{,}56063\ (-10).$

$\lg SA = \quad = 13{,}58550$

s. t. $SA = 38.500.000.000.000$ wersta.

See arw on nii suur, et teda on raske isegi ette kujutada. Tuletame meele, et walgus ühes sekundis 280.000 wersta edasi läheb. Arwame wälja, kui kaua tuleb walgus alfalt Kentauris; selgub üle 4 aasta. Niikaugel on kôige lähem täht. Teised tähed on weelgi kaugemal. Nendelt tuleb walgus meie juure 10, 50, 100, 150 ja enam aastaid.

Tuleb wahet teha tähtede aastaparallaksi ja päikese, kuu ning planeetide horisontaalse parallaksi wahel. Wiimases on meil taewakeha nurk-nihkumine, kui waatleja **maakera** raadiuse wôrra, s. t. 6000 wersta edasi läheb. Tähe aastaparallaks on tähe nurk-nihkumine, kui waatleja **maa orbiidi** raadiuse wôrra, s. t. 140000000 wersta edasi liigub. Ja kuna horisontaalne parallaks on

kuul = 57′ (nihkumine 6000 wersta)
päikesel = 8″,8

on lähema tähe aastaparallaks

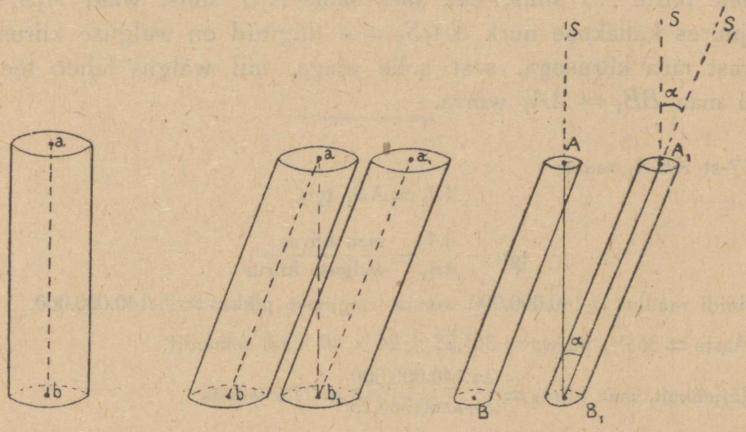
0″,75 (nihkumine 140.000.000 wersta)

See wôrdlemine näitab, kui palju tähed kuust ja isegi päikesest on kaugemal.

Tähtede aastaparallaksi olemasolu on Kopernikuse ôppele näitlikuks ja wastuwaidlematuks tôenduseks.

Walguse aberratsioon. Täheteadlane Bradley, tahtes teada saada tähe γ Draakonis aastaparallaksi, môôtis 1726 a. tema seisu; ta leidis, et täht tôepoolest nihkub, tehes aastaga wäikese ellipsi taewawôlwil, aga nihkumised seda ellipsit mööda ei olnud niisugused, nagu nad parallaktilise nihkumise juures oleksid pidanud olema.

Püüdes seletust leida waadeldud nähtusele, sai Bradley aru, et see on näiw, tingitud samuti maa liikumisest ümber päikese ja wôimalik ainult sellepärast, et walguse kiirus



Joon. 77.

pole lôpmatu suur, wôrreldes maa kiirusega tema liikumises ümber päikese. Ta nimetas selle nähtuse walguse aberratsiooniks. Walguse aberratsioon on, nagu aastaparallakski wastuwaidlematuks tôenduseks maa liikumisele ümber päikese (järjelikult, Kopernikuse ôppe tôepärasusele).

Midagi sellesarnast wôime meie oma igapäewases elus tähele panna. Ütleme, meie oleme wihma käes, mille piisad wertikaalselt alla langewad, ometi, kui meie käime, tuleb meil wihmawarju ettepoole hoida ja seda rohkem kallakile, mida kiiremini meie läheme. Mida kiiremini inimene edasi liigub, seda rohkem kallakile näiwad temale wihmajoad, nagu joon. 92 näitlikult illustrib. Wihmajugade näiwat hälwet wôib raudtee wagunist hästi waadelda. Kui rong jaamas seisab, sajawad sooja, suwise wihma joad ilma tuuleta wertikaal-

selt. Kui aga rong liikuma hakkab, näeme — et joad wiltu langewad ja rongi liikumisele tingimata wastu tulewad.

Kujutame ette wertikaalse toru (joon. 77) ja taseme temasse just keskkohalt palli. Kui toru liikumata paigal seisab, langeb pall toru aluse keskkohta b. Nihkugu toru, jäädes wertikaalseks. Pea, muidugi, puutub pall toru seinaga kokku ja weereb juba seda mööda aluse äärele. Et pall kõigeks ajaks toru teljele jääks ja langedes just aluse keskkohta kukuks, peame toru enam ehk wähem kallakile panema, et punkt b nihkuks punkti b_1 sama ajaga, mil pall a-st b_1-ni langeb.

Samuti on ka tähest S tulewa walguse kiirega. Et maa liigub, peame pikksilma maa liikumise sihis wähe kallakile panema ja tähte ei näe meie mitte AS sihis, ehk mis sama A_1S sihis, waid A_1S_1 sihis, mille juures kallakuse nurk $SA_1S_1 = \alpha$ tingitud on walguse kiiruse wahekorrast maa kiirusega, sest selle ajaga, mil walgus läheb tee AB_1, nihkub maa $BB_1 = AA_1$ wõrra.

$\triangledown$-st AB_1A_1 saame

$$AA_1 = AB_1 \operatorname{tg}\alpha,$$

nii et

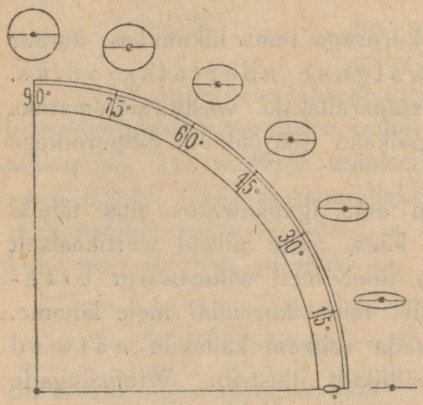
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{AA_1}{AB_1} = \frac{\text{maa kiirus}}{\text{walguse kiirus}}$$

Maa orbiidi raadius = 140.000.000 wersta, ringjoone pikkus = 2π140.000.000.

Aasta = $365^1/_4$ päewa = $365{,}25 \times 24 \times 60 \times 60$ sekundit.

Järjelikult, maa kiirus = $\frac{2\pi.140.000.000}{24.60.60.365{,}25} = 27{,}8$ wersta.

Walguse kiirus = 280.000 wersta.



Joon. 78.

Järjelikult,

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{27{,}8}{280000}$$

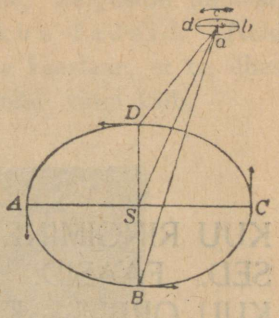
$$\lg\operatorname{tg}\alpha = 5{,}99688\ (-10)$$

$$\alpha = 20'',48.$$

Niisuguse raadiusega ringi teeb aastas ekliptika pooluses olew täht. Üldjuhusel teeb täht walguse aberratsiooni mõjul aastas mitte ringi, waid ellipsi, seda kitsama, mida ligemal on täht ekliptikale, ekliptika tasapinnas olewale tähele muutub ellips sirgjooneks, nagu joonistus 78 näitab.

Niisuguseid ellipseid teewad tähed ka parallaksi tagajärjel. Need ellipsid on ainult palju wäiksemad, ja parallaksi mõju jõuab maksimumini ja minimumini mitte neil momentidel kui aberratsiooni juures.

Walguse aberratsiooni ja aastaparallaksi mõjude lahkuminekut näitab joon. 79. Aberratsiooni mõjul nihkub täht punkti *d*, siis kui maa on punktis *D* (tähe nihkumine maa liikumise sihis) ja punktis *b*, kui maa on *B*-s. Parallaksi mõjul peab tähe nihkumine neil juhtumistel olema *a* poole (punktist *D*) ja *c* poole (punktist *B*).



Joon 79.

Ümberpöördult, kui maa on *A*-s ja *C*-s, nihkub täht aberratsiooni mõjul *a*-sse ja *c*-sse, parallaksi mõju aga nihutab teda *b* poole (punktist *A*) ja *d* poole (punktist *C*).

Ülesanne. — Määrata, kui kaua aega tuleb meie juure walgus tähelt 61-ne Luiges, mille parallaks = 0″,4 ja Kapellalt (alfa Weomehes), mille parallaks = 0″,11.

XVI. peatükk.

KUU RINGIMINE ÜMBER MAA. TÄHTEDE KATTUMISED. FAASID. SIDEERILINE JA SÜNOODILINE KUU. KUU ORBIIT. KUU PÖÖRLEMINE JA LIBRATSIOON.

Kuu omaliikumine. Ütleme, täna märkasite teie kuud Kaksikute tähtkujus wähe paremalpool Kastori ja Polluksi. Homme on ta neist tähist juba pahemalpool, ta nihkub tuntawalt edasi ja tuleb Wähja tähtkujusse.

Kuu liikumine tähtede keskel on nii suur, et teda ühe ainsa õhtuga kergesti märgata wõib. Taewawõlwi ööpäewasele pöördumisele alistudes, tõuseb kuu, nagu iga tähtki, taewa idaserwas, kerkib kõige kõrgemale meridiaanil ja wajub siis lääne poole. Selles ööpäewases liikumises jääb aga kuu tähest maha, sest et temal peale ööpäewase nähtawa liikumise on weel omaliikumine tähtede keskel läänest idasse. Ringi ümber maa teeb ta ühe kuuga, ehk täpimalt $27^1/_2$ päewaga, ööpäewa jooksul liigub tema, järjelikult, 13^0 edasi, õhtu jooksul, 5 – 6 tunniga, läheb ta umbes 3^0, s. t. 6 oma ketta läbimõõtu. Seda nihkumist wõib igaüks märgata.

Tähtede kattumine. Tähtede keskel läänest ida poole liikudes, läheneb kuu kord ühele, kord teisele tähele. Mõnikord wõib isegi näha, kuidas kuu selles liikumises oma kehaga tähti kinni katab, ära warjab (joon. 80). Täht kaob kuu idapoolsel äärel ja ilmub läänepoolsel. On selge, et kuu liigub, ja meile lähemal on kui tähed.

Parallaksi mõjul näib kuu tähe suhtes ise maakohtades ühel ja samal momendil ise seisudes. Ühele waatlejale puudutab kuu oma liikumises waewalt tähte, teda alumise äärega riiwates, teisele kaob täht kuu ketta taha tunniks $1^1/_2$-ks, nagu läheks ta kuu taga pikka pingjoont ehk läbimõõtjat mööda, kolmandale waatlejale on täht kuu kettast palju kõrgemal (joon 81 a ja b).

Tähtede kattumised on, järjelikult, parallaktilised nähtused, s. t. sünniwad isemaakohtades isemoodi, parallaksi mõjust olenedes. Neid on wäga huwitaw waadelda ja nad on ka wäga tähtsad, nii hästi kuu liikumise teoorias, kui ka tema füüsilise ehituse selgitamises.

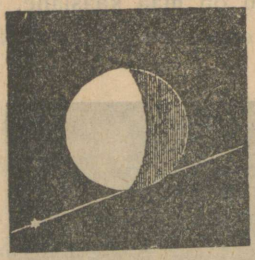
Kuu faasid. Igaühele puutub silma, et kuu kuju on iseaegadel isesugune: kord sirbikujuline, kord kettakujuline, walgustud pooleni, kolmweerandini jne. Need on nôndanimetud k u u f a a s i d. Neid on kerge selle asjaoluga seletada, et kuu on maa kaaslane, et ta, ühes maaga päikese ümber ringides, ka maa enese ümber ringi käib.



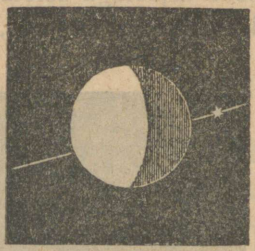
Joon. 80. Kuu liigub täherikkas taewa osas. Pahemal pool on tähed kuu serwa juures näha, paremal pool on tühjus, mis pole muud kui pimeda, walgustamatu kuu ketta osa.

Kui kuu on maa ja päikese wahel, siis on maa poole pöördud tema tume pool, meie ei näe kuud (joon. 82 seis 1). See on nôndanimetud noorkuu. Järgmisel päewal ilmub juba kitsas kuu sirp; seis 2. Pange tähele, et n o o r k u u alati läänetaewas pea pärast päikese loojaminekut ilmub. Kuu on päikesest pahemalpool. See pinna osa, mis maa poole on pöördud, on nüüd paremaltpoolt, s. t. päikese poolt, wähe walgustud. Kuu ilmub meile kitsa sirbina.

Kui kuu weerandi oma ringist maa ümber ära käib, näeme meie walgustatuna ketta parema poole. Seda faasi nimet. e s i m e s e k s weerandiks (täpimalt — see on esimese weerandi lôpp); — seis 3.

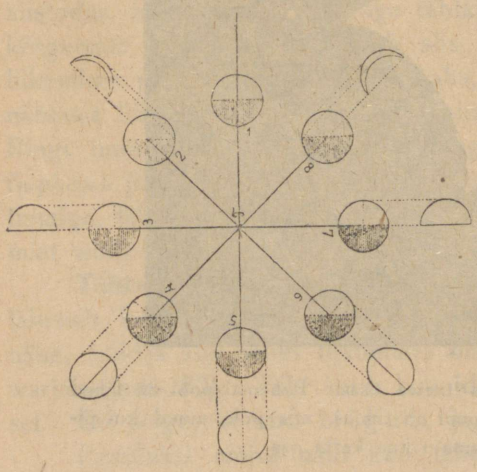


Joon. 81a.



Joon. 81b.

Sel määral, kui kuu edasi liigub, saab tema kettast ikka suurem osa walgustatuks; — seis 4. Kui kuu on päikesele wastuolewal poolel, siis paistab ta meile täie kettana. See on nôndanimetud t ä i s k u u; — seis 5.



Joon. 82.

Pärast seda jääb osa kettast uuesti warju. Wari kaswab paremalt poolt, walgustatuks jääb ketta pahempool, s. t. see pool, mis nüüd päikese poole on pöördud; — seis 6. Kui kuu $^3/_4$ oma ringist maa ümber ära käib, paistab ta meile jälle pooleni walgustud kettana, nüüd on ainult pahempool walge; — seis 7. See on k o l m a s w e e r a n d, ehk wiimase weerandi algus. Lähenedes päikesele, kahaneb kuu ikka rohkem ja rohkem, paistab ikka kitsama ja kitsama sirbina, mida näha wôib hilja ööl ehk isegi wara hommikul just enne päikese tôusu.

Kui ring maa ümber lôpeb, hakkab peale uus faaside tsükl.

Faaside nähtust wôib lihtsa katse abil selgitada, nagu joon. 83 näitab. Wôtame palli ehk gloobuse, kleebime teda walge paberiga ja waatame, kuidas asetub wari, kui panna kera mitmesugusesse seisu meie ja kuplita pôlewa lambi suhtes.

Tuhkwalgus. Päewa 2—4 enne ja pärast noortkuud, kui weel ôige kitsas on kuu sirp, wôib ka teist osa kuu kettast näha, mis on ainult palju nôrgemini walgustud, kui hele sirp, tema wärw on ôrn-hall. See on nôndanimetud kuu tuhkwalgus (joon. 84).

Suur kunstnik Leonardo da-Vinci sai selle näituse pôhjusest aru.

Maa on, nagu kuugi, tume keha, kuid päikesest walgustatuna paiskab ta päikese kiiri ilmaruumi. Need lähewad kuuni ja pôrkawad sealt uuesti meie juure. Et aga need kiired on reflektitud maapinnalt, aga ei tule otse päikeselt, siis walgustawad nad kuu pinda nôrgemini.



Joon. 83. Kuu faase selgitaw katse.

Kui meie tuhkwalgust ôhtul läänes näeme, siis märkame neid kiiri, mida kuule heitnud on Atlandi okeaani ja osa Ameerika pinnast. Kui näeme aga tuhkwalgust hommikul idas, siis langewad kuule Aasiast ja Austraaliast reflektitud kiired.

Wäga huwitaw on tähendada, et kuu heledal sirbil näib raadius suurem olewat kui ketta osal, mida tuhkwalgus katab. See on irradiatsiooni nähtus, mille pôhjal hele asi meile ikka suuremana näib, kui tume.



Joon. 84. Tuhkwalgus.

Sünoodiline ja sideeriline kuu. Aega kahe ühenimelise faasi wahel kutsutakse sünoodiliseks kuuks; aega aga, mille jooksul kuu taewas täie ringi teeb, nii et ta samade tähtede juure tagasi jôuab, kust meie tema liikumist järgima hakkasime, kutsutakse sideeriliseks kuuks.

Kuu sideeriline ringkäik on $27^1/_3$ päewa pikkune.

Sünoodiline on pikem — $29^1/_2$. Selle pôhjuseks on maa liikumine.

Ütleme, maa seisu T_1 juures (joon. 85), oli kuu täiskuus (L_1) ja seisis tähe a juures. Kui järgmine täiskuu tuleb, on maa T_2-s, kuu aga L_3-s ja on näha juba pahemalpool tähest a, millest ta enne mööda

läks, siis kui ta paistis olema seisus L_2. Nônda selgubki, et sünoodiline ringkäik on sideerilisest pikem.

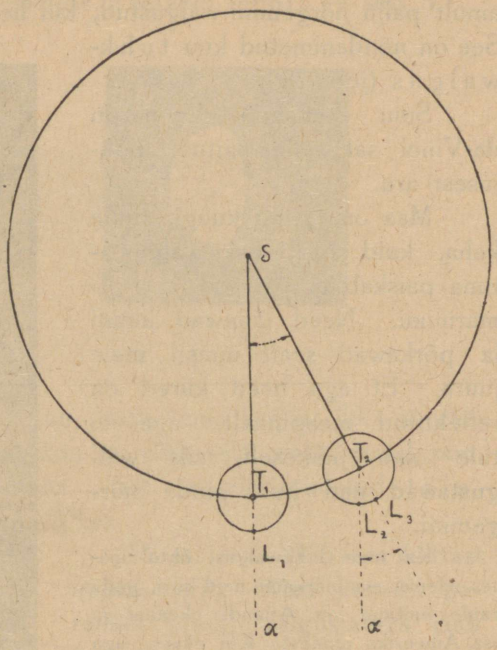
Kuu orbiit. Järgige kuu liikumist mitu päewa; teie näete, et kuu käib mööda neidsamu tähtkonde, milledes päikegi liigub, mitte aga mööda ekliptikat ennast.

Tuletage meele walgeid talweöid, mil täiskuu waatepiirist kôrgele üles kerkib ja madalat, pimeda metsa ehk künka taha peitu pugewat kuud — suwel.

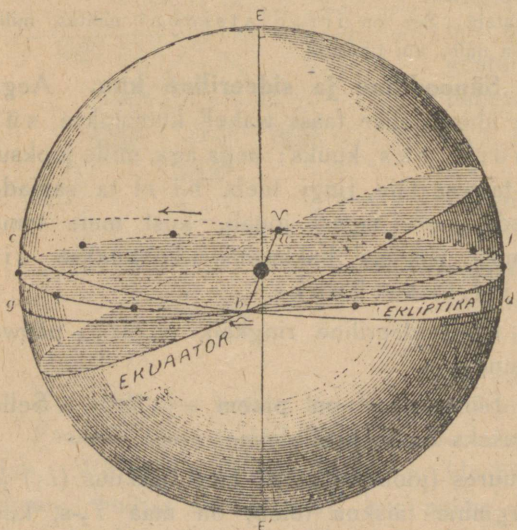
See kontrast tuleb sellest, et kuu ekliptika lähedal liigub, mis talweööl kôrgele tôuseb ja suweööl on madalal.

Kuu orbiit teeb ekliptikaga 5°-se nurga.

Tähelepanemiswäärt on, et kuu orbiidi lôikepunktid ekliptikaga, nôndanimetud s ô l m e d, mitte ühel kohal ei püsi, waid aegamööda liiguwad, tehes ekliptikat mööda $18^1/_2$ aastaga täielise ringi.



Joon. 85.

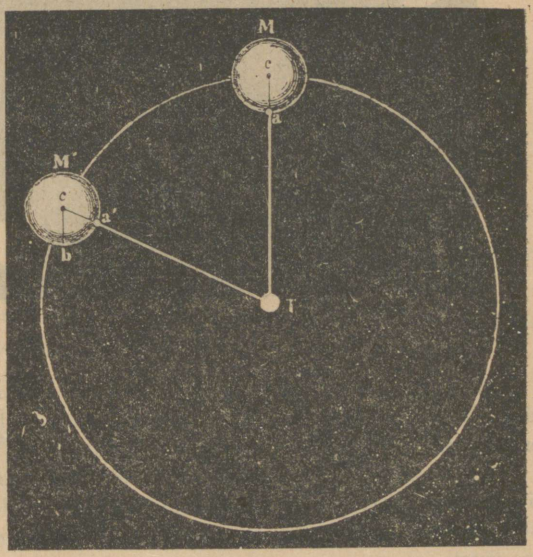


Joon. 86.

See tähendab, et kuu orbiit pöördub, nii et tema lôikejoon ekliptikaga oma sihti muudab. Selle tagajärjel läheb kuu igal järgmisel ringkäigul sellest ehk teisest tähest wähe teisiti mööda: madalamalt ehk kôrgemalt, tôustes ehk wajudes. Joonistusel 102 on kaks kuu orbiidi seisu, kus tema s ô l m e d *a* ja *b* pööripäewa punktiga ühte langewad. Kui orbiidi seis on *cd*, wôib kuu ekwaatorilt kôige rohkem eemale minna, on aga orbiidi seis *fg*, siis on kôige suurem ekwaatorilt eemaleminek kaare $gc = 10°$ wôrra wäiksem, kui esimesel juhtumisel.

Kuu pöörlemine. Ringides ümber maa, pöörleb kuu samal ajal mingi telje ümber, kus juures pöörlemisaeg ühesuurune on sideerilise ringkäigu ajaga. Seda järeldame otsekohe sellest, et kuu alati ühe ja sama küljega maa poole on pöördud, meie näeme tema kettal alati neidsamu laike. Kui kuu oma telje ümber ruttu keerleks, siis pöörduks tema meie poole oma pinna kõigi külgiga. Samuti oleks ka sel juhtumisel, kui ta sugugi oma telje ümber ei keerleks, sellepärast et siis kuu kahes wastasseisus (näit. noorkuu ja täiskuu) wastupidised kuu küljed maa poole oleks pöördud. Kui aga keerlemisaeg telje ümber ühesuurune on ringkäigu ajaga ümber maa, ainult siis on kuu ühe ja sellesama küljega maa poole pöördud. Mingu kuu seisust M seisu M', tehes orbiiti mööda kaare MM', mis wastab nurgale MTM' (joon. 87).

Kui kuu sama ajaga oma telje ümber sama nurga wõrra $bc'a = MTM'$ pöördub, siis on punkt a, mis meile kuu ketta keskkohal paistis olema, kui kuu oli M-is, ka nüüd ketta keskkohal — a'.



Joon. 87.

Kuu libratsioon. Tähelepanelikuma waatlemise juures wõib märgata, et meie kuu pinnast rohkem kui poolt näeme, et kuu nagu kõiguks pendli kombel, pöörates meie poole enam kord parem — kord pahempoolse osa oma pinnast. Seda nähtust nimetakse libratsiooniks.

Ta on selle asjaolu järelduseks, et kuu orbiit pole mitte ring, waid ellips. Kuu keerlemine telje ümber on ühtlane, tema liikumine ellipsit mööda aga mitte-ühtlane: perigees *) — kiirem, apogees — aeglasem.

Joonistusel 88 wastab perigeele seis M, punkt a on nähtawa ketta keskkohas.

Kui kuu on $^1/_4$ pööret teinud, siis on ta oma orbiidist ümber maa rohkem weerandit ära käinud ja tuleb punkti M', punkt a wõtab seisu a' ja paistab olema pahempool nähtawa ketta keskkohast, kus on nüüd punkt b.

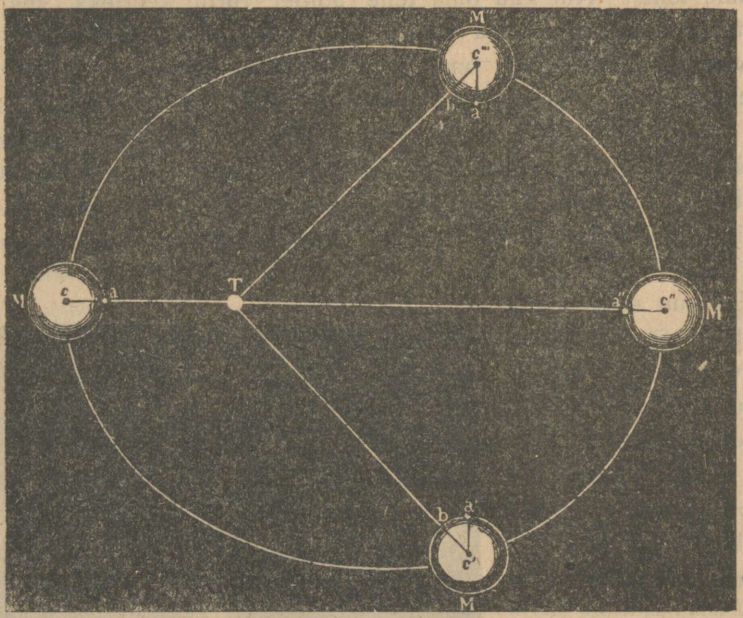
---

*) perigee — maale kõige ligem punkt } $\gamma\eta$ — maa.
apogee „ „ kaugem „ }

Apogees M'', kui kuu poole oma teest ära on käinud, on ta ka telje ümber poole pööret teinud, punkt a on seisus a'', tähendab uuesti nähtawa ketta keskkohas.

Kui kuu $^3/_4$ pööret on teinud, on tema seisus M''', punkt a asub seisus a''' nähtawa ketta keskkohast paremalpool.

See on nõndanimetud libratsioon pikkust pidi.



Joon. 88.

Et pöörlemistelg mitte perpendikulaarne ei ole kuu orbiidile, tekib midagi kõikumisetaolist ka weel laiustes: meie silmist kaob kord põhja- kord lõunapoolus.

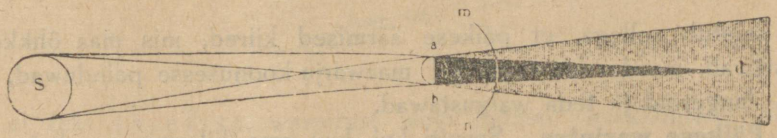
Kaks kuupinna fotograafilist üleswõtet, mis wastawad libratsiooni ise-faasidele, wõiwad anda huwitawa stereoskoobilise effekti. Meie näeme kuud stereoskoobis relieefselt kui ümmargust keha selgesti nähtawa kumerusega meie poole (1-ne tabel III-as lisas).

Ülesanne. Esimene weerand oli 5. weebruaril, millal on täiskuu.

XVII. peatükk.

WARJUTUSED.

Kuu warjutus. Maa, mida üheltpoolt päike walgustab, heidab teiselepoole warju, mis koonusena kaugele ilmaruumi ulatab. Kuu oma orbiiti *mn* mööda ümber maa liikudes (joon. 89), sellesse warju



Joon. 89.

koonusesse sattub, siis ei saa päikese kiired tema peale enam otsekoheselt langeda ja meie näeme kuu warjutust.

Kui kuu terwena warju kaob, siis on, nagu räägitakse, täieline warjutus, kui ainult osa kettast kaob, siis nimetakse warjutust osaliseks.

Et kuu läänepoolt idasse liigub, hakkab tema ketas idaserwas tumenema, millega ta warju waob.



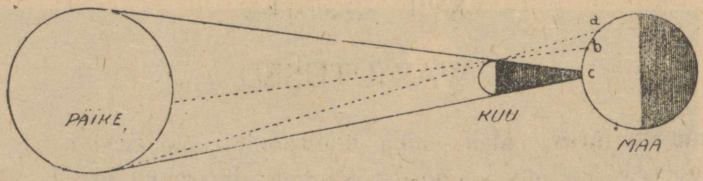
Joon. 90. Pidew sirgejoon on ekliptika. Punktiline joon on kuu orbiit, ☊ on kuu orbiidi sôlm.

Kuu läheb tôepoolest tumedaks. Sellepärast on kuu warjutus ühekorraga ja ühtemoodi näha terwel maa poolkeral, mis kuu poole on pöördud.

Kuu warjutus wôib tekkida ainult täiskuu päewal. Kuu orbiidi kallakuse tagajärjel ekliptikaga, läheb kuu täiskuu ajal harilikult kas madalamalt wôi kôrgemalt maawarju koonusest mööda, mille telg muidugi ekliptika tasapinnal asub. Kui aga täiskuu juhtub olema sel ajal, mil kuu oma orbiidi ühe sôlme lähedal wiibib, siis wôib ta maawarju koonusesse sattuda.

Kui kuu just sõlmes wiibib, siis läheb tema tee warju läbilõike keskkohast läbi, sel juhtumisel kaob kuu mitte ainult terwena warju, waid jääb umbes $2^1/_2$-ks tunniks tumedaks.

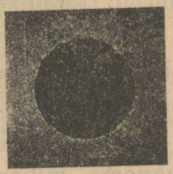
Harwa kaob kuu meie silmist täiesti. Harilikult jääb ta nähtawaks, ehk ta küll on märksa tumenend ja omanud tumepunase wärwi.



Joon. 91.

See seletub sellega, et päikese äärmised kiired, mis maa õhkkonda läbistawad, murdumise tagajärjel maawarju koonusesse painduwad, kuu peale langewad ja teda walgustawad.

Päikese warjutus. Samuti kui kuu oma liikumises wahetewahel tähti kinni katab, wõib tema meie eest kinni katta ka päikese, ette minnes tema kiirtele. Siis tekib päikese warjutus.



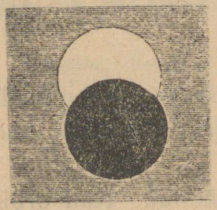
Joon. 92.

See wõib juhtuda ainult noorelkuul ja jällegi ainult siis, kui kuu on sel ajal oma orbiidi ühe s õ l m e ligidal.

Päikese warjutus on nähtus, mis kuu warjutusest oluliselt lahku läheb.

Kuu warjutuses näeme meie tõelist taewakeha tumenemist, päikese warjutuses aga warjab tume keha — kuu, kui eesriie, meie silmade eest hiilgawa päikese.

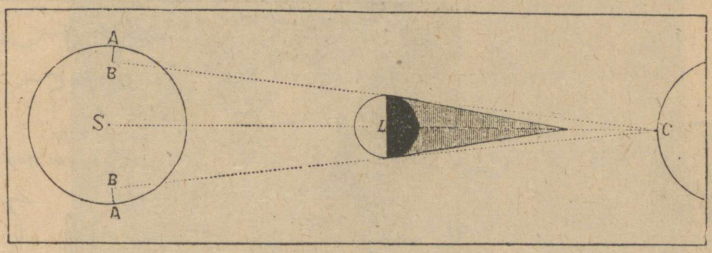
Kuu on päikesega wõrreldes wäga wäikene keha. Sellepärast wõib tema päikest ainult sel põhjusel katta, et ta on meile wõrdlemisi lähedal. Wäikese kauguse tagajärjel on aga kuu parallaktiline nihkumine wäga suur. Mitmetes maakohtades olewad waatlejad näewad teda ühel ja samal füüsilisel momendil isesihtides, ja kui kuu ühele waatlejale *c* (joon. 91) päikese täiesti kinni katab (täieline warjutus joon. 92), näib teisele waatlejale *b* ainult osa päikese kettast warjatuna (osaline warjutus joon. 93), kolmandale *a* ei ole sel silmapilgul warjutust üleüldse olemas.



Joon. 93.

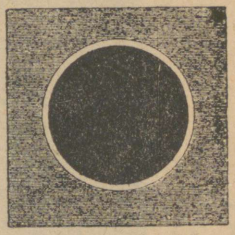
Selle kohaselt, missuguses kauguses on meilt kuu, näib tema ketas meile suuremana või wäiksemana.

Sellepärast wôib täieline faas olla mitmesuguse kestwusega, 0-ist kuni 6 minutini. Kui warjutus sel ajal tekib, kui kuu on meist kôige kaugemal ja tema ketas näib meile päikese kettast wäiksem (joon. 94),



Joon. 94.

siis ei teki täielist warjutust isegi ketaste keskkohtade näiwal ühtelangemisel mitte, waid tekib nôndanimetud ringkujuline päikese warjutus (joon. 95).

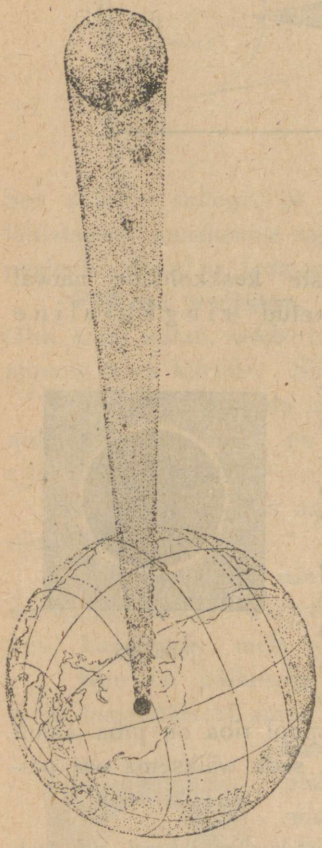


Joon. 95.

Täielist warjutust wôib isegi kuu kôige suurema nähtawa läbimôôdu juures ainult wäga wäikeses piirkonnas korraga näha, nagu joonistused 91 ja 96 selgitawad. Kuu wari liigub maad mööda aegapidi edasi. Joonistusel 97 on meil täielise warjutuse riba 7 aug. 1914 a., mis peaasjalikult Wenemaal näha oli. Riba laius on umbes 130 wersta. Keskjoonel on kohad, kus täieline faas kôige kauem kestab ($2^1/_2$ min.). Riba äärtel olewais maakohtades tuleb täieline faas ainult silmapilguks. Wäljaspool riba on juba ainult osaline warjutus, ja mida kaugemal keskjoonest, seda wäiksema osa päikese kettast katab kuu.

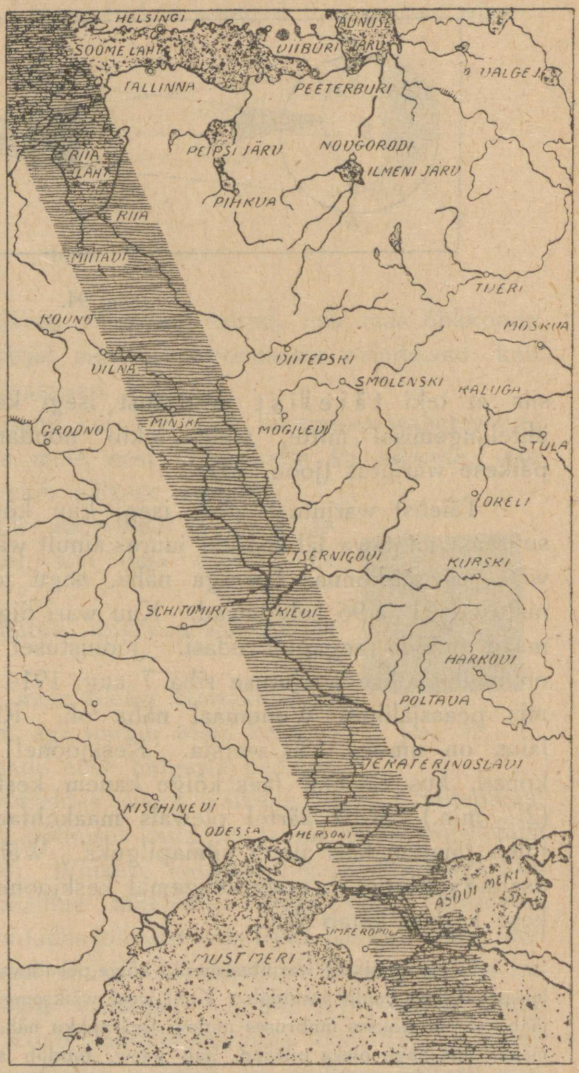
Täieline päikese warjutus on üks kôige pôrutawamaist loodusenähtusist, mis waatlejasse sügawa mulje awaldab. Kuni weel wäiksemgi päikese ketta osa warjamatuks jääb, ei ole wälises ümbruses midagi iseäralikku näha. Läheb muidugi wähe pimedamaks, just nagu oleks pilwine, hall päew, tundub aga siiski meie elustawa päikese juuresolek. Kaob aga wiimne päikese kiir, muutub silmapilkselt kôik meie ümber nii maa peal, kui taewas. Ilmub ebaharilik pimedus, kuigi mitte täieline öö, ometi on tähed näha; et midagi lugeda, selleks on lampi tarwis. Rohelised taimed näiwad hallidena. nimese nahk omandab surnukeha wastumeelse warjundi. Maad mööda jooksewad warjud kohutawal kiirusel. Loomad ja linnud langewad ärewusse; taewa tina-hallil foonil hiilgab aga kuu musta ketta ümber hôbedane pärg, — nôndanimetud päikese kroon, mille sees pikksilmaga kuu ketta juurest ülestôuswaid punaseid päi-

kese rahne wôib näha. Ilmub aga uuesti walguse esimene kiir, kaob kôik imetaoline; walgustamatu elanik, kes maailma otsa ootas, hingab kergemini ja waatab juba rahulikult, kuidas kuu ketas päikese eest ära libiseb (joon. 98).



Joon. 96.

Wäike tume täpp on kuu wari maakera pinnal. Selle piiris on täieline päikese warjutus näha.



Joon. 97.

Päikese ja kuu liikumise wahel on niisugune wahekord, et neil iga 18 aasta 11 päewa tagant ligikaudselt samasugused wastastikused seisud korduwad. Selle tagajärjel tuleb perioodsus warjutustesse. Tekib tsükl, mida saarose'ks nimetakse. Selle järele kuulutati juba wanas Hiinas warjutusi ette.



Joon. 98. Täieline päikese warjutus.

Wôrdleme, näituseks, 1887. a. 1905. aastaga.

1887. a.			1905. a.		
Osaline kuu warjutus . . .	weebr.	8.	Osaline kuu warjutus . . .	weebr.	19.
Ringkujuline päikese warjutus	weebr.	22.	Ringkujuline päikese warjutus	märts	5.
Osaline kuu warjutus . . .	aug.	3.	Osaline kuu warjutus . . .	aug.	14.
Täieline päikese warjutus . .	aug.	18.	Täieline päikese warjutus . .	aug.	29.
(oli näha Wenemaal).			(oli näha Hispaanias ja Põhja Afrikas).		

Ülesanne. — 8. aug. 1896. a. oli täieline päikese warjutus. Näidata lähem eelmine ja lähem pärastine, mis talle saarose tsüklis wastawad.

XVIII. peatükk.

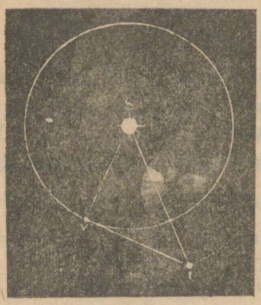
PLANEETIDE LIIKUMINE. PTOLOMÄUSE SÜSTEEM JA KOPERNIKUSE SÜSTEEM. KEPLERI SEADUSED.

Rändtähti, s. t. tähti, mis taewas tähtkujust tähtkujusse liiguwad, nõndanimetud planeete, tunti juba hallil wanalajal. Kaldealased ja egüptlased tegid nende wahel vahet nende hiilge iseloomu järele ja nimetasid neid oma jumalate nimedega.

Samuti oli ka wanas Greekas. Üht planeeti, wististi sellepärast, et ta tihti päikese kiirtesse kaob, nimetasid greeklased kauplemise, osawuse ja kärmuse jumala — Hermesi täheks, teine planeet sai oma heleduse ja ilu mõjul iluduse jumala Afrodiite täheks, kolmandat nimetati punase, werd meeletuletava hiilge pärast sõjajumala Aaresi täheks, neljas tasase, toreda hiilgega planeet sai „surematude ja surelikkude isa" Zeusi täheks, viies, kõige kaugem, kõige wanema jumala Kronose täheks.

Praegu on tarwitusel ladinakeelsed nimed ja jumala täbe asemel nimetakse lihtsalt jumala nime: Merkuur, Weenus, Mars, Jupiter ja Saturn. Greeklased lugesid ka päikest ja kuud planeetide hulka. Lühendamiseks tarwitakse järgmisi märke: päike — ☉, kuu — ☾, Merkuur ☿, Weenus ♀, Maa ♁, Mars ♂, Jupiter ♃, Saturn ♄.

Merkuuri ja Weenuse liikumine. Merkuur ja Weenus ei lähe päiksest kunagi kaugele. Kui pendlid liiguwad nad temast kord ühele kord teisele poole. Rahwas nimetab Weenust koidu ja ehatäheks. Kui tema on päikesest pahemalpool, siis wõib teda õhtul pea pärast päikese loojaminekut läänetaewas näha. Ta näib temast ikka kaugemale ja kaugemale minewat, jääb siis seisma ja hakkab temale uuesti lähenema, kaob tema kiirtes ära ja ilmub paari päeva pärast temast paremalpool, tõustes enne päewa koidu tähena. Teatawasse kaugusse paremale poole taganedes, pöörab ta uuesti päikese juure, kaob uuesti tema kiirtes ja ilmub paari päeva pärast uuesti päikesest pahemalpool.

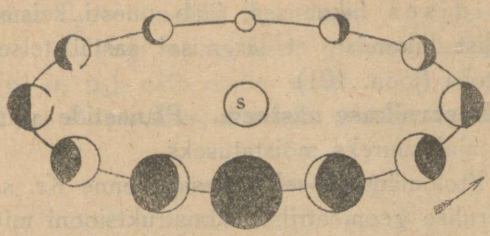


Joon. 99.

Selgesti on märgata, et planeet käib ümber päikese mööda ringi, mida meie maakeralt wäljastpoolt waatame (joon 99).

Pikksilmaga waatlemised kinnitawad seda järeldust. Meie näeme, et Weenusel on samasugused faasid kui kuul.

Kui planeet on kaugel päikese taga, siis paistab ta wäikese, ümmarguse kettana. Planeedi pahemalepoole kaugudes, suureneb tema läbimôôt järjest ja ta saab pahemaltpoolt kärbitud (joon. 100).

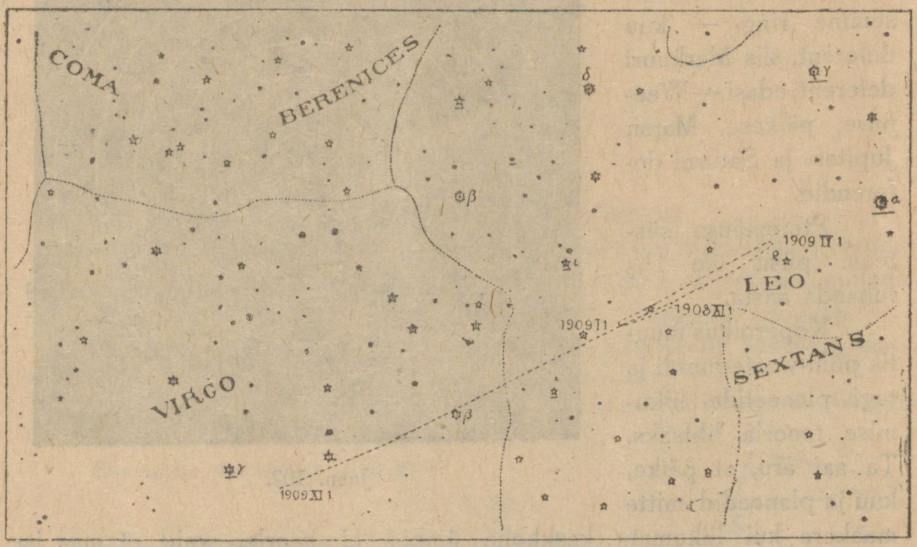


Joon. 100.

Ikka suurem ja suurem osa kettast kaob. Weenus on pooleni walgustud, pärast on tal sirbi kuju, mis ikka kitsamaks ja kitsamaks muutub, kuna läbimôôt samal ajal kaswab. Kadudes tükiks ajaks päikese kiirtesse, ilmub ta uuesti sirbi kujul, mis aga juba teisele poole on painutud (s. t. jälle päikese poole) ja kordab kôik eelmised faasid wastupidises järjes.

Samuti liigub ka Merkuur.

Planeedi seise, kus tema otsetôus on sama kui päikesel, nimetakse ühendusteks. Neid on kaks: kui planeet on päikese taga — ülemine ühendus, kui ta on päikese ees — alumine ühendus.



Joon. 101.

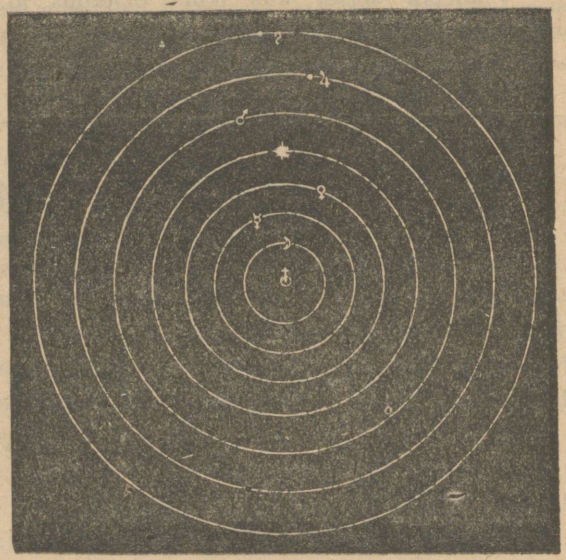
Marsi, Jupiteri ja Saturni liikumine. Marsi, Jupiteri ja Saturni liikumisel on wähe teine iseloom. Need planeedid wôiwad päikesest igasugustele nurk-kaugustele kauguda, meie wôime neid ka wastasseisus näha, kus planeet otsetôusu suhtes päikese wastu seisab ja ülemisest kulminatsioonist kesköösel läbi läheb.

Wäga huwitawad on sõlmed ehk silmused, mida planeedid taewa laotusel teewad. Planeet läheb alguses paremalt poolt pahemale, — see on nõndanimetud peripidine liikumine, jääb siis seisma, pöörab tagasi, läheb wastupidises liikumises, jääb uuesti seisma ja alustab uuesti oma peripidist liikumist, et järgmisel aastal teises tähtkujus samasuguse silmuse teha (joon. 101).

Ptolomäuse süsteem ja Kopernikuse süsteem. Planeetide wastupidised liikumised olid vanal ajal suureks mõistatuseks.

Aleksandria täheteadlane Ptolomäus (II-sel aastasajal enne Kr. s.) mõtles nende seletamiseks keerulise geomeetrilise konstruktsiooni mitmete ring-süsteemidega — see on nõndanimetud epitsüklite teooria. Iga planeet liikus wäikest ringi — epitsüklit mööda, mille keskkoht teist, hoopis suuremat ringi — deferenti — mööda weeres; deferent ümbritses maad, mis oli ühtlasi süsteemi ühiseks keskkohaks.

Joonistusel 102 on meil Ptolomäuse süsteemi üldine kava. Keskkohas — maa, sisemine ring — kuu deferent, siis Merkuuri deferent, edasi — Weenuse, päikese, Marsi, Jupiteri ja Saturni deferendid.



Joon. 102.

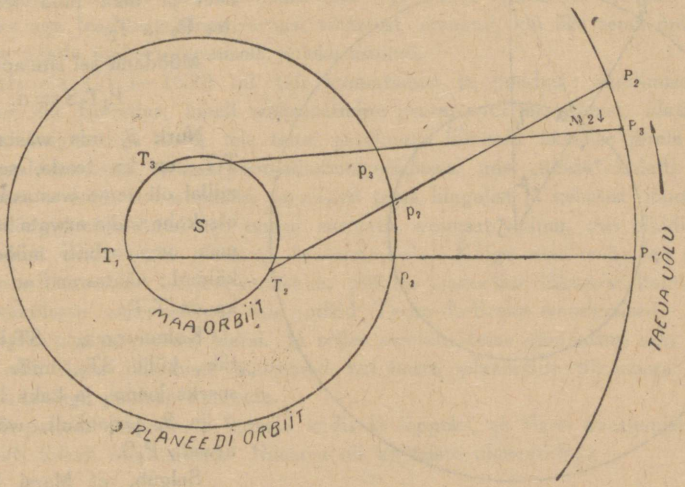
Ptolomäuse süsteem püsis üle $1^1/_2$ tuhanda aasta.

Kopernikus muutis põhi-waatepunkti ja tegi planeetide liikumise teooria lihtsaks. Ta sai aru, et päike, kuu ja planeedid mitte maakera kui liikumata keskkoha ümber ei keerle, waid et maa ise planeet on ja ühes teiste planeetidega süsteemi keskkoha — päikse — ümber ringib, kuu aga on maa kaaslaseks.

Wastupidiste liikumiste seletamine. Kopernikus seletas lihtsalt ja näitlikult planeetide seisakud ja wastupidised liikumised — need on kõik näiwad ilmuwused, mis sellest tekiwad, et liikuwal maakeral asuw waatleja planeete mitmesugusist ruumipunktidest waatab; tõepoolest aga läheb iga planeet oma orbiiti mööda ümber päikese ühes sihis ja ühemõõduselt.

Olgu T_1, T_2, T_3 (joon. 103) maa kolm seisu, p_1, p_2, p_3, — nendele wastawad seisud wälimisel planeedil, s. t. sarnasel, mille orbiit on maa orbiidist wäljaspool. Seisust T_1 näeme planeeti punktis T_1, seisust T_2 — punktis P_2, seisust T_3 aga — punktis P_3.

Olgugi et planeet päikese ümber kôik aeg ühes sihis liigub (p_1 p_2 p_3), näib meile siiski, et ta alguses peripidi, noole Nr. 1 sihis P_1-st P_2-sse läks, siis aga wastupidi noole Nr. 2 sihis P_2-sest P_3-sse.



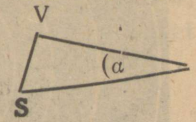
Joon. 103.

Nii liiguwad planeedid: Mars, Jupiter, Saturn.

Sarnaselt seletas Kopernikus ka kôik liikumise iseäraldused, nende planeetide juures, mida meie nüüd sisemisteks nimetame, millede orbiidid on maa orbiidi sees, s. t. Merkuuri ja Weenuse liikumise.

Planeetide kauguste wäljaarwamine päikeselt. Kopernikuse harutused annawad wôimaluse ka planeetide kauguse päikeselt wälja arwata.

Waatleme sisemist planeeti tema kôige suuremas nurk-kauguses päikeselt. Olgu see nurk $StV = \alpha$ (joon. 103a).



Joon. 103a.

Siis saame täisnurksest $\triangle$-st SVt

$$SV = St \sin \alpha.$$

Kui maa kaugus päikeselt St wôtta üksuseks, siis

$$SV = \sin \alpha.$$

Merkuuri kôige suurem nurk-kaugus päikeselt on 28^0, Weenusel — 48^0, järjelikult,

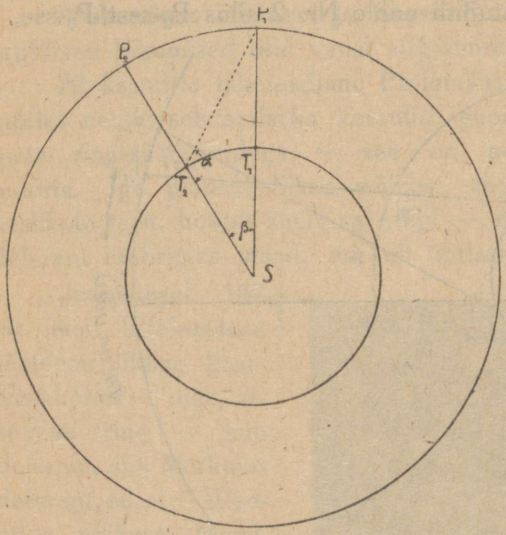
Merkuuri kaugus	Weenuse kaugus
$SV = \sin 28^0$	$SV = \sin 48^0$
$SV = 0{,}4$ maa kaugust päikeselt.	$SV = 0{,}7$ maa kaugust päikeselt.

Et wälja arwata wälimise planeedi kaugust päikselt, peame teadma tema sideerilist ja sünoodilist ringkäike.

Sideeriline ringkäik on aeg, millega planeet taewawôlwil täie ringi teeb ja samade tähtede juure tagasi tuleb, kust meie tema liikumist järgima hakkasime.

Sünoodiline ringkäik on aeg, millega planeet endisesse seisu päikese suhtes tagasi jôuab.

Sideerilise kui ka sünoodilise ringkäigu saame otsekohestest waatlemistest (w. planeetide tabelit raamatu lôpus). Olgu planeet mônel momendil wastasseisus, — seis P_1 (joon. 104).



Joon. 104.

Järgmisel wastasseisul on planeet ja maa juba teistes seisudes P_2 ja T_2.

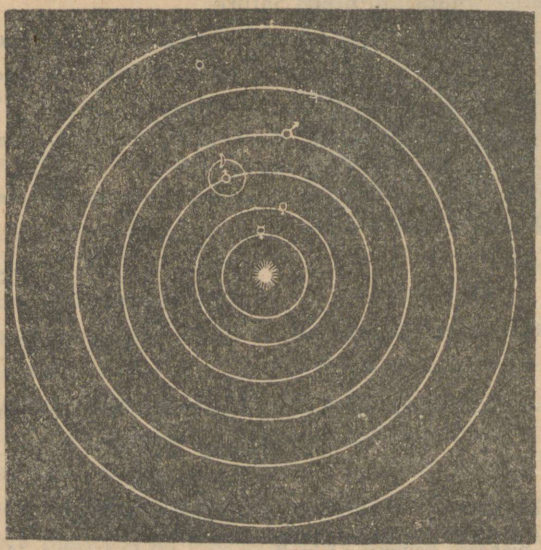
Môôdame sel silmapilgul nurga

$$P_1T_2S = \alpha.$$

Nurk β, mis wastab kaarele T_1T_2 on ka teada, sest, teades millal oli teine wastasseis, wôime otsekohe wälja arwata mitu kraadi maa oma orbiiti mööda ära on käinud ; nähtawasti on see $360^0 +$ ka on T_1T_2.

Kolmnurgas, ST_2P_1 teame täh., külje ST_2, mille meie üksuseks loeme, ja kaks lähisnurka : α ja β, järjelikult, wôime wälja arwata P_1S.

Selgub, et Marsi kaugus on 1,5, Jupiteril — 5,2 ja Saturnil — 9,5 maa kaugust päikeselt.



Joon. 105.

Järelikult on päikese süsteemi kawa Kopernikuse järele, niisugune, nagu joonistusel 105 näha. Süsteemi keskkohas on päike, tema ümber ringiwad planeedid : Merkuur 0,4, Weenus 0,7, Maa 1, Mars 1,5, Jupiter 5,2 ja Saturn — 9,5 kauguses.

Kopernikuse süsteem annab meile mitte ainult planeetide järjekorra, waid ka nende relatiiwse kauguse päikeselt.

Kepleri seadused. Kopernikuse teooria on planeetide õige liikumise äratundmises esimeseks liginemiseks. Teiseks astmeks on Kepleri seadused.

XVI. aastasaja lõpul seisis Kopenhaageni lähedal Weena saarel suur tähttorn heade riistadega. Siin waatles palju aastaid täheteadlane Tycho-de-Brahe; need waatlemised äratawad imestust oma haruldase tolle aja kohta täpsusega. Kuulsa waatleja tööd ei oleks aga teaduse ajaloos sarnast väärtust omanud, kui üks tema õpilasist — Kepler mitte nende ümbertöötamisele poleks asunud.

Kepleri elu (1571—1630) oli täis kannatamisi ja puudusi: sündimisest nõrk terwis, raske elu isakodus, maalt wäljasaatmine protestandi usu pärast, alatine aineline kitsikus, haigused ja surm, mis tema perekonna liikmeid üksteise järele tabasid, lõppeks, wanaldase ema hirmus süüdistamine nõiduses, mis „nõida" koleda piinamisega ähwardas — kõik see wapustas tugewasti tema hingelist ja kehalist jõudu. Saatuse rasked löögid ei suutnud aga temas surmata wõimsat waimu, mis püüdis taewakehade liikumist walitsewate seaduste äratundmisele. Kõige oma waba aja pühendas ta pikkadele wäsitawatele wäljaarwamistele, püüdes planeetide liikumise kohta tehtuid oletusi kokkukõlasse wiia sellega, mis andsid Tycho-de-Brahe waatlemised. Ta walis oma uurimisteks alguses planeet Marsi. Ja selles awaldus tema geniaalsus, sest kõrwalekaldumised olid Marsi liikumises suuremad, kui teiste planeetide liikumises ja wõisid paremini nende õige põhjuse ilmutada.

Pärast paljuid nurjaläinud katseid leidis ta lõppeks, et Marsi waatlemised ellipsikujulist orbiiti täiesti rahuldawad. Niisama oli ka teiste planeetidega

---

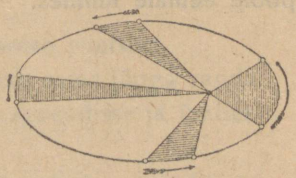
Niiwiisi leidis Kepler oma n. n. esimese seaduse:

Planeedi orbiit on ellips, mille ühes fookuses asub päike.

Teine seadus määrab planeedi liikumise ellipsit mööda.

Planeedi raadius-wektor kujutab wõrdsete aegade kestes wõrdsed wäljad.

Kui planeet on päikesest kaugel, on sektor, mille raadius-wektor, näituseks, ühe päewaga kujutab, pikk aga kitsas, on aga planeet ligemal, peab sektor, mis sama ajaga kujutatud, laiem olema, järjelikult, ei wõi planeedi nurk-nihkumised tema liikumises mööda ellipsit ühtlased olla. Afeeli lähedal liigub planeet aeglasemalt, periheeli lähedal — kiiremini. Seda nägimegi warem (lhk. 28 ja 64) päikese nähtawa nihkumise juures.



Joon. 106.

Oma kolmanda seadusega seob Kepler kõik planeedid üheks süsteemiks:

Planeetide ringkäigu aegade ruudud suhtuwad nagu nende keskmiste kauguste kolmandad astmed.

Kaugus on periheelis kôige wäiksem AF (w. ellipsi joonistust esimeses lisas).

Kaugus on afeelis kôige suurem FB.

Keskmine kaugus, $^1/_2$ (AF + FB) = ellipsi suur pooltelg = a.

Olgu ühel planeedil ringkäigu aeg t_1, keskmine kaugus a_1, teisel — t_2 ja a_2.

Siis

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Maa ringkäigu aeg $t_1 = 1$ aasta; tema kaugus päikeselt $a_1 = 1{,}000$.

Merkuuril $t_2 = 0{,}2408$ aast. ja $a_2 = 0{,}387$.

Asemele pannes saame:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = 17{,}25; \quad \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = 17{,}25.$$

Weenusele peab wôtma $t_2 = 0{,}6152$ ja $a_2 = 0{,}723$.

Siis

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = 2{,}64; \quad \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = 2{,}65.$$

Ülesanne 1. Määrata Marsi sideerilise ringkäigu aeg ümber päikese, kui tema kaugus on 1,524. **Wast.** 1,881 aast.

Ülesanne 2. Jupiteri sideeriline aasta — 11,862 aastat, Saturni — 29,457. Määrata nende planeetide kaugus päikeselt. **Wast.** 5,202 ja 9,538.

Tähtis on alla kriipsutada, et ellipsid, mida mööda planeedid liiguwad, wäga **wähe** ringidest lahku lähewad. Kôige pikergusemad on Merkuuri ja Marsi orbiidid.

Kôik planeetide orbiidid on ekliptikale wähe kallakud. Kôige suurem kallakuse nurk (7°) on Merkuuri orbiidil. Järjelikult, liiguwad planeedid taewas ekliptikast ainult wähe ühele ehk teisele poole eemale minnes.

XVIII peatükk.

LIIKUMISE POHISEADUSED. KOGUILMLISE GRAWITATSIOONI SEADUS. MÔISTE SEGAMISTEST. PLANEETIDE MASSID. TÔUSUD JA MÔÔNAD. PRETSESSIOON JA NUTATSIOON.

Kepler leidis üles planeetide liikumisis peituwad geomeetrilised wahekorrad. Aga ta aimas ka, et peab olema mingi üldpôhjus, mis neid wahekordi tingib. Ta ei wôinud selle pôhiteguri tegewust näidata ega kindlasti wormuleerida. Seda tegi Mewton, kes üles leidis koguilmlise grawitatsiooni seaduse, mis on kolmandaks astmeks planeetide ôige liikumise äratundmises.

Isaak Newton (1643—1727 a.) oli geniaalne Inglise matemaatik. Ta pani oma seadustega ehk liikumise aksioomidega aluse teoreetilisele mehaanikale.

Liikumise põhiseadused. Esimene seadus — inertsi seadus: iga keha püüab oma olekut alal hoida: tema kas püsib rahus wôi on sirgjoonelises ühtlases liikumises.

Teine seadus — jôu tegewuse seadus: jôu tegewus ei olene teistest jôududest. Liikumise muutumine (s. t. kiirendus) on tegewjôule proportsionaalne.

Selle seaduse pôhjal saadakse walem:

$$P = mg.$$

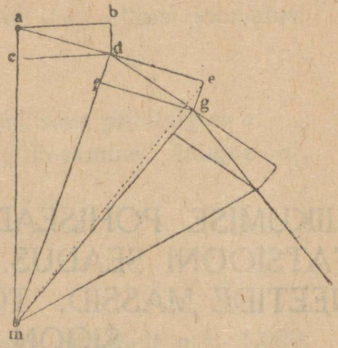
— jôud on massi ja tema kiirenduse suurune.

Kolmas seadus: tegewus on wastutegewuse suurune.

Raud tômbab magneeti külge, magneet tômbab sama jôuga rauda. Selle juures môjub rauast wäljaminew tômbejôud magneedisse ja ümberpöördult.

Planeetide liikumine seletub päikese külgetõmbega. Inertsi seaduse järele on keha, millesse mingi jôud ei môju, rahus wôi sirgjoonelises ühtlases liikumises. Kui aga keha ringi mööda liigub, siis on selge, et igal silmapilgul mingisugune keskkohta juhitud jôud teda

sirgjoonelisest liikumisest kõrwale käänab. Punktis *a* (joon. 107) tungib keha *ab* sihis liikuma, samal ajal sunnib tung keskkohta *m* teda *ac* wõrra nihkuma, kokku wõttes läheb keha *ad* sihis; samuti saame *de* ja *df*. liitumisest nihkumise *dg* jne. Kui jõud, mis liikuwat keha kindla keskkoha poole tõmbab, pidewalt mõjub, saame selle keskkoha ümber liikumise kinnist kõwerjoont mööda.



Joon. 107.

Füüsika kursustes tuletatakse Huygensi valem, mis määrab tsentrifugaalse kiirenduse ring-liikumises:

$$K = \frac{v^2}{r},$$

kus v — ring-liikumise kiirus ja r — raadius, s. t. liikuwa punkti kaugus keskkohast. Kui ringkäigu aeg sekundites on t, siis

$$v = \frac{2\pi r}{t},$$

nii et

$$K = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Planeetide liikumise üle järele mõteldes, tegi Newton oletuse, et igasse ühesse nendest mõjub päikese tõmbejõud.

Aga kas on see jõud kõigi planeetide kohta ühesugune?

Kuidas muutub ta. kui ta mitte ühesugune pole?

Wastuse andmise nendele küsimustele wõimaldas Newtonile kolmas Kepleri seadus.

Jõud, mis ühesse ja samasse massisse mõjuwad, on teise Newtoni aksioomi põhjal kiirendustele proportsionaalsed:

$$p_1 = mg_1;\ p_2 = mg_2.\quad \text{Järjelikult, } \frac{p_1}{p_2} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Tähendab, planeetidesse mõjuwad jõud muutuwad niisama kui kiirendused.

Olgu

	ühel planeedil	teisel planeedil
kaugus päikesest	r_1	r_2
ringkäigu aeg	t_1	t_2
nii et		
kiirendus	$K_1 = \frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}$	$K_2 = \frac{4\pi^2 r_2}{t_2^2}$.

Kiirenduste suhe on siis

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{4\pi^2 r_1 \cdot t_2^2}{t_{12} \cdot 4\pi^2 r_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} \cdot \frac{r_1}{r_2}.$$

Kolmanda Kepleri seaduse põhjal

$$\frac{t_2^2}{t_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3}.$$

Asemele pannes, saame

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^3 \cdot r_1}{r_1^3 \cdot r_2},$$

koondades:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2},$$

s. t. kiirendused, järjelikult ka päikese tõmbejõud (ühe ja sama massi kohta arwatud) on wastupidi proportsionaalsed kauguste ruutudele.

Kuu liikumine seletub maa külgetõmbega. Teiseks sammuks Newtoni uurimistes oli küsimuse otsustamine, missuguse jõu sunnil ringib kuu ümber maa.

Newton pööris tähelepaneku kõigile tuntud nähtuse, kehade wertikaalse langemise peale. Langemine sünnib muidugi maa külgetõmbe mõjul. See tõmbejõud awaldub mitte ainult maapinna otsekoheses läheduses, waid ka mitmesuguses kõrguses, isegi kõrgete mägede tipul; wõib olla ulatab tema kaugemalegi. Kas mitte tema ei sunni kuud maa ümber ringima?

Newton teeb oletuse, et maa kuud niisama külge tõmbab, kui päike planeete, et see tõmbejõud ka wastupidi proportsionaalne on kauguse ruudule. Kui nii on, siis, tähendades raskuse kiirenduse maapinnal g_0, maa tõmbejõu kiirenduse kuu kaugusel g, maa raadiuse r, kuu kauguse maakera keskkohast R, peame saama

$$\frac{g_0}{g} = \frac{R^2}{r^2},$$

nii et

$$g_0 = g\,\frac{R^2}{r^2}.$$

Kuu ringimisest saame Huygensi valemi järele.

$$g = \frac{4\pi^2 R}{t^2},$$

kus t on sekundite arw kuu sideerilises ringkäigus.

Järjelikult,

$$g_0 = \frac{4\pi^2 R}{t^2} \cdot \frac{R^2}{r^2},$$

ehk

$$g_0 = \frac{4\pi}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 \pi r = \frac{4\pi}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 180.\ a,$$

kui a-ga nimetada maa meriaani ühe kraadi pikkust.

Newton wõttis tol ajal tuntud arwud:

$t = 27$ päewa 7 t. 43 m. 48 s. $= 2360628$ sek.
$R = 60{,}4$ r
$a = 317535$ jalga

ja sai $g_0 = 28{,}4$ jalga. Otsekohesed katsed andsid aga $g_0 = 32$ jalga ligikaudselt. See lahkuminek äratas Newtonis kahtlust, kas ta on õigel teel, ja ta pani oma wäljaarwamise kõrwale. Mitme aasta pärast sai ta teada, et Picard Prantsusmaal on uuesti maa meridiaani kaart mõõtnud ja leidnud ühe kraadi pikkuse 365722 jalga.

Pannes nüüd walemisse selle arwu, leidis Newton $g_0 = 32{,}7$ jalga. Nõnda selgus eksitus. Wõib tõepoolest öelda, et maa tõmbejõud kuuni ulatab ja et ta on wastupidi propertsionaalne kauguse ruudule.

Ülesanne. Wälja arwata $g_0 = \frac{4\pi^2}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 \cdot r$

kui $t = 2360600$ sek.; $\frac{R}{r} = 60$

ja $r = 6400$ klm. $= 6400000$ meetrit.

Wäljaarwamine.

$$\begin{aligned} lg4 &= 0{,}60206 \\ lg\pi^2 &= 0{,}99434 \\ lgr &= 6{,}80618 \\ 3lg\frac{R}{r} &= 5{,}33445 \\ \hline & 13{,}73703 \\ 2lgr &= 12{,}74604 \\ \hline lg\, g_0 &= 0{,}99099 \end{aligned}$$

$g_0 = 9{,}8$ meetrit.

g_0 keskmine suurus katsetest on ka 9,8 meetrit.

Koguilmlise grawitatsiooni seadus. Päike tõmbab planeete külge, maa tõmbab samal wiisil kuud.

Kolmanda aksioomi põhjal on ka ümberpöördult õige: kui päike planeeti külge tõmbab, siis tõmbab planeet päikest samasuguse jõuga, samuti: kui maa kuud külge tõmbab, siis tõmbab kuu maad samasuguse jõuga. Newton leidis üles aine üleüldise omaduse, mis kindla

seaduse järele awaldub: iga aineosakene tungib teise aineosakese poole jõuga, mis on proportsionaalne nende aineosakeste massidele ja wastupidi proportsionaalne nende kauguse ruudule.

See on nõndanimetud koguilmlise grawitatsiooni seadus. Matemaatiliselt kujutab teda walem:

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

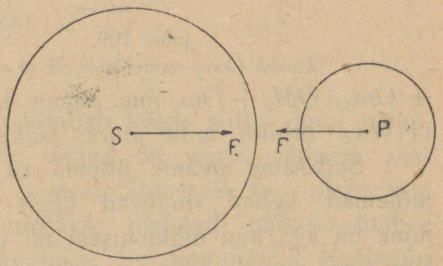
kus m_1 ja m_2 — osakeste massid, r — nende kaugus teine teisest, k — kindel arw; ta tähendab jõudu, millega massi üksus teist samasugust massi külge tõmbab, kui nende kaugus teine teisest on üksuse suurune.

Kui tähendame päikese massi tähega M, planeedi massi — m, nende kauguse teine teisest r, siis on jõud, millega päike planeeti külge tõmbab

$F = k\frac{Mm}{r^2}$ (joon. 108).

Jõud, millega planeet päikest külge tõmbab on sama:

$$F_1 = k\frac{Mm}{r^2}.$$



Joon. 108.

Jõud F ja F_1 on ühesuurused, nende mõjud aga ei ole ühesuurused.

F mõjub planeedisse, mille mass on wäikene, ja annab talle, järjelikult, suure kiirenduse. F_1 mõjub ümberpöördult päikesse, mille mass on suur, sellepärast saab päike wäikese kiirenduse. Nimetame planeedi kiirenduse g, päikese kiirenduse G.

Newtoni teise aksioomi põhjal on jõud niisuur kui mass, millesse ta mõjub, kaswatud kiirendusega ($P = mg$).

Sellepärast

$$F = mg,$$

ja et $F = k\frac{M}{r^2}m.$

siis järjelikult, $g = k\frac{M}{r^2}.$

Samuti

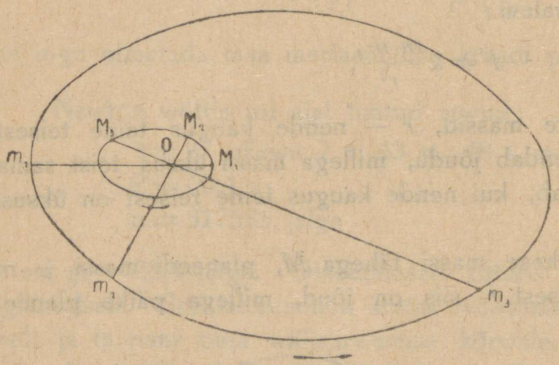
$$F_1 = MG$$

$$F_1 = \frac{km}{r^2}M$$

ja $G = \frac{km}{r^2}$.

Et m on wäga wäike wôrreldes M-ga, siis on päikese nihkumine planeedi môjul wäga wäike (G — wäike).

Planeet ja päike liiguwad ühise raskuspunkti ümber. Päike teeb ainult wäga wäikese ellipsi, planeet aga — suure, nagu joonistusel 109 näeme.



Joon. 109.

Kui silmas pidada maa liikumist päikese suhtes, peame päikese paigalseiswaks lugema. Môôdame igakord ühest ja samast punktist, milles meie päikese oletasime, kauguste OM ja Om summa, s. t. $OM_1 + Om_1$, $OM_2 + Om_2$ jne. saame ka ellipsi mis annab maa relatiiwse orbiidi, mille juures päike muidugi selle ellipsi fookuses on.

Sedasama peame ütlema ka kuu liikumisest ümber maa. Need môlemad kehad ringiwad ühise raskuspunkti ümber, maa nihkumine on aga kuu nihkumisest nii mitu korda wäiksem, kui mitu korda kuu mass maa massist on wäiksem. Rada, mille kuu paigalpüsiwana kujutatud maa ümber teeb, nimetatakse kuu relatiiwseks orbiidiks.

Kepleri seadus on järeldus Newtoni seadusest. Kepleri kolmanda seaduse abil tegi Newton selgeks, kuidas muutub päikese tômbejôud, mis tema arwates planeetide liikumist pidi walitsema.

Ümberpöördult, wälja minnes Newtoni seadusest, wôime näidata, et planeedid päikese ümber nii liikuma peawad, et nende ringkäigu aegade ruudud suhtuwad, nagu keskmiste kauguste kolmandad astmed.

Newton näitas, et ka teised kaks Kepleri seadust on järeldusiks koguilmlise tômbejôu seadusest.

Kui planeet päikese tômbejôu môjul liigub, siis läheb ta ellipsist mööda, mille ühes fookuses on päike ja selle juures on wäljad, mille planeedi raadius-wektor üle tômbab, ajale proportsionaalsed.

Planeedi relatiiwses liikumises ümber päikese, mille meie paigalseiswaks loeme, on kiirendus

$$K_1 = g_1 + G_1 = \frac{k^2}{r_1^2}(M + m_1).$$

Teise planeedi kiirendus

$$K_2 = g_2 + G_2 + \frac{k^2}{r_2^2}(M + m_2)$$

nii et

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^2 (M + m_1)}{r_1^2 (M + m_2)}.$$

Huygensi teoreemi põhjal saame (lhk. 91)

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} \cdot \frac{r_1}{r_2}.$$

Järjelikult,

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{t_1^2}{t_2^2} \cdot \frac{M + m_1}{M + m_2}.$$

See on kolmas Kepleri seadus parandatud kujul.

Et planeetide massid võrreldes päikese massiga on väga väikesed, siis saame, jättes m_1 ja m_2, M kõrval tähele panemata

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{Mt_1^2}{Mt_2^2}$$

ehk

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{t_1^2}{t_2^2}.$$

s. t. saame seaduse awalduse sel kujul, milles ta Kepleri enese poolt antud.

Mõiste häiretest. Iga planeeti tõmbab külge mitte ainult päike, waid ka teised planeedid. Wiimaste mõjud on väga väiksed, sest et nende massid on päikese massi kõrval tähtsuseta (w. planeetide tabelit raamatu lõpus). Sellepärast uuritakse planeedi päikese ümber liikumist ellipsil, planeetide mõju võetakse aga koguilmlise tõmbejõu seaduse põhjal kui h ä l w e d sellest ellipsist arwesse. Neid hälweid nimetakse h ä i r e t e k s, p e r t u r b a t s i o o n i d e k s.

Käesolewal ajal, kus neid hälweid suudetakse wälja arwata, on isegi ette arwatud planeetide seisud haruldaselt heas kokkukõlas nenpega, mida otsekohesed waatlemised annawad.

Ja see kokkukõla on näitlikuks, wastuwaidlematuks tõenduseks, et Newtoni seadus on õige; ta sundis waikima kõik kallaletikkumised, mis alguses selle seaduse wastu tõusid.

Neptuni ülesleidmine. Selle suure seaduse hiilgawaks wõiduks oli planeedi Neptuni ülesleidmine wäljaarwamise teel.

Peale nende planeetide, mida juba wanal ajal tunti: Merkuuri, Weenuse, Marsi, Jupiteri ja Saturni, teame meie nüüd weel Uurani, Neptuni ja umbes 800 nõndanimetud wäikest planeeti.

Kõik wäiksed planeedid paistawad wäga nõrkadena tähekestena, mis kinnistähist ainult oma edasinihkumistega eralduwad. Nende orbiidid on Marsi ja Jupiteri orbiitide wahel. Esimene nendest leiti 1. jaanuaril 1801 a.

Uurani leidis Herschel 1781 a. See planeet on päikesest kaks korda kaugemal, kui Saturn, tema ringkäigu aeg ümber päikese on 84 aastat. Esimeste waatlemiste põhjal seati tabelid kokku, mis tema seisu taewas ära määrasid. Täheteadlaste suureks imestuseks hakkasid aga nende tabelite järele wälja arwatud seisud waadeldawaist ikka rohkem ja rohkem lahkuma. Ei aidanud mingisugused tabelite parandused. 1826 a. tõusis lahkuminek kõige suuremaks. Siis tekkis kahtlus, et planeet mõne teise, alles tundmatu planeedi mõjul oma orbiidist kõrwale kaldub.

Kus on aga see tundmatu planeet: missuguses sihis on ta praegu, kui kaugel päikeselt, missugune on tema mass jne.?

Selle ülesande otsustasid iseseiswalt kaks täheteadlast, Adams — Inglismaal ja Leverrier — Prantsusmaal.

Wiimane kirjutas kirja täheteadlasele Gallele Berliini, kus olid juba wäikeste tähtede kaardid kokku seatud, ja samal ööl, kui Galle kirja kätte sai, leidis ta taewas 8-nda suuruse tähe, mida kaardil ei olnud. Kahtlemata oli tal tähtede keskel liikumine. Hiljem nimetati planeet Neptuniks. Tema teeb ringi päikese ümber 165 aastaga ja on wiimasest 30 korda kaugemal kui maa.

Pariisi tähttorni õues on Leverrier'le ausammas seatud. Õpetlane on taewa gloobuse kõrval seisvana kujutatud. Ta näitab seda kohta taewa wõlwil, kus tema wälja-arwamiste järele tundmatu planeet sel silmapilgul peab olema.

Planeetide masside määramine. Et planeetide häiriwat mõju wälja arwata, peab tundma nende masse. Juba Newton näitas, kuidas seda wõib teha.

Kui planeedil on kaaslane, siis on selle liikumine planeedi ümber wiimase tõmbejõust tingitud, nagu kuu liikumine tingitud on maa külgetõmbest.

Olgu ühe planeedi mass m_1, tema kaaslase kaugus t_1, ringkäigu wältus r_1,

Siis on kesktõukeline ehk tsentrifugaalne kiirendus kaaslase liikumises, mille orbiiti täitsa rahuldawalt ringiliseks wõib pidada, ühelt poolt

$$\frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}$$ (Huygensi teoreemi põhjal lhk. 91);

teiselt poolt

$$k\frac{m_1}{r_1^2}$$ (tõmbejõu seaduse põhjal lhk. 93).

Järjelikult,

$$\frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2} = k\frac{m_1}{r_1^2}.$$

Samuti teise planeedi tarwis, mille mass on m_2, kaaslase kaugus — r_2, tema ringkäigu wältus t_2:

$$\frac{4\pi^2 r_2}{t_2^2} = k\frac{m_2}{r_2^2}.$$

Jagades need kaks wõrdust teine teisele, saame

$$\frac{r_1 t_2^2}{r_2 t_1^2} = \frac{m_1}{m_2}\cdot\frac{r_2^2}{r_1^2}$$

siit leiame planeetide masside wahekorra

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2$$

Wõrdleme, näituseks, kuu liikumist ümber maa Jupiteri kõige lähema kaaslase (heledaist kaaslasist) liikumisega:

m_1 = Jupiteri mass
t_1 = 1,7691 päewa } Jupiteri
r_1 = 420000 klm. } kaaslane

m_2 = maa mass
t_2 = 27,3217 päewa } kuu
r_2 = 384400 klm. }

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{420000}{384400}\right)^3\left(\frac{27{,}3217}{1{,}7691}\right)^2$$

$3lg\ 420000 = 16{,}86975$	$3lg\ 384400 = 16{,}75434$
$2lg\ 27{,}3217 = 2{,}87302$	$2lg\ 1{,}7691 = 0{,}49550$
lugeja $lg = 19{,}74277$	nimetaja $lg = 17{,}24984$

$$lg\frac{m_1}{m_2} = 2{,}49293$$

nii et ligikaudselt

$$\frac{m_1}{m_2} = 310,$$

s. t. Jupiteri mass on maa massist 310 korda suurem.

Päikese massi wõime wälja arwata, wõrreldes maa ringimist ümber päikese kuu ringimisega ümber maa.

M = päikese mass
T = 365,256 päewa (sideer. a.) } maa
R = 149500000 klm. }

m = maa mass
t = 27,3217 päew } kuu
r = 384400 klm. }

$$\frac{M}{m} = \left(\frac{149500000}{384400}\right)^3\left(\frac{27{,}3217}{365{,}256}\right)^2$$

$3lg\ 149500000 = 24{,}52392$	$3lg\ 384400 = 16{,}75434$
$2lg\ 27{,}3217 = 2{,}87302$	$2lg\ 365{,}256 = 5{,}12520$
lugeja $lg = 27{,}39694$	nimetaja $lg = 21{,}87954$

$$lg\frac{M}{m} = 5{,}51740.$$

Siit ligikaudselt

$$\frac{M}{m} = 329000$$

s. t. **päikese mass on maa massist 329000 korda suurem.**

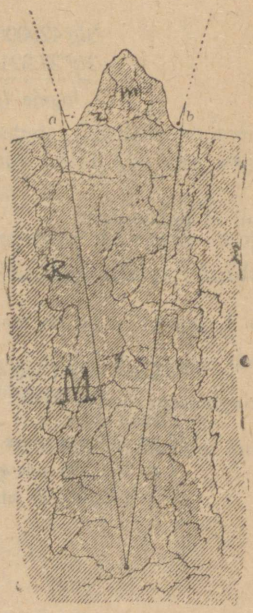
Merkuuri ja Weenuse masse ei saa sel teel teada, sest neil puuduwad kaaslased. Aga need häired, mida nad nende lähedalt möödaminewate planeetide ja komeetide liikumisis tekitawad, annawad meile wôimaluse määrata ka nende massid.

Maa tihedus. Meie teame nüüd mitte ainult päikese ja planeetide masside w a h e k o r d i maa massiga, waid wôime wälja arwata ka maa enese massi, ja et maa ruumala on teada, siis wôime ka tema tiheduse leida.

Selleks on tarwis wôrrelda maa külgetômmet sarnase massi külgetômbega, mida meie môôta wôime.

On tähele pandud, et lootjoon mägede läheduses nende külgetômbe môjul oma sihti muudab.

Môôdame ühe ja sama tähe seniitkauguse tema kulminatsiooni ajal kahes punktis *a*-s ja *b*-s, mis asuwad ühel meridiaanil, aga kahel pool mäge (joon. 110). Seniitkauguste wahe on wôrdne nende punktide lootjoonte wahelisele nurgale. Kui lootjoone hälwe puuduks, siis oleks see nurk punktide *a* ja *b* geograafiliste laiuste wahe suurune, mida wôimalik wälja arwata, kui teame kaare *ab* pikkuse. Katsetes, mida Maskeleyn ja Hutton 1772 a. tegid, oli lootjoonte waheline nurk 53″, kuna geodeetilised môôtmised andsid 41″, see on 12″ wähem. See wahe tulebki mäe külgetômbest. Wôib wälja arwata, mitu korda see külgetômme on maa külgetômbest wäiksem. Wôib ka ligikaudselt wälja arwata mäe ruumala ja, teades, missugustest mineraalidest mäe aine koos seisab, üles leida tema massi, järjelikult, wôime ära määrata ka maakera massi.



Joon. 110.

Maskeleyn leidis niiwiisi, et mäe keskmine tihedus weega wôrreldes = 4,7.

Wôib wôrrelda maa külgetômmet massiiwsete kerade külgetômbega. Cavendishi esialgses katses oli kangi cd küljes kaks kuuli f ja g (joon. 111). Kui kerale f massiiwne kera h lähendati, tômbusid nad üks teise poole ja kang hakkas kôikuma.

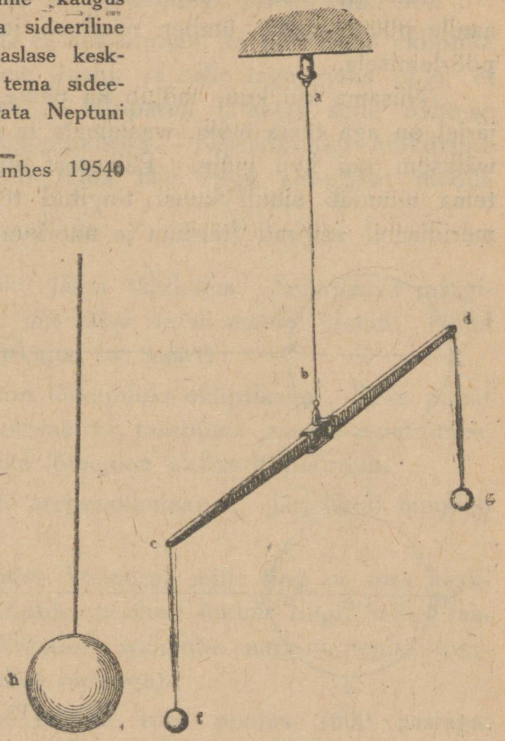
Kangi kôikumise järele wôis otsustada jôu üle, mis selle kôikumise tekitas, nagu meie pendli wônkumise järele raskuse tungi üle otsustame.

Need ja ka teised katsed annawad maa t i h e d u s e l e arwu **5,5.**

Ülesanne 1. Marsi kaaslase Deimose keskmine kaugus Marsist on 233000 kilom., tema sideeriline ringkäik — 1,2624 päewa. Määrata Marsi massi wahekord maaga. **Wastus.** — 0,1.

Ülesanne 2. Neptuni keskmine kaugus päikeselt on 4493000000 klm., tema sideeriline ringkäik 60181 päewa. Neptuni kaaslase keskmine kaugus planeedilt 353000 klm., tema sideeriline ringkäik 5,8768 päewa. Määrata Neptuni mass päikese suhtes.

Wastus. — Päikese mass on umbes 19540 korda Neptuni massist suurem.



Joon. 111.

Tõusud ja mõõnad. — Mere kaldal, iseäranis ookeani kallastel, on näha wee korduwaid tõuse ja mõõnu. Tõus kestab keskmiselt 6 tundi 12 min.; wesi tõuseb kõrgele ja walgub kallastele, sellele järgneb mõõn, mis kestab ka 6 tundi 12 min.; wesi taganeb kaugele merre, jättes kaldale mitmesuguseid „mere andeid". Nõnda on iga ööpäewa jooksul meres kaks tõusu, mis teine teisele 12 tunni 25 minuti tagant järgnewad, ja kaks mõõna sama perioodiga. Et waheaeg kuu ülemisest ja alumisest kulminatsioonist läbimineku wahel on ka 12 tundi 25 min., siis on korraga selge, et kuu mõjub tõusudesse ja mõõnadesse.

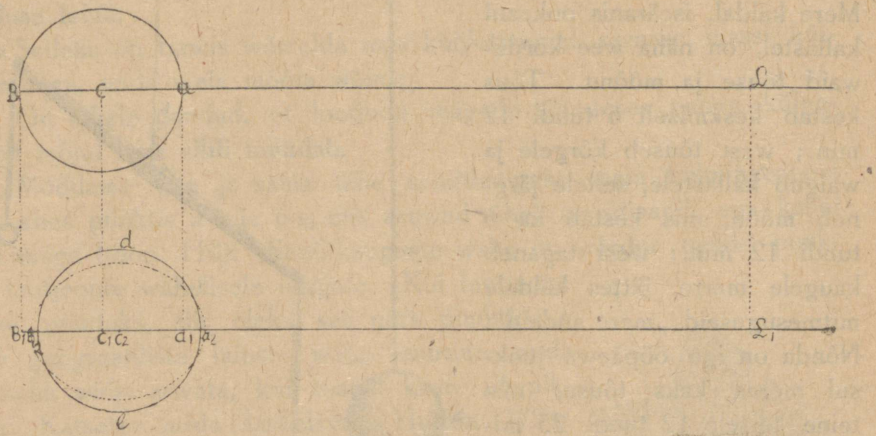
Juba wanal ajal oli aimdus, et on olemas side tõusunähtuste ja kuu liikumise wahel, ometi ei suutnud enne Newtoni keegi seda sidet seletada. Newtonile aga oli tõusude seletus otsekoheseks järelduseks tema poolt leitud koguilmlise grawitatsiooni seadusest.

Nagu maa oma külgetõmbega kuu enese ümber ringima sunnib, nii ka ümberpöördult, — kuu tõmbab maakera külge. Selle juures tõmbuwad need maakera osad, mis kuule lähemal, muidugi tugewamini tema poole, nad omawad suurema kiirenduse. Nihkugu maa keskkoht c (joon. 112) kuu L külgetõmbe mõjul c_1c_2 wõrra. Punkt a nihkub siis — kui ta liikuda saab — a_1a_2 wõrra, mille juures a_1a_2 suurem on kui c_1c_2. Punkti b nihkumine on b_1b_2, wäiksem kui c_1c_2. Nõnda kerkib weepinnal kaks tõusulainet, üks kuu poole pöördud küljel

(punkt *a*), teine — wastuseiswal (punkt *b*). Punktides, mis 90° eemal, on weepinna alanemine — môôn (punktides *d* ja *c*).

Maa pöörlemise môjul peab tôusulaine, mis kuuga ühele meridiaanile püüab jääda, ümber maakera jooksma wastupidises sihis maa pöörlemisele.

Niisama kui kuu, môjub ka päike. Päikese hiigla kauguse tagajärjel on aga tema môju, waatamata ta päratu suuruse peale, 2,2 korda wäiksem kui kuu môju. Päikesest tingitud tôusu eraldi näha ei ole, tema muudab ainult kuust tingitud tôusu. Kui päike ja kuu ühel meridiaanil asuwad (täiskuu ja noorkuu) langewad päikesest ja kuust



Joon. 112.

tingitud tôusulained ühte, tôus on kôige suurem; esimesel ja wiimase weerandil langeb päikesest tingitud tôus kuust tingitud môônaga ühte.

Tôusu suurusse môjuwad: taewakehade seis akwaatori suhtes, nende kaugus maalt, häired kuu liikumises, ookeani sügawus ja mitmesugused kohalised tingimused kaldal. Lahtisel merel on tôusud wäikesed. Püha Heleena, Ülestôusmise ja Sandwischi saartel ei ulata nad isegi meetri kôrguseni. Mannermaade kallastel aga on nad palju suuremad: 4—5 meetrit. Kinnistes lahtedes tôusewad nad määratu kôrguseni — 21 meetr.

Tôusulaine jääb kuust tema nähtawas ööpäewases liikumises maha ja waheaeg kuu meridiaanist läbimineku ja meretôusu wahel on muutlik. Selle waheaja suurust täiskuu ja noorkuu lähedal nimetakse lisatunniks. Tihti on kahes teine teise lähedal olewas kohas lisatunnid wäga mitmesugused.

Pretsessioon. Maa sideeriline ringkäik = 365,265 päewa. Aga juba Hipparch 150 a. enne Kr. s. pani tähele, et päike kewadpunkti

ennem tagasi jôuab, kui ta lôpetab täie ringi oma nähtawas liikumises tähtede keskel. Nôndanimetud troopiline aasta, nagu juba rääkisime = 365 päewa 5 tundi 48 min. 46 sek. = 365,242 päewa (lhk. 30).

Selle põhjuseks on asjaolu, et kewadpunkt ei püsi ühes ekliptika punktis, waid ta nihkub päikesele wastu, ja selle tagajärjeks ongi, et kewade wähe ennem kätte jôuab. Hipparch nimetas selle nähtuse pretsessiooniks, s. t. ettejôudmiseks. Kewadpunkti nihkumine on 50″ aastas. Järjelikult teeb tema täie ringi ekliptikat mööda $\frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{50}$, s. t. umbes 26000 aastaga.

Wanal ajal oli kewadpunkt Jäära tähtkujus. Sellepärast märgitaksegi seda punkti ♈ märgiga, mis jäära sarwi meele tuletab. Nüüd on kewadpunkt juba Kalade tähtkujus (w. kaart).

Kewadpunktiks on ekwaatori lôikepunkt ekliptikaga. Selle punkt nihkumise põhjuseks wôib olla ekwaatori tasapinna asendi muutumine, mille juures ekwaatori ja ekliptika lôikejoon ühtlaselt pöördub.

Maailma telg on ekwaatorile perpendikulaarne. Järjelikult muudab pretsessioon ka pooluse asendit.

Maailma telg kujutab liikudes koonuse, mille tipp on maa keskkohas ja poolus teeb taewas ekliptika pooluse ümber ringi, mille raadius on $23^1/_2{}^0$. (Ekliptika ja ekwaatori waheline nurk = nende tasapindade perpendikulaaride wahelise nurgaga).

Täie pöörangu seda ringi mööda teeb poolus 2600 aastaga. Nüüd on tema Wäikeses Wankris tähe alfa lähedal. Seda tähte nimetakse Põhjanaelaks. 4000 a. tagasi oli poolus tähe alfa Draakonis lähedal. 1200 a. pärast saab Weega (alfa Lüüras) Põhjanaelaks.

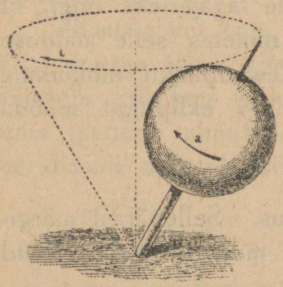
Newton suutis sellegi saladuslise nähtuse seletada. Maal on nn. pöördellipsoiidi kuju. See on kera lisamassidega, mis ekwaatori lähedal paksemad. On selge, et päikese S mõju punktisse m suurem on kui punktisse m_1 (joon. 113). Selle tagajärjel tekib tung, mis püüab maad noole sihis pöörlema panna (ekliptika tasapinnas olewa ja joonele CS perpendikulaarse telje ümber). See tung sunnib maa telge pp^1 oma asendit muutma, igal järgmisel silmapilgul kordub see mõju ja maa telg kujutab selle tagajärjel koonuse pinna.



Joon. 113.

Lihtne riist annab aime sellest nähtusest, millega meil on tegemist pretsessiooniga — wurr. Laske ta nii käima, et telg oleks püsti. Kiire pöörlemise mõjul ei lange wurr maha, waid telje wertikaalne seis säilib kauemat aega.

Korrake katse, aga pea pärast seda, kui teie wurri käima panite, rôhuge tema massiiwset osa. Rôhumine sunnib wurri pöörlemistelje kallakile, mitte aga sinnapoole, kuhu rôhume, waid wähe ettepoole. Ta kutsub esile telje koonilise liikumise (joon. 114). Sarnane nähtus on ka pretsessioonis.



Joon. 114.

Maa ekwatoriaalse kühmuse peale môjub mitte ainult päikese, waid ka kuu külgetômme.

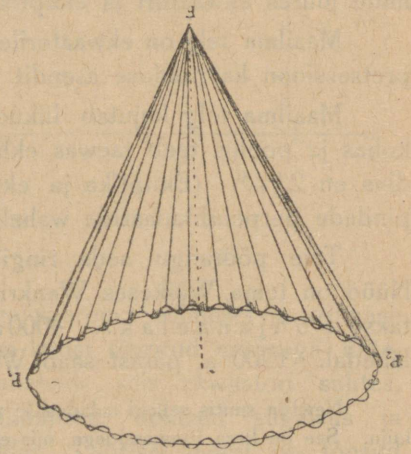
Pretsessiooni nähtus on, järjelikult, keeruline.

Nutatsioon. Aga kuu môju muutub aastast-aastasse, sest kuu orbiidi tasapinna asend on muutuw.

Meie tähendasime juba, et kuu orbiidi tasapinna lôikejoon ekliptika tasapinnaga, nôndanimetud, sôlmede joon, edasi nihkub, tehes $18^1/_2$ aastaga täie ringi (lhk. 74). Selle tagajärjel on kuu môjul perioodne iseloom, perioodi pikkus $18^1/_2$ aastat, ja poolus teeb taewas ôieti mitte ringi, waid sigsaagikujulise joone, mille juures hälwed keskmist ringliikumistest ühele ja teisele poole 9 a. kestawad (joon. 115). Neid pooluse hälweid nimetakse nutatsiooniks.

Nutatsiooni leidis üles Bradley (1748 a.) tähtede koordinaatide muutumise pôhjal.

Taewa mehaanika. Newton pani aluse teadusele, mida nüüd „taewa mehaanikaks“ nimetakse. Taewa mehaanika seletab ära ja arwab peenusteni wälja kôik taewakehade keerulised liikumised ja nende wastastikkused môjud. Newtoni teened on wäga suured juba selgi alal, rääkimata tema teisist leidusist füüsika ja matemaatika aladel. Inimkond tunnustas seda ôigel ajal. Newton sündis kehwapoolses talus, aga maeti peaaegu kuningliku toredusega Londonis Westminsteri kloostri.



Joon. 115.

XX. peatükk.

PÄIKESE SÜSTEEM.

Päike on paljude taewa kehade süsteemis tsentraalkehaks. Tema ümber ringiwad 8 suurt planeeti: Merkuur, Weenus, Maa, Mars, Jupiter, Saturn, Uuran, Neptun, ligi 800 wäikest planeeti — Marsi ja Jupiteri wahel ja mõned komeedid, millede orbiidid on planeetide omadest hästi pikergusemad. Teised komeedid tulewad temasse lühikeseks ajaks: üht paraaboli haru mööda (w. peat. XXIII) tuleb komeet lõpmatust ilmaruumist, teist mööda — kaugub uuesti.

Mõnede suurte planeetide ümber käiwad kaaslased, moodustades iseseiswaid, aga wäiksemaid süsteeme. Nagu praegusel ajal teada, on

maal — üks kaaslane,
Marsil — kaks
Jupiteril — kümme
Saturnil — kümme
Uuranil — neli
Neptunil — üks.

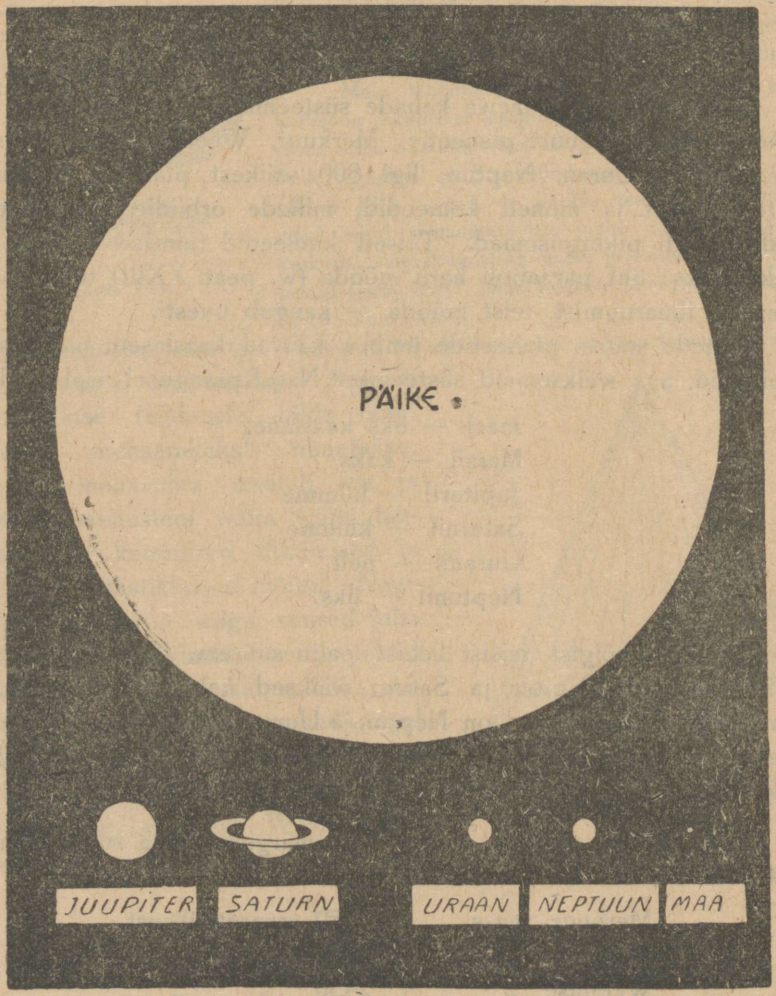
Päike on kõigist teisist kehist palju suurem. Temaga wõrreldes on isegi wägew Jupiter ja Saturn wäiksed kehad, nagu joon. 116 näeme. Weel wäiksemad on Neptun ja Uuran. Maa on pisike rattake, samasugune on ka Weenus. Mars ja Merkuur on joonistusel kaduwad punktid.

Suur on ka päikese mass. Kui märgime tema suuruse arwuga 1.000,000.000, siis on

Merkuuri	mass	170	sarnast	üksust
Marsi	„	323	„	„
Weenuse	„	2450	„	„
Maa	„	3037	„	„
Uurani	„	43950	„	„
Neptuni	„	51180	„	„
Saturni	„	285550	„	„
Jupiteri	„	955100	„	„
Päikese	„	1000000000	„	„

Isegi kôik planeedid kokku annawad ainult $\frac{1}{700}$ osa päikese massist.

Katsuge teha päikese süsteemi kava. Wôtame, näituseks, maa kauguseks päikeselt 1 detsimeetri = 10 sentim. Siis on Merkuur



Joon. 116.

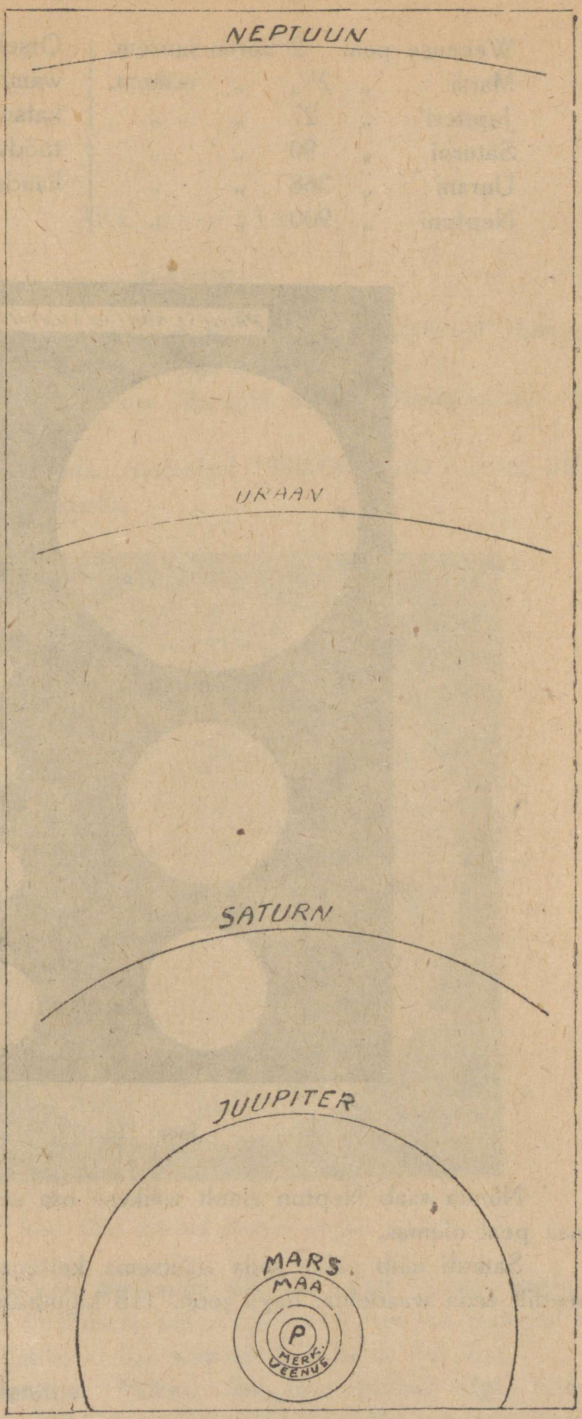
tarwis panna 4 sentim. kaugusse keskkohalt, Weenus — 7 sentim., Mars — 15 sentim. Wäiksed planeedid 21—43 sentim., Jupiter 52 sentim., Saturn 95 sentim. s. t. peaaegu meeter. Uuran 192 sentim.

kaugusse, Neptun — 300 sentim. see on 3 meetrit, ehk peaaegu $1^1/_2$ sülda (joon. 117).

Ülesanne. Kui kaua aega tuleb walgus maakerale kuult, päikselt, Neptunilt. **Wast.** $1^1/_4$, $8^1/_3$ min. 4 tundi.

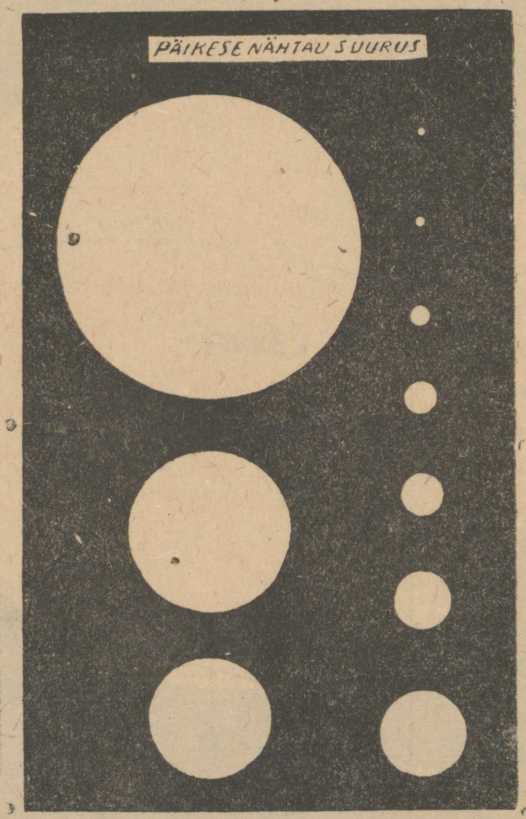
Päike määrab oma külgetõmbega planeetide liikumise. Ta soojendab neid oma soojusega ja walgustab oma heleda walgusega. Muidugi on päikese tähtsus mõnele planeedile suurem, teisele wäiksem. Mida kaugemal on planeet, seda wähem saab ta päikselt soojust ja walgust. Valgustamine ja soojendamine on kauguse ruudule wastupidi proportsionaalne. Seadus on sama, mis tõmbejõulgi.

Selle tagajärjel on Merkuuril päikese kiirte intensiiwsus $6^1/_4$ korda suurem kui maal.



Joon. 117.

Weenuse peal	2	korda	suurem.	Otsekoheste wäljaarwamiste abil järele katsuda, wõttes ülewaltoodud planeetide ligikaudsed kaugused päikeselt.
Marsi	„ $2^1/_4$	„	wähem.	
Jupiteri	„ 27	„	„	
Saturni	„ 90	„	„	
Uurani	„ 368	„	„	
Neptuni	„ 900	„	„	



Joon. 118.

Nõnda saab Neptun ainult wäikese osa sellest soojusest, mis meil maa peal olemas.

Samuti näib päike seda wäiksema kettana, mida kaugemalt planeedilt teda waadelda, nagu joon. 118 kujutatud.

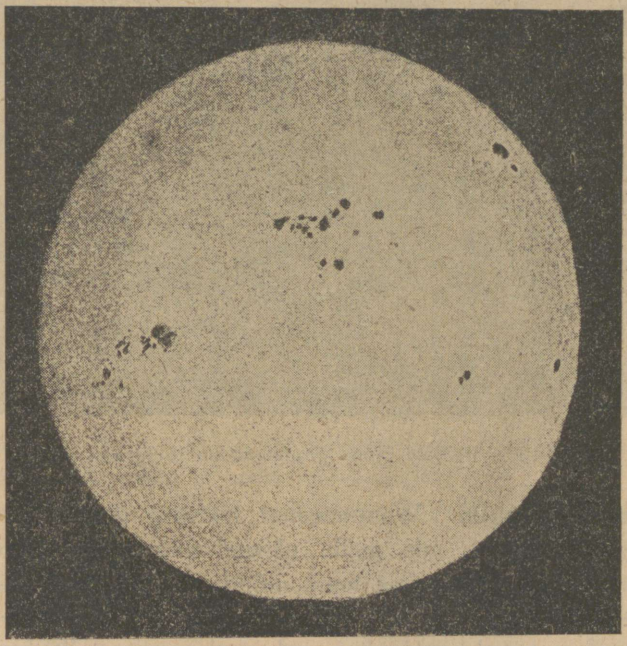
XXI. peatükk.

PÄIKE.

Waatamata suure kauguse peale maalt (149.500.000 klm.), on päike meil ometi 32′-se nurga all näha.

Siit leiame, et tema tôeline läbimôôt on maa läbimôôdust umbes 109 korda suurem.

Päikese ruumala on maa ruumalast 1300000 korda suurem, päikese mass aga ainult 329000 korda.



Joon. 119. Laigud päikese pinnal.

Järjelikult on päikese keskmine tihedus ainult $^1/_4$ maa keskmisest tihedusest, s. t. wee tihedusest wähe suurem — see on esimene resultaat, mis näitab, et päike ei ole sarnane tihe keha, kui maa.

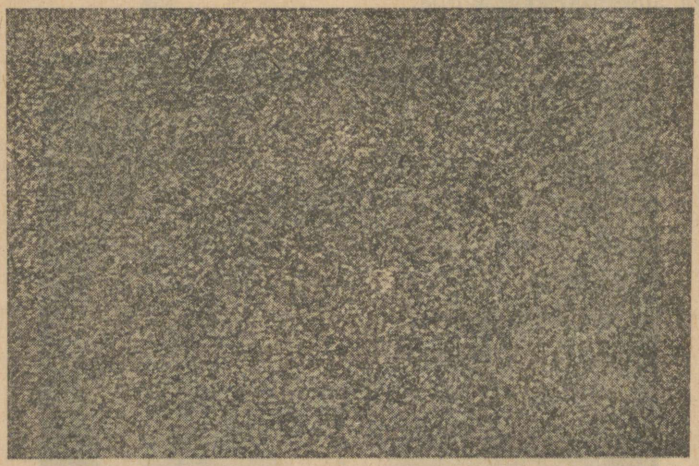
Päikese pöörlemine. Päikese hiilgawal pinnal nägi tumedaid laike juba Galilei, kes pikksilma üles leidis ja selle esimesena taewasse

juhtis. Need laigud ei püsi päikese kettal paigal, ja nende nihkumise põhjal wõib päikese pöörlemise üle otsustada (joon. 119.).

Päikese pöörangu wältus on 25 päewa.

See on aga ainult ekwaatoril. Kui wõtta päikese pinnal punkt, mis on ekwaatorilt põhja ehk lõuna pool, siis on selle punkti pöörlemiswältus suurem: 26 päewa, 27, 28. Mida poolusele lähemal, seda suurem. Tähendab, päike pöörleb mitte terwikuna, waid wööde kaupa: ekwatoriaalne wöö — kõige kiiremine, poolustele lähemal olewad osad — aeglasemalt. Jällegi tõendus, et päike pole kindel keha.

Granulatsioon. Hea pikksilmaga waadeldes paistab päikese pimestawalt hiilgaw pind, nõndanimetud fotosfäär, tähnilisena — just nagu ujuks piimas paisunud riisi terad. Seda sõmerlist päikese pinda nimetakse granulatsiooniks (sõmerkihiks, joon. 120).



Joon. 120. Päikese pinna granulatsioon fotografia järele.

Laigud ja faaklid. Wahetewahel tekiwad ühetaolisel sõmerlisel pinnal hiigla pöörised, mis meile näiwad suuremate ehk wäiksemate laikudena: keskel tumekas tuum, nõndanimetud wari, ümberringi hall äär — poolwari (joon 121).

Mõnikord on laigud haruldaselt suured, maakera pinnast 100 korda ja enamgi suuremad. Neil juhustel wõib laiku ka ilma pikksilmata näha, kui päikest waadata läbi tahmase klaasi.

Laigud ilmuwad enamasti salkadena. Wahel on ühes salgas mitu sada wäikest laiku.

Laikude ümbruses, mõnikord ka eraldi neist, on päikese kettal äärte läheduses heledaid ussikesi — nõndanimetud faakleid ehk loiteid näha. Need on hiilgawa fotosfääri kõrgemale kerkinud osad.

Päikese laikude ja faaklite perioodsus. Ôige saladuslik ja huwitaw on päikese laikude perioodsuse nähtus. Mônedel aastail on päikese ketas päris puhas, siis hakkawad temale laigud ilmuma ikka tihemini ja tihemini, nende üldarw aastas kaswab alatasa, saabub maksimum, mille järele päikese laikesünnitaw tegewus nôrgeneb, laikude arw wäheneb aastast aastasse, ja jälle tuleb aeg, kus päikesele laike üleüldse ei ilmu. Minimumist maksimumini läheb keskmiselt $4^1/_2$ aastat, maksimumist minimumini $6^1/_2$ a. Täieline periood on 11 aastat.

Sama periood on ka faaklitel.



Joon. 121. Päikese laik.

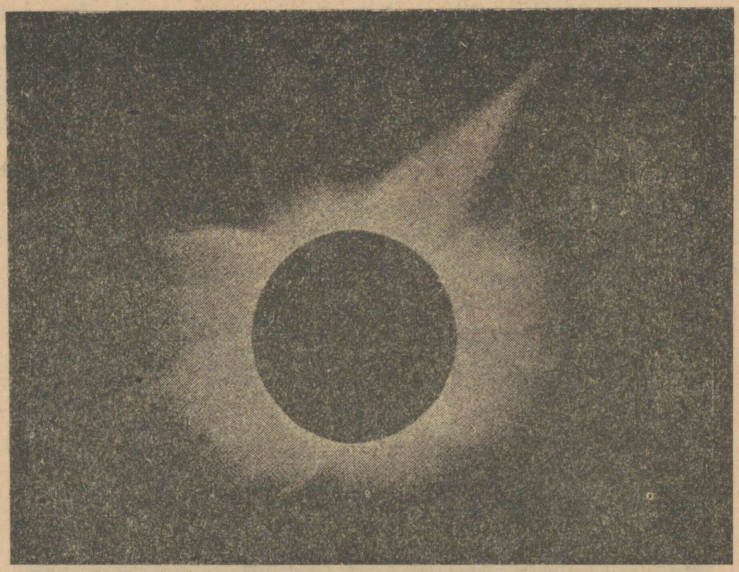
On tähele pandud, et päikese laikude maksimumi aastail maa peal tihemini näha on wirmalisi ja nôndanimetud magneedi torme, kus magneedi nôel järske ja suuri kôikumisi ilmutab.

Wiimane päikese laikude minimum oli 1911 a. Wiimane maksimum 1916 a.

Päikese ôhkkond. Päike on ôhkkonnast ümbritsetud, mille koosseisu kohta päikese spektri tumedaist joonist järeldusi wôib teha. Selgub, et temas ujuwad naatriumi, magneesiumi, raua, nikli ja paljude teiste ainete aurud.

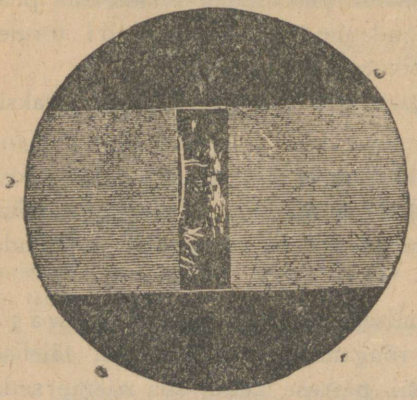
Päikese kroon. Ôhkkonna ülemised kihid seisawad koos wäga ôredast ainest, mis päikest laia rôngana ümbritseb. Kui täielise päikese warjutuse ajal kuu katab kinni päikese ketta, siis näeme seda rôngast hiilgawa hôbedase kiirte-pärjana — see on nôndanimetud päikese kroon (joon. 98 ja 122).

Päikese kroon pole püsiw moodustus, ja tema wälimine kuju muutub. Nende warjutuste ajal, mis on päikese laikude maksimumide aastail, ümbritseb kroon päikest ühtlaselt, minimumide aastail on ta ekwaatori sihis wälja wenitud, pooluste juures on aga ainult lühikesi wôrseid näha.



Joon. 122. Päikese kroon täielise päikese warjutuse ajal 1896 aastal. Pulkowi astronoomi Kostinsky järele.

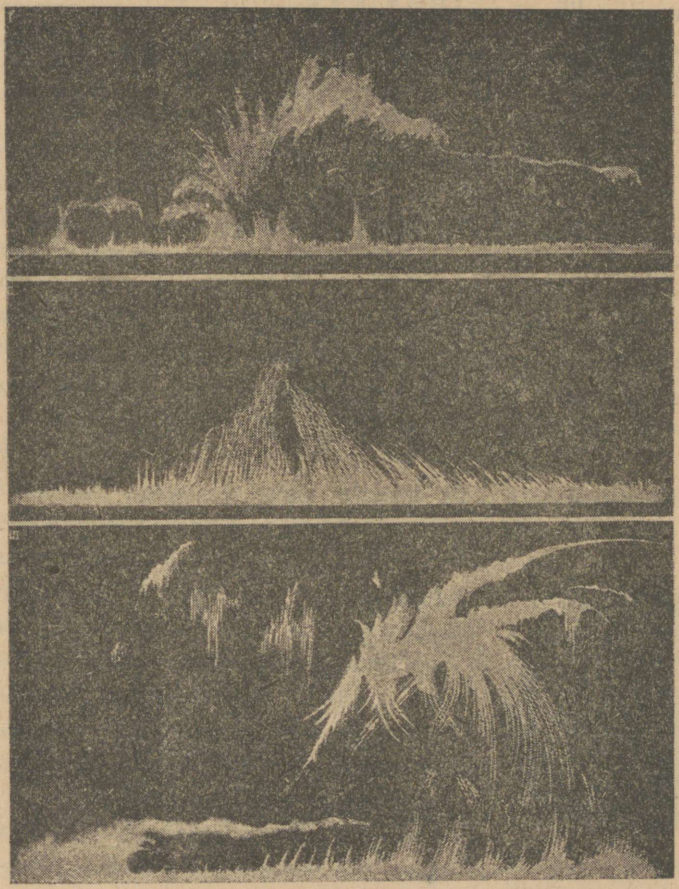
Protuberansid. Päikese pinnalt tôusewad kroonisse purpurpunased rahnud ehk protuberansid. Enne nähti neid rahne ainult täieliste warjutuste ajal. Nüüd ôpiti neid nägema ja isegi fotograafima ka ilma warjutusita, päikese täiel hiilgel. Selleks on tarwis suure walgushajutusega spektroskoop (joon. 123).



Joon. 123. Protuberans spektroskoobi pilus.

Protuberansid esitawad suuremalt osalt tulise wesiniku hulke. Nad ilmuwad mitmesugustes ja tihti ruttu muutuwais kujudes (joon. 124, 125, 126). Nende arw päikese peal muutub niisama perioodselt kui laikude ja faaklite arw. Perioodi kestus on samuti II aastat.

Päikese temperatuur. Päikese temperatuuri ei ole senini täpipealselt kindlaks määrata saadud, meie teame aga, et päikese peal on raskete metallide aure, sellepärast peame loomulikult oletama, et tema temperatuur on mitu tuhat kraadi. Keerulised järelekaalumised sunniwad ôpetlasi kôige tôenäolisemaks pidama 7000°C.



Joon. 124, 125, 126. Mitmesugused protuberanside kujud.

Päikese energia. On leitud, et maa peal iga ruutsentimeetrine tasapind, mis päikese kiirtele perpendikulaarne, saab minutis kolm wäikest kalori soojust.

Arwesse wôttes maakera pindala kogusuurust, leiame, et energia hulk, mille ta saab päikeselt, on wäga suur, aga ometi on see energia, mida maa

saab, tühine osa $\left(\frac{1}{22.000.000.000}\right)$ kôigest päikese energiast, mis igale poole ilmaruumi kiirgub.

Kui suur kôik see tagawara on, ei wôi meie öelda. Ei wôi ka seletada, kust ta saabub, miks meie tema kahanemist ei märka, kauaks teda jatkub.

On wôimalik, nagu Helmholz oletas, et päike, kiirgamise tagajärjel jahtudes, kokku tômbub, kokkutômbuse järeldusena tekib aga uus hulk sooja.

XXII. peatükk.

PLANEEDID JA NENDE KAASLASED. SOODIAGU WALGUS.

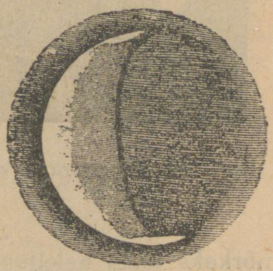
Merkuur on päikesele kôige ligem planeet ja kaheksast suurest planeedist kôige wäiksem.

Tema keskmine kaugus päikeselt on umbes 0,4 maa kaugust päikeselt. Läbimôôt — umbes $^1/_3$ maa omast, ruumala umbes $^1/_{20}$ maa ruumalast, mass kôigest $^1/_{600000}$ päikese massist.

Planeedi pinnal ei ole peaaegu midagi näha.

Merkuur on nähtawasti alati ühe küljega päikese poole pöördud. Sellel poolel walitseb, järjelikult, igawene päew ja kole kuumus, wastaspoolel — igawene öö ja külmus. Ôhkkonda pole Merkuuri ümber märgata.

Weenus on kauguselt teine planeet (0,7 maa kaug. päikeselt). Ta on peaaegu maakera suurune, tema mass on maa massist ainult pisut wäiksem, aga olukord, milles see planeet wiibib, läheb nähtawasti täiesti lahku sellest, mis on maakeral. Weenust ümbritseb tihe ôhkkond, mis tema peale langewaid päikese kiiri suurel määral tagasi heidab. Sellega seletub Weenuse erandline heledus. Ôhkkonna pärast ei wôi meie Weenuse pinnal midagi näha ja ei saa teada, kuidas ta pöörleb.



Joon. 127. Weenuse kuju pikksilmas. Peale heleda sirbi wôib weel tuhm-halli planeedi pruuni osa näha, kus walitseb hämarik.

Merkuur ja Weenus lähewad, päikese ümber ringides, kôikidest faasidest läbi, nagu kuu (joon. 100 ja 127).

Ei sel ega teisel planeedil pole kaaslasi.

Kuu on maale kôige lähem taewakeha. Tema kaugus maalt on ainult 60 maa raadiust. Kuu läbimôôt on umbes $^2/_7$ maa omast (joon. 128), ruumala umbes $^1/_{50}$, mass aga ainult $^1/_{80}$, nii et kuu tihedus on maa tihedusest ligi 2 korda wäiksem.

Kuu pöörlemine. Kuu on alati oma pinna ühe küljega maa poole pöördud.

Prof. Darwin andis sellele huwitawale nähtusele niisuguse seletuse (see seletus on nähtawasti ka Merkuuri kohta maksew). Kord oli kuu wedelas olekus. Maa külgetõmbe mõjul kerkis tema pinnal tõusulaine. See laine, olles oma harjaga alati maa poole pöördud, jooksis kuu pöörlemisel ümber kuu pinna, wastupidises sihis selle pöörlemisele. Ajajooksnl jahtudes, tihenes wedel mass, muutus sitkeks, ilmus hõõrumine, mis kuu sisemise massi pöörlemist takistas ja wiimaks, mitme miljoni aasta järele, jäi kuu pöörlemine nii aeglaseks, et ta muutus wõrdseks ringkäigu ajale ümber maa, selle juures jäi tõusulaine maa poole pöörduks.



Joon. 128. Maakera ja kuu suhtelised mõõted.

Nagu teoreetilised uurimised näitavad, on kuul tõepoolest kolmeteljelise ellipsoiidi kuju, mille suurem telg maa poole on sihitud. Muide, kuu ellipsoiidi teljed lähewad üksteisest wähe lahku.

Ööpäew on kuu peal niiwiisi $29^1/_2$ korda pikem kui maa peal. 15 meie ööpäewa kestes on iga koht kuu pinnal päikese kiirtest walgustud, 15 ööpäewa kestes walitseb pimedus.

Õhkkond. Kuu peal peab korraga walgeks minema, tema ümber pole õhkkonda, sellepärast ei wõi ilmuda seal ei koitu ega eha. Õhkkonna puudumist tõendawad tähtede kattumised. Täht, minnes kuu ketta taha, kaob silmapilkselt. Kui tema enne õhkkonda wajuks, mis pinna poole järjest tiheneks, siis nõrkeks tema heledus pikkamisi. Samuti annawad ka warjud kuu peal õhkkonna puudumisest tunnistust: nad on täitsa mustad, mitte hallid, nagu maa peal.

Pind. Kuu pinnal on juba palja silmaga näha tumedaid laike, nõndanim. meresid. Pikksilmaga wõib näha ka teisi peenusi.

Tähtsamad sünnitused kuu peal on ümmargused mäed, nõndanimetud tsirgid ehk ringmäed, mis oma ehitusega meie maa wulkaanide kraatereid meele tuletawad: wall, süwendus sissepoole, madalamale ümbritsewast pinnast ja tihti künkakene põhja keskkohas (joon. 129).

Walli kõrguse ja tsirgi sügawuse üle wõib warju järele otsustada.



Joon. 129. Tsirkid — ringmäed — **kuu pinnal.**

Oma üldkujuga meie wulkaane meele tuletades, erinewad kuu ringmäed neist oma suuruse poolest. Wall tôuseb kôige rohkem kahe wersta kôrguseni, läbimôôt on aga harilikult mitukümmend wersta; on olemas ka määratru suuri ringmägesid, millede läbimôôt on wersta 200.

Peale ringmägede on kuu peal ka massiiwseid kôrgustikke, mis wahel eraldi seisawad tasandikkudel, tihemini aga wôimsaid m ä e a h e l i k k e sünnitawad. Tsirkidest lähewad nad oma kôrguselt lahku, nad on isegi maa mägedest kôrgemad. Mere poole on mäeahelik järsk, teispoole — lame (joon. 130). Paljudes kohtades kuu pinnal on p r a o d, mis arwatawasti koore kokkutômbumisel tekkinud.



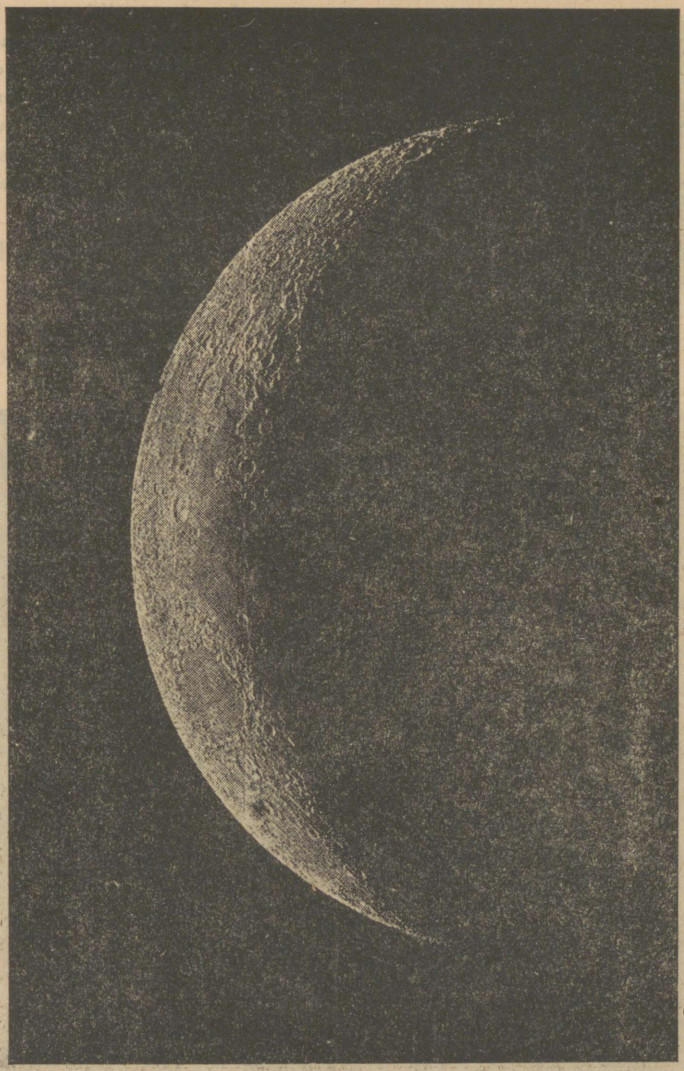
Joon. 130. Apeniinide mäeahelik Wihmade Mere äärel. Kôrged harjad heidawad pikki warje. Mägede aheliku ja ringmägede wahel on praod nähtawal.

Joonistusel 131 on näha môned heledad punktid, mis mustal foonil eraldi seisawad. Need on mägede tipud, mida tôuswa päikese kiir puudutand. Môôtes heleda punkti kaugust warju ja walguse piirilt, wôime määrata mäe kôrguse. Joon. 132 seletab selle môôtmiswiisi ideed. Môôtes heleda tipu M kaugust A-st ja teades kuu raadiust, wôime kolmnurgast ABM leida BM ja järjelikult, ka mäe kôrguse.

Täiskuu ajal wôib heledaid kiiri näha, mis mônedest ringmägedest raadiustena laiali lähewad (näituseks, Tycho joon. 133). Kahtlemata on kuu tormise wulkaanilise perioodi läbi elanud. Heledad kiired on nähtawasti tuhk, mille wulkaanid wälja on heitnud ja mis tuulte puudumise tagajärjel wabalt pinnale langend.

Tähelepanemiswäärt on, et wulkaanilised kohad maapinnal wäga kuu maastikke meele tuletawad. Wôrdleme, näituseks, joon. 134 ja 135. Kuu peal on ainult kôik kontuurid terawad ja kindlad, maa peal aga

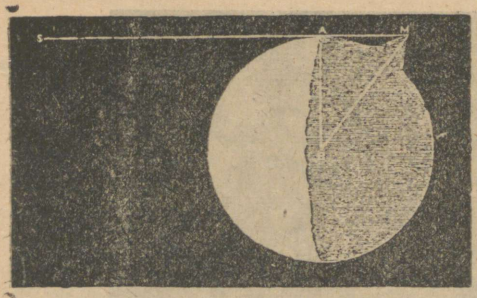
on mäed murenemise ja uhtumise tagajärjel tasandud, häwitud. Tihti on nad ka taimestikuga kaetud.



Joon. 131. Kitsas kuu sirp astronoomilises pikksilmas.

Wôimalik, et wulkaaniline tegewus pole kuu peal weel praegugi päris waikind. Tema surnud pinnal on môned muutused tähele pandud, aga need on igatahes erandlised ja enamasti ebamäärased nähtused.

Joonistus 136 kujutab ideaalset ôist maastikku kuul: wôrdlemisi madalad laiad tsirgid, kôrged mägede ahelikud, praod koores, ümberringi must taewas, temas heledad tähed ja „täismaa“ oma mannermaade uduste piirjoontega; ümbrus on waikne ja surnud, ei tuulepuhangut, ei lehtede kahinat, ei mingit häält. Ei ole ôhkkonda, mis häält edasi wôiks anda, mis wärwi annaks taewawôlwile. Päewal peawad kuu peal tähed päikesega ühtaegu näha olema.



Joon. 132.

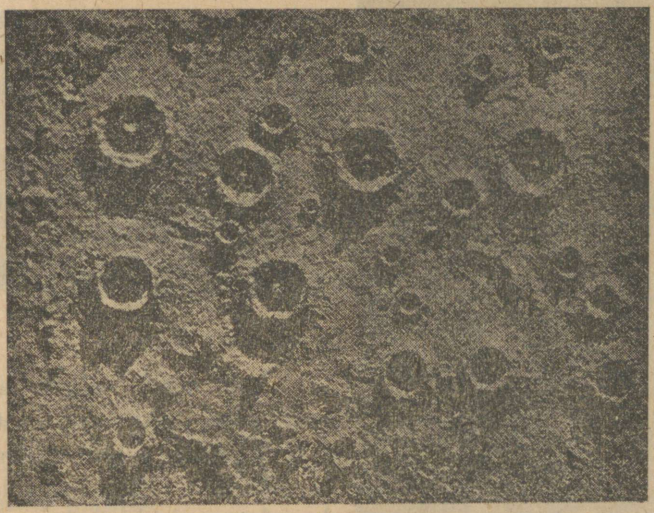
Mars on looduselt kôige rohkem maa sarnane planeet, olgugi et tema suurus maakera omast palju lahku läheb.



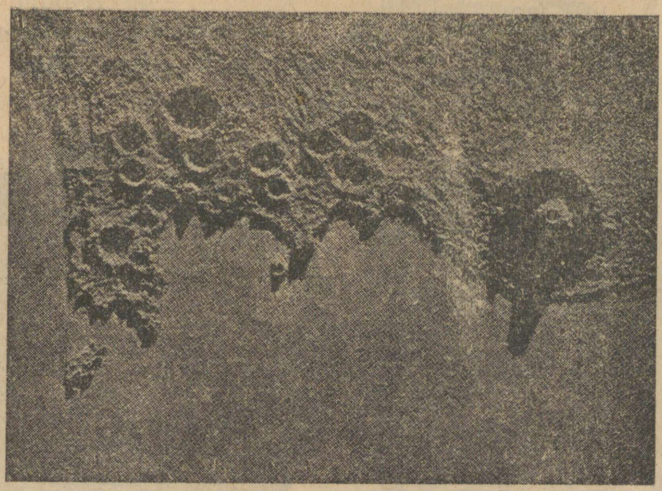
Joon. 133. Täieline kuu sôôr astronoomilises pikksilmas. Tycho ja Kopernikuse ringmägedelt laialduwad raadiustena heledad kiired.

Marsi läbimôôt on maa omast umbes 2 korda wäiksem, tema ruumala on ainult $^1/_7$ maa ruumalast. Marsi mass on $^1/_{10}$ maa massi; tihedus wee suhtes 4.

Marsi pinnal on täiesti kindlaid laike näha, millede põhjal wõis määrata planeedi pöörlemise oma telje ümber: pöörangu wältus = 24 tundi 37 min. 2,26 sek., ekwaatori kalle orbiidi tasapinnale 27°.



Joon. 134. Kuu maastik.



Joon. 135. Ideaalne maastik maa pinnal. Wesuuwi ligidal, Neapolist lääne pool.

Need on peaaegu just samad arwud, mis meil on maa kohta (pöörangu wältus 24 tundi, ekwaatori kalle ekliptikale $23^1/_2{}^0$).

Selle tagajärjel peawad nähtused, mis olenewad ööpäewast pöörlemisest, s a r n a s e d olema neile, mis maakeral tekiwad. Umbes sama on ka soojuse relatiiwne jaotus pinnal, olgugi et üldine soojuse hulk, mille Mars saab, on kaks korda wäiksem sellest, mille maa saab. Muide, mônesugune mitte-wastawus wôib sellest tulla, et Marsi ôhkkond on maa ôhkkonnast läbipaistwam.

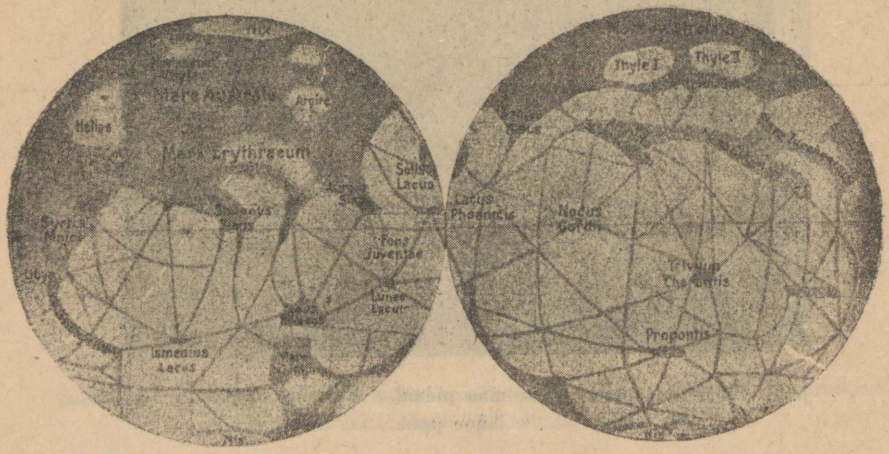


Joon. 136.

Marsi poolustel on näha w a l g e i d laike. Nende suurus wäheneb, kui wastawal poolkeral on suwi, nad nagu sulaksid päikese kiirte all.

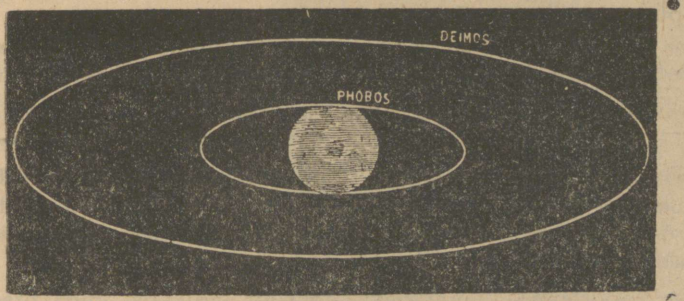
Peale nende walgete laikude on weel näha teisi laike — tumedaid ja heledaid, — millede muutuwus on wäiksem. Paljud waadlejad kalduwad tumedaid laike m e r e d e k s, heledaid aga — m a n n e r m a a d e k s tunnistama.

Oli wôimalik Marsi pinna kaardi kokku seada (joon. 137).



Joon. 137. Marsi pinna kaarti heledad kohad on n. n. kontinendid, tumedad — mered; neid ühendawad jooned — kanaalid.

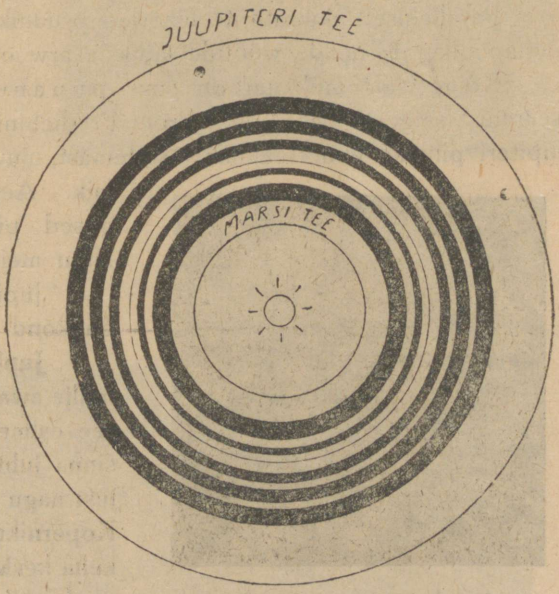
Saladusliseks nähtuseks on nõndanimetud kanaalid, mis läbistawad mannermaid ja ühendawad meresid. Mõnikord paistawad need kanaalid millegi pärast kahekordistena.



Joon. 138. Marsi kaaslaste orbiidid.

Marsil on kaks kaaslast, nad mõlemad on haruldaselt wäikesed ja planeedile wõrdlemisi lähedal (joon. 138).

Wäikesed planeedid ehk asteroiidid ringiwad laia wööna Marsi ja Jupiteri orbiitide wahel päikese ümber (lhk. 103). Praegusel ajal tuntud wäikeste planeetide arw ulatab umbes 800. Nende arw kaswab iga aastaga. Asteroiidid on wäga wäikesed taewa kehad. Kõige suuremail neist wõib läbimõõt 500—600 klm. olla, kõige wäiksemail isegi 30 klm. Pikksilmas paistawad nad nõrkadena tähekestena, ainult nende liikumine lahutab neid teisist tähist. Nende loodusest ei tea meie midagi. Nähtawasti on nad kõik ilma õhkkonnata nagu kuu ja Merkuur.



Joon. 139. Wäikeste planeetide orbiitide paigutus Marsi ja Jupiteri orbiitide wahel. Orbiidid on rõngaiks rühmitunud, millede wahel on tühjused.

Wäikeste planeetide orbiitide keskel on wahed just neil kohtadel, kus Jupiteri häiriw mõju iseäraliselt awalduma pidi; Jupiter oleks nagu planeedikesed laiali pillutand ja nende orbiidid tihedaiks rôngaiks rühmitand (joon. 139).

Jupiter. Wägew Jupiter on nii ruumalalt kui massilt kôige suurem planeet päikese süsteemis.

Tema ruumala on 1300 korda maa ruumalast suurem, mass 310 korda. Tähendab, Jupiter on päikese sarnane ka tiheduselt, mis on ainult $^1/_4$ maa tihedust.

Laikudest, mis Jupiteril näha, järeldame, et ta oma telje ümber pöörleb.

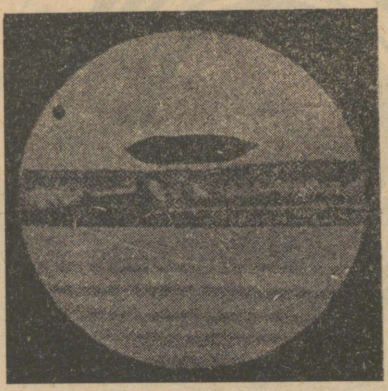
Huwitaw, et kitsas ekwatoriaalne wöö nähtawasti kiiremini pöörleb (pöörlemisaeg 9 tundi 50 min.), kui muu pind (pöörlemisaeg 9 tundi 55 min.). Sellest näeme jällegi Jupiteri sarnadust päikesega. Pöörlemistelg on orbiidi tasapinnale peaaegu perpendikulaarne.

Kiire pöörlemise tagajärjeks on suur lapikkus, mida otsekohesel waatlemisel selgesti märgata wôib ($^1/_{16}$).

Olles päikesest 5,2 korda kaugemal kui maa, saab Jupiter päikeselt wähe sooja. Tema ise aga ei ole nähtawasti weel jahtuda jôudnud. Planeedi pinnal ei näe meie kindlate kontuuridega sünnitusi; laikudel, mis näha tema kettal, on muutlik, pilwine iseloom.

Paralleelselt ekwaatorile lähewad pruunikad wöödid nii põhja- kui lôunapoolkeral; nende wöötide laius ja arw on muutlik.

Kôige iseloomulikum on suur punane laik, mis 1878—1886 iseäranis selgesti näha oli. Prof. Bredichini seletuse järele hakkas Jupiteri pinnale koor tekkima; osa temast, ujuw tulemeres, ongi punane laik. Aegajalt warjawad mitmesugused pilwelised sünnitused selle laigu meie silmade eest.



Joon. 140. Jupiteri pind prof. Bredichini waatlemiste põhjal. Rida paralleelseid wööte, iseäranis lai on keskmine, tema peal on pilwetaolised sünnitused näha, kôrgemal on punane laik. Tume ümmargune laiguke on planeedi eest mööda minewa kaaslase wari.

Jupiteri ümbritseb ôige tihe ôhkkond (joon. 140).

Jupiteri süsteem. Sügawa mulje awaldas Jupiter Galileisse, kui see esimest kord oma pikksilma sinna juhtis. Galilei nägi enese ees just nagu päikese süsteemi mudelit Kopernikuse teooria järele; suur keha keskkohas, tema ümber ringiwad wäikesed kehad — kaaslased.

Umbes 300 aastat teati ainult 4 kaaslast, mis Galilei üles leidis, 1892 a. nägi Ameerika täheteadlane Barnard weel wiienda, mis on ôige wäike keha.

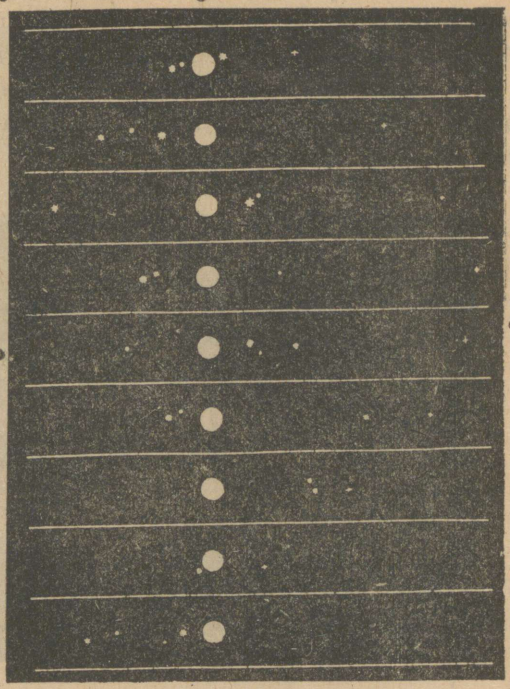
1904—1905 leiti fotograafia abil weel kaks nôrka kaaslast 1915 a. juba kümnes, ka wäga nôrk.

Neljast heledast kaaslasest on üks peaaegu Marsi, teine Merkuuri suurune, kôige wäiksem on umbes niisugune kui meie kuu.

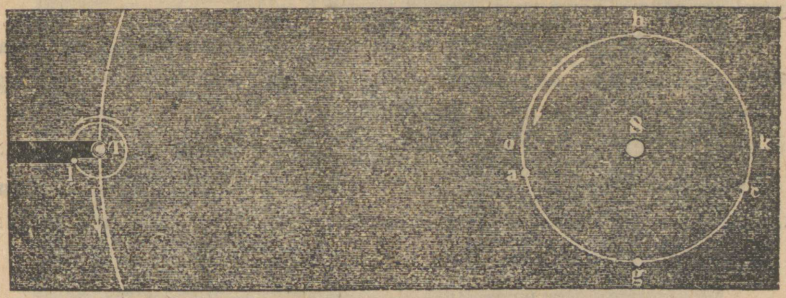
Kaaslaste liikumine pakub wäga huwitawaid nähtusi. Joon. 141 annab Jupiteri ja tema kaaslaste asendi 9 päewa tarwis. Korraga paistab silma kaaslaste asendite järjekindel muutumine planeedi suhtes.

Meie wôime näha kaaslaste minemist warju, mille päike Jupiterist heidab, ja nende wäljatulemist sellest warjust (Joon. 142). Jupiteri kaaslaste warjutuste waatlemisest saadi muu seas esimest korda walguse kiirus teada (Röömer). Neid waadeldakse ka geograafiliste pikkuste wahe määramise otstarbel.

Meie näeme, kuidas kaaslased planeedi taha kaowad, kuidas nad tema tagant wälja tulewad, kuidas nad planeedi eest läbi lähewad, kuidas ühe ehk teise kaaslase wari mööda Jupiteri ketast liigub, kui see kaaslane tema eest mööda läheb (w. joon. 141).



Joon. 141. Jupiteri kaaslaste asendid 9 järjestikkuse päewa jooksul.



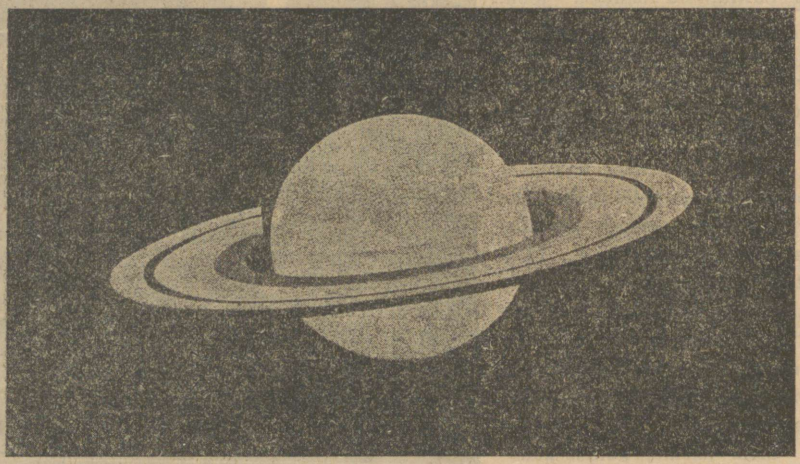
Joon 142.

Saturn on ainukene planeet päikese süsteemis, mida rôngas ümbritseb.

Saturni ruumala on 860 korda maa ruumalast suurem, tema mass 94 korda tihedus on ainult $^1/_8$ maa tihedust; lapikkus $^1/_{12}$, s. t. isegi suurem, kui Jupiteril.

Planeedi pinnal ei ole peaaegu midagi näha. Laikude põhjal, mida wõib õige harwa näha, leiti ligikaudne pöörlemisaeg 10 tundi 14 min. Saturn viibib nähtawasti Jupiteri sarnaselt alles sulas olekus.

Kõige tähtsamaks nähtuseks Saturnil on rõngas, ehk õigemini rõngad, sest meie näeme kindlasti tumedaid wahesid, mis rõngaid üksteisest lahutawad (joon. 143).



Joon. 143. Saturn ja tema rõngad Barnardi joonistuse põhjal.

Kõik rõngad on ühel tasapinnal, mis ekliptika tasapinnale 28° kallak. Nad on wäga õhukesed, sest kui maa rõnga tasapinnast läbi läheb, ei näe meie rõngaid (seisud 3 ja 9 joon. 144). See kordub iga 15 a. järele — kaks korda täie ringkäigu kestes ümber päikese. Ümberpöördult, kui Saturn punktides, mis esimesest kahest seisust 90° eemal, on rõngad kõige enam awatud (seisud 6 ja 12).

Saturni rõngad esitawad nähtawasti wäikeste kehakeste parwe, milledest igaüks i s e s e i s w a l t kui kaaslane planeedi ümber ringleb.

Peale nende wäikeste kaaslaste, mis ühises rõngas paistawad, on Saturnil weel 10 eraldinähtawat kaaslast. Suurem neist on T i t a a n.

Uuran ja Neptun ei ole suure kauguse tagajärjel palja silmaga nähtawad, olgugi et nad on päikese süsteemi suuremaiks liikmeiks.

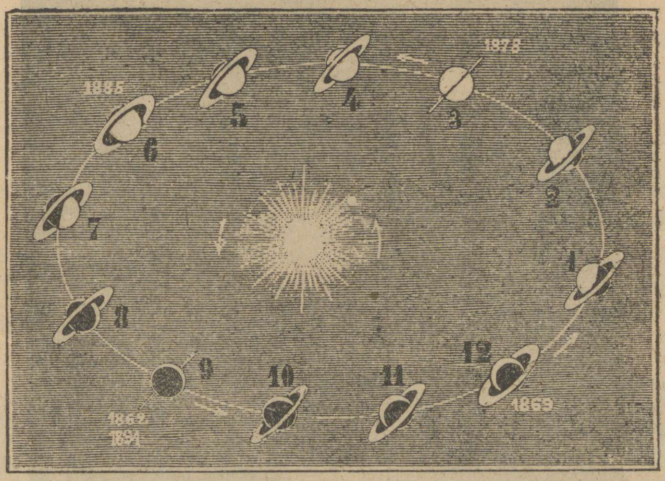
Maaga wõrreldes on.

Uurani	ruumala	70	mass	14	tihedus 0,2
Neptuni	„	55	„	17	„ 0,3

Nähtawasti on mõlemad planeedid weel sulas olekus. Ei pöörlemisaega, ega telje asendit pole nende juures wõimalik olnud kindlaks määrata.

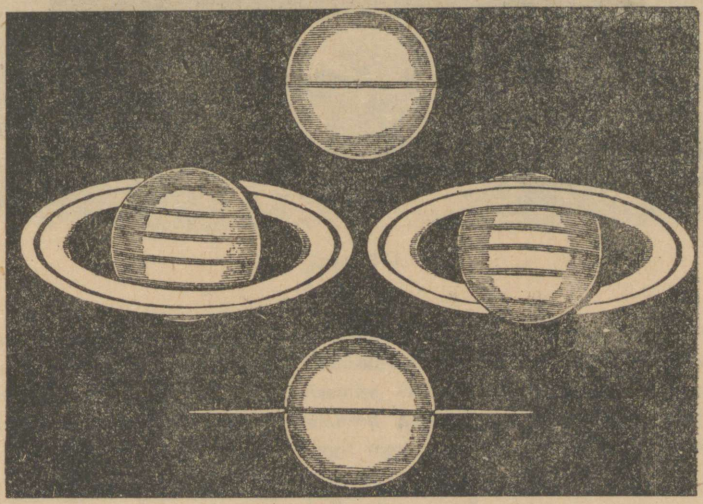
Uurani ümber ringib 4 kaaslast, Neptunil on 1 kaaslane.

Uurani kaaslaste orbiidid on ekliptikale peaaegu perpendikulaarsed, Neptuni kaaslase orbiit on ekliptikale 145° kallak.



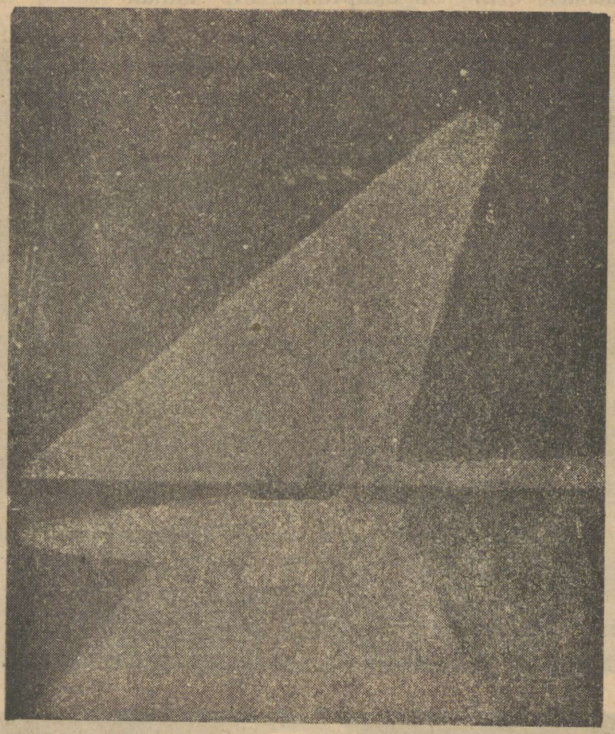
Joon. 144. Saturni rônga kuju muutumised planeedi täielise ringkäigu wältusel ümber päikese.

Soodiagu walgus. Selgel talwe wôi kewade ôhtul wôib wahel läänes pärast eha kustumist, suwel aga ja sügisel idas enne koitu



Joon. 145. Saturni rônga kuju muutumise pea-faasid: kaks korda on rôngas kôige awatum, ühel korral on esimene äär kôige enam ülestôstetud, teine — alla lastud. Rôngas on kitsas ja kaob môneks päewaks hoopis ära. — Saturn ilma rôngata.

nôrka püramidaalset paistet näha, mida soodiagu walguseks nimetakse, sest ta laotub ekliptikat mööda.



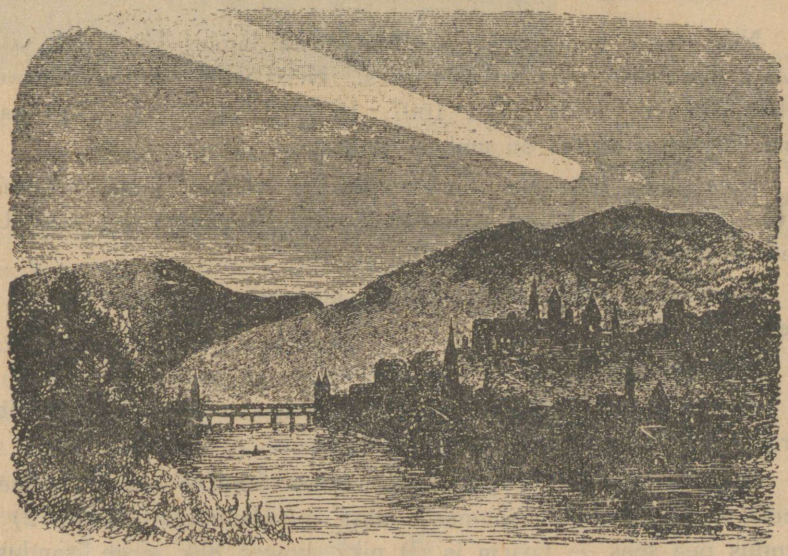
Joon. 146. Soodiagu walgus.

Nähtawasti ümbritseb see sünnitus rôngana päikest; mis ta aga ôieti on, pole senini weel selgeks tehtud.

XXIII. peatükk.

KOMEEDID JA LANGEWAD TÄHED.

Komeedid. Täiesti ootamatult, teadmatult kust, ilmuwad wahel taewasse imelised, haruldase kujuga tähed: uduse peaga ja enam ehk wähem pikema sabaga. Need on komeedid, ehk sabatähed (joon. 147). Komeetide liikumised tähtede keskel on tihti ôige kiired, nende wäliminé kuju muutlik.



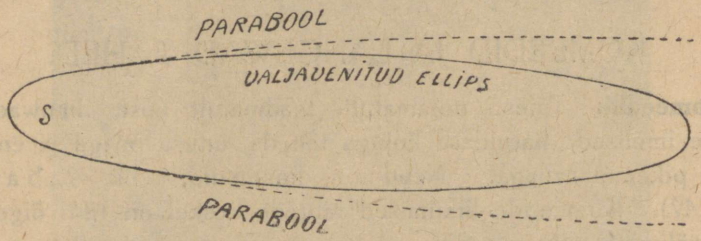
Joon. 147.

Endistel aegadel ajas komeetide ilmumine rahwale hirmu peale ja nüüdki weel waatawad neid pimedad rahwahulgad ebausklikult. Komeete loeti mitmesuguste ônnetuste ennustajaiks: sôja, nälja, maawärisemise, katku, walitseja surma. Tôepoolest aga käiwad need meie päikese süsteemi külalised päikese alalise tômbejôu môjul mööda kindlaid radu; maaga ei ole nendel mingit tegu ja midagi ähwardawat nad talle ei too.

Komeetide orbiidid on wäga pikergused. Suurem hulk liigub sedawôrd pikergusi radu mööda, et meie neid oma waatlemiste piirides otse paraaboliteks loeme (w. lisa), mille harud lôpmatusse lähewad. Piki üht paraaboli haru tuleb komeet otsatust ilma-

ruumist päikese juure, läheb temast wôrdlemisi ligidalt mööda ja liigub piki teist haru jäädawaks ajaks jälle eemale (joon. 148).

Perioodsed komeedid. On mõned komeedid, mis pikergusi, kuid ikkagi kinniseid orbiite mööda liiguwad, nii et nad teatud aja järele uuesti päikese ja maa juure tagasi tulewad.



Joon. 148. Wäljawenitud ellips ja parabool.

Niisuguseid komeete, mis mône aasta tagant korduwalt jälle ilmuwad, nimetakse perioodisteks. Neist wôib esimesena nimetada Halley komeeti, mida nähti 1607, 1682, 1758, 1835, 1910 aastail. Tema ringkäigu wältus on umbes 76 aastat.

Komeetide liikumine ümber päikese sünnib tema külgetômbe môjul, järjelikult, Kepleri seaduste järele. Ringkäigu aeg määrab komeedi keskmise kauguse päikeselt.

Ülesanne. Wälja arwata Halley komeedi keskmine kaugus päikeselt.

Wastus. 18,8 maa kaugus päikeselt.

Komeetide aineosakeste wahel on wäga nôrk side. Mitmele korrale on komeetide jagunemist nähtud.

Komeetide ehitus. Komeedis tehakse wahet kolme osa wahel: 1) udukujuline ümmarik mass, nôndanimetud pea, 2) hele tihendus pea sees — tuum ja 3) pikk, kôwer ehk sirge lisandus pea taga — saba.

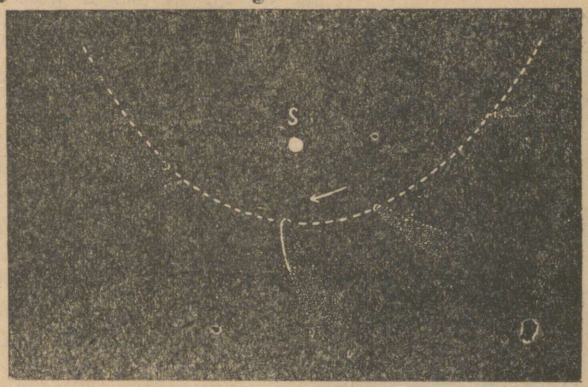
Kui komeet on päikesest kaugel, liigub ta aeglaselt ja tal on ümmarguse udukogu kuju, päikesele lähenemisega muutub tema liikumine kiiremaks, ilmub saba, mis ikka pikemaks ja pikemaks kaswab, saades kôige pikemaks harilikult pärast periheelist läbiminekut.

Suuril heledail komeetidel ulatab saba wahel paljude miljonite werstadeni. Ta seisab alati äärmiselt ôrendud ainest koos, nii et ta, kattes tähti taewas, nende hiilget ei nôrgenda.

Juhtus, et maa komeedi sabast läbi läks; sellest teati ainult teoreetiliste wäljaarjaarwamiste põhjal, mingisuguseid iseäralisi nähtusi

selle juures ei märgatud. Nii oli muu seas 19. mail 1900 a., mil maa Halley komeedi sabast läbi läks.

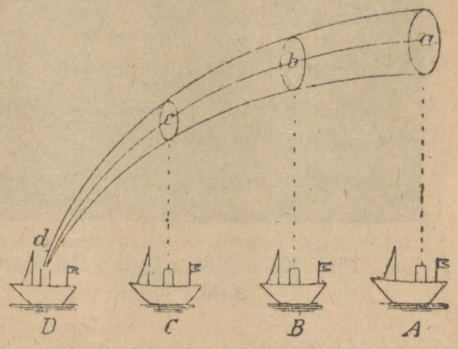
Juba wanal ajal märgati, et saba pole pööratud päikese poole, waid asub päikesele wastupidises sihis. Täpimalt, tema on komeedi orbiidist wäljapoole käänatud, aga mitte otse päikesele wastassihis. Ta jääb joonest, mis planeedi päikesega ühendab, natuke maha, sinnapoole, kust komeet tuleb (joon. 149).



Joon. 149. Komeet läheb päikese eest mööda; ta saba on päikeselt otse wastases sihis ära pöördud.

Môned komeedid, möödudes päikesest, tulid talle haruldaselt lähedale, tungisid tema ôhkkonda ja riiwasid peaaegu tema hiilgawat pinda. Neil kordadel tôusis komeedi kiirus 500—600 klm. sekundis.

Küsime, missugune kiirus peaks olema siis saba osakestel, mis on tuumast kümneid miljone kilomeetreid kaugel, kui saba oleks kôwa, muutumatu moodustus, mis komeediga seotud. On selge, et see kiirus oleks määratu suur, nii suur, et saba terweks jääda ei wôiks, waid tükkideks rebeneks. Siit on loomulik järeldus, et komeedi saba osakestest koos seisab, mida komeet ilmaruumi paiskab. See saba, mida meie täna näeme, ei seisa juba enam neist aineosakestest koos, milledest eilne vôi üleilne, homme tulewad temasse jälle uued osakesed.



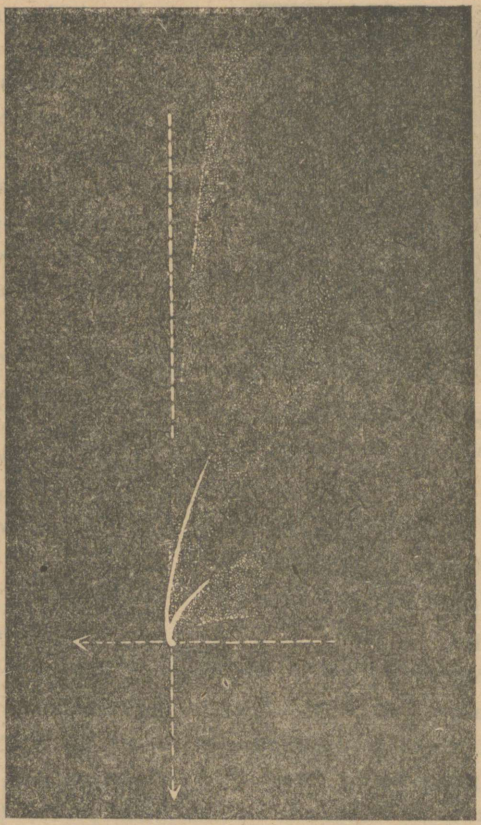
Joon. 150.

Waata teist tabelit III-as lisas — komeedi stereoskoobiline kuju.

Komeedi saba tuletab oma kujunemisega suitsu liikuwal aurulaewal meelie (joon. 150). Kui aurulaew punktis *A* oli, lasti tema korstnast suitsupilw wälja. Kun aurulaew *D*-ni jôudis, tôusis see pilw punktini *a* ja laienes.

Pilw, mis lastud punktis *B*, tôusis punkti *b*
„ „ „ „ *C*, „ „ *c*,
ja meie näeme suitsu sarwe *dcba* kujul.

Waatlemised näitawad otsekohe, kuidas aine kuumade päikese kiirte môju tuumast wälja woolab. Alguses on see woolus päikese poole sihitud, pärast aga paindub ta tagasi ja ôre aine paisatakse sappa.



Joon. 151. Komeetide sabade kolm tüüpi Bredichini järele.

Milline tung ajab aineosakesi päikesest eemale, seda meie ei tea. Wôimalik, et see on elektriline eemalelükkamine wôi päikese kiirte rôhumine. Ühel kui teisel juhusel on tung proportsionaalne osakeste pinnale, s. t. osakeste raadiuse ruudule. Päikese tômbejôud aga on Newtoni seaduse järele osakese massile proportsionaalne, mass aga on proportsionaalne ruumalale, järjelikult, osakese raadiuse kolmandale astmele.

Kui aine päikese kiirte môjul laguneb, muutuwad tema osakesed ikka wäiksemaks ja wäiksemaks. Tômbejôud nôrgeneb proportsionaalselt osakese raadiuse kolmandale astmele, eemalelükkaw jôud aga ainult raadiuse teisele astmele. Wäga wäikeste osakeste juures saab eemalelükkaw jôud külgetômbawast suuremaks, ja osakene, mis alguses päikese poole läks, paisatakse nüüd tagasi sappa.

Prof. Bredichin, uurides mitmesuguste komeetide sabade kujusid, leidis, et eemalelükkaw jôud wôib olla kolmesugune:

I 36 ja 18 korda
II 2,2—0,5
III 0,3—0
} Newtoni külgetômbest suurem,

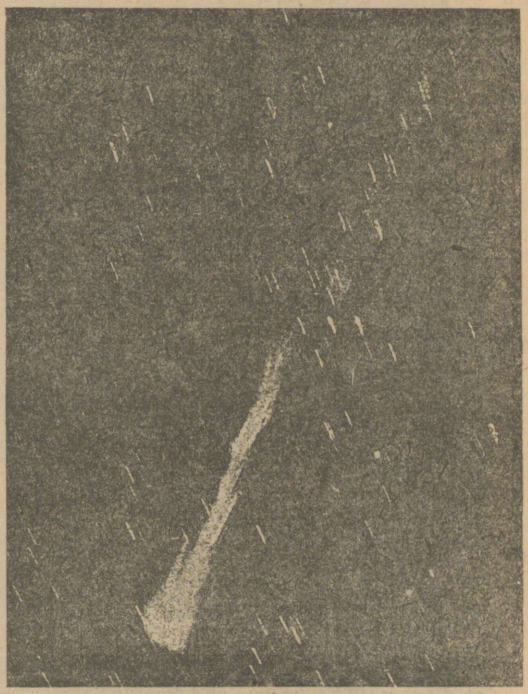
ja wastawalt sellele wôib kôigi komeetide sabu kolme gruppi ehk kolme tüüpi jagada; nende üldkuju annab joon. 151. Oma elu lôpul leidis Bredichin, et eemalelükkaw jôud wôib ka 70 korda Newtoni tômbejôust suurem olla. Niisuguse jôu môjul tekiwad aga peaaegu samasugused sabad, kui jôu môjul, mille suurus on 18, nii et nemadki I tüüpi kuuluwad.

Mida kergem on aine, seda suurem on eemalelükkaw jôud. Tähendab, I-st tüüpi sabad on, nähtawasti, kôige kergemaist elementidest;

wesinikust ja heeliumist; II-st tüüpi sabades wôiwad olla mitmesugused süsinik-ühendused, lämmastik, naatrium, kaalium jne., III-dat tüüpi sabad seisawad koos raskeist metallidest: rauast, wasest, tinast, hôbedast, kullast.

Bredichin uuris ka paljuid üksikasju, mida komeetide sabades nähtud, näituseks, pilwetaolise tombu liikumist 1882 a. komeedi sabas, gammakujulisi tihendusi, piirjoonte lainelikkust jne. — kôik see näitab, et komeedi saba seisab koos *aine* osakesist, mis tuumast suurema wôi wäiksema kiirusega eemale liiguwad.

Wäljawoolamise nôrgenedes, muutub saba kitsamaks ja katkeb wahel täiesti (joon. 152); kui alalise wäljawoolamise asemel on mitu pursket, siis saame ühe saba asemel mitu riba, mis oleks nagu mitte-tekkinud saba ristlôigeteks.



Joon. 152. Rordami komeet fotografia järele. Heledad kriipsukesed on tähtede jäljed, millede ees komeet eksponeerimise ajal on edasi nihkunud.

Langewad tähed.

Kaua aega peeti langewaid tähti ôhkkonna nähtusiks, sellest nende nimigi — *meteoorid*. Meteoorid süütuwad meie ôhkkonnas ainult pôlema, siia tulewad nad aga lôpmatust ilmaruumist kindlaid orbiite mööda nagu komeedidki. Määratu kiirusega maa ôhkkonda lennates, läheb wäikene kosmiline kehakene ôhu takistuse môjul tuliseks ja hakkab pôlema. Harilikult pôlebki tema suures kôrguses täiesti ära. Ainult erandlistel juhustel, kui maa ôhkkonda kukub suur keha, ei suuda ta ära pôleda ja langeb suure müra ja praginaga kiwina maha. Heledaid meteoore nimetakse *boliitideks*, taewast kukkuwaid kiwa aga *aeroliitideks* ehk *meteoriitideks*.

Pôlemasüütumise kôrgus. Kui kahel waatlejal, kes teine teisest on wersta 30—40 eemal, läheb korda waadelda sama meteoori, siis ei näe nad teda tähtede suhtes mitte ühtemoodi: waid üks kôrgemal, teine madalamal, paremal wôi pahemal pool. Selle pa-

rallaktilise nihkumise põhjal on võimalik wälja arwata nii põlemasüütumise, kui ka kustumise kõrgus.

Keskmiselt hakkawad meteoorid 120 wersta kõrgusel põlema ja põlewad ära 80 w. kõrgusel. Boliidid tulewad madalamale, kuni 40—45 werstani maapinnalt.



Joon. 153. Tähesadu.

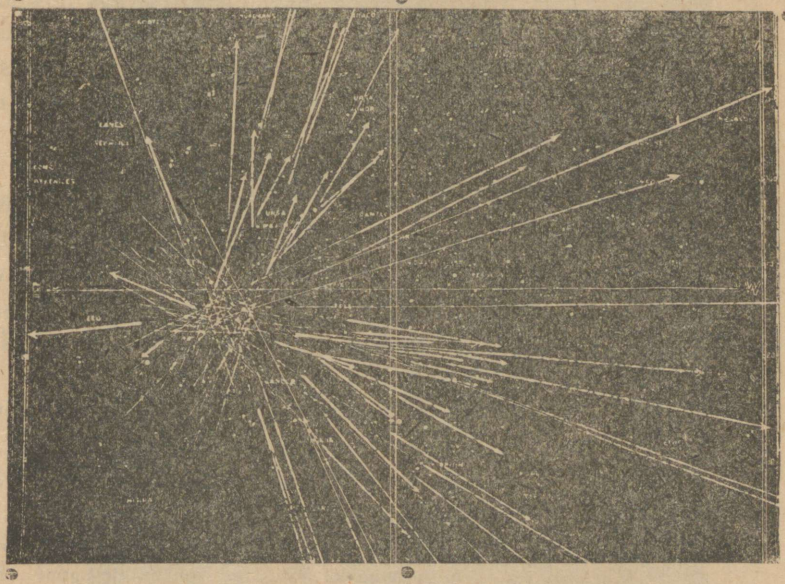
Meteooride koosseis. Wäikeste meteooride mass, nagu wõib järeldada nende hiilgest, on keskmiselt ainult mõni osa grammist, nad põlewad õhkkonnas täiesti ära, nende spektrit on raske waadelda, nii et meie päris meteooride koosseisust midagi ei tea. Mahalangenud meteoorid on hästi läbi uuritud. Nendes leidub: wesinikku, hapnikku, lämmastikku, weewelt, kloori, fosfori, süsinikku, kaaliumi, naatriumi, räni, rauda, waske, tina j. t.

Tähesaod. Kuulus loodusuurija Aleksander von Humboldt oli oma reisul Ameerikasse 12. now. 1799 a. haruldaselt effektilise

nähtuse tunnistajaks: langes hulk meteoore, mis puistusid üle terwe taewa, paljude tundide kestes, sadadena minutis — just nagu tähewihm. Kohaliste elanikkude jutu järele sadas samasugust tähewihma 11 now. 1766 a. Ta kordus pärast 1833 ja 1866 a. just samal päewal, 12. nowembril (joon. 153).

Nähtuse küllus ja tema korrapärane perioodsus (33—34 aastat) juhtisid astronoomide tähelepanu meteooridele, mida seni nende uurimisalale wôôraks loeti.

1833 a. märgati tähtsat peenust, mis otsekohe osutas meteooride kosmilist algupära: nimelt näisid kôik meteoorid tulewat ühest taewapunktist nagu raadiused keskkohast (joon. 154). See punkt ei



Joon. 154. Meteoriitide teed, millede jätkud lôikuwad kitsas taewa wôlwi pinnas, nn. radiatsiooni pinnas.

muutnud oma kohta tähtede suhtes ja alistus ühes nendega taewawôlwi ööpäewsele liikumisele.

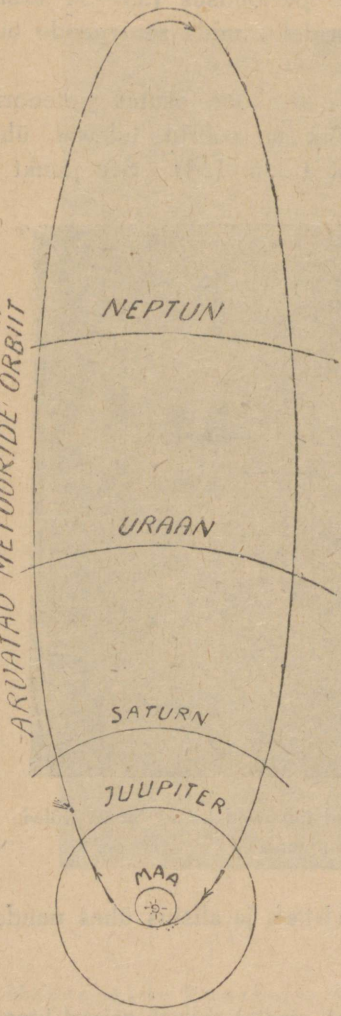
Seda punkti nimetakse radiandiks*).

Igaühel on meeles, kuidas kaks paralleelset raudtee rööbast näiwad kauguses kokku jookswat, kuidas puude paralleelsed read allees näiwad üks teisele lähenewat, kui meie neist kaugume jne. See on perspektiiwi nähtus. Kujutage ette, et ilmaruumi

*) Vaatlemised annawad ôieti mitte punkti, waid mingi pinna, mille piirides rahapoole jatkatud meteooride teed üks teist lôikawad; see on nôndanimetud tadiatsiooni pind.

lôpmatusest wäikesed kehakesed paralleelseid teid mööda maakerale wastu tulewad ja ôhkkonnas pôlema süütuwad, — teie näetegi nende heledaid jälgi ühest punktist laiali minevat.

Järjelikult on langewad tähed tôepoolest kosmilised kehad, millede liikumine ilmaruumis pole maaga seotud ja mis meile nähtawaks saawad, kui nad maakera ôhkkonda juhtuwad ja seal pôlema süütuwad. Kui nad tulewad tiheda parwena, nagu mesilaste pere, siis näeme meie tähesadu.



Joon. 155. Perseiidide ja 1862 a. III komeedi orbiidid.

1833 ja 1866 a. tähesadude radiant oli Lôwi tähtkonnas. Sellepärast nimetaksegi seda meteooride parwe ehk woolu „L e o n i i d i d e k s“.

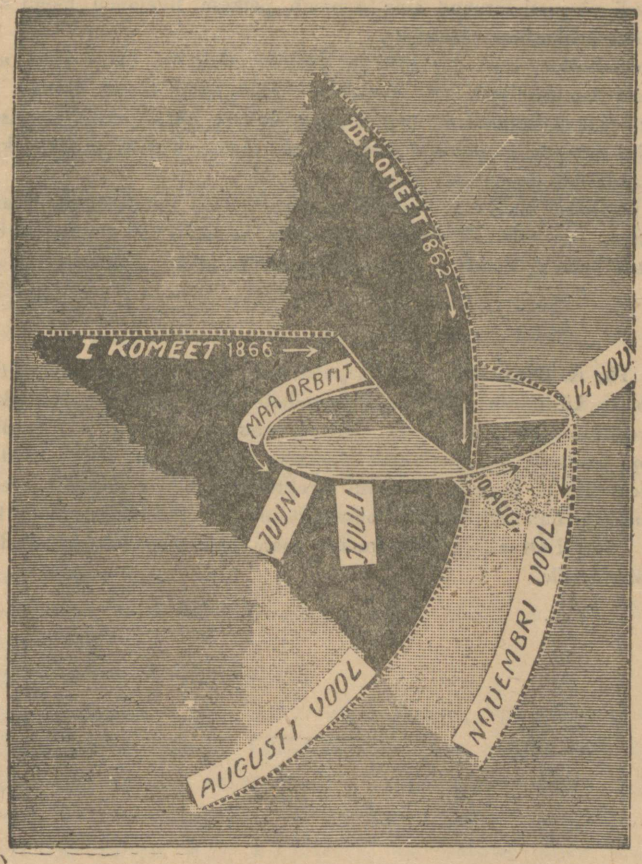
1872 a. ja 1885 a. 27. nowembril nähti ka rikkalikke tähesadusid, millede radiant oli Andromeeda tähtkonnas — need on nôndanimetud A n d r o m e d i i d i d.

Teistel juhustel sadu ôieti ei ole, aga kindlal päewal aastas näeme ühest radiandist rohkem meteoore tulewat kui harilikult. Oige rikkalik meteooride wool tuleb iga aasta 10—12. aug. Perseuse tähtkujus olewast radiandist — need on P e r s e i i d i d.

Praegusel ajal on ligi 400 mitmesuguse woolu radianti teada, tihti ei wôi meie aga ütelda, missugusse woolu kuulub üks vôi teine üksik meteoor.

M e t e o o r i d e k i i r u s. Meteooride arw mitmesugustel öötundidel on mitmesugune. Hommiku eel on neid üldiselt rohkem näha kui ôhtul. Itaalia ôpetlane Schiaparelli tegi sellest faktist terawmôttelise järelduse meteooride keskmise kiiruse kohta. Hommiku eel näeme meie neid meteoore, mis maale tema ringkäigul ümber päikese wastu tulewad, nende nähtaw kiirus on suurem, sest ta saabub meteooride tôelise kiiruse ja maa kiiruse liitumisest. Ôhtul näeme, ümberpöördult, neid meteoore, mis maa ôhkkonda lendawad temale j ä r e l e j ô u d e s, sellepärast on nende nähtaw kiirus wôrdlemisi wäike. Üldiselt aga on arusaadaw, et meteoorid maast kiiremini liiguwad. Nende keskmine kiirus on 40 wersta, s. t. 1,4 maa kiirust tema liikumisel ümber päikese ja see on just see kiirus, mis peab olema paraabolit mööda liikuwal kehal.

Langewate tähtede side komeetidega. Kindlaks tehes, et meteooridel on paraboolne kiirus, katsus Schiaparelli Perseiidide paraboolset orbiiti wälja arwata. Ta nägi imestusega, et see on just sama tee, mida mööda 1862 a. III komeet läks (joon. 155). See tee on ellips, läheb kaugele Neptuni orbiidi taha, päikese



Joon. 156.

lähedal läheb wähe paraabolist lahku. Komeet teeb seda ellipsist mööda 124 aastaga ringi. Pärast tehti kindlaks, et Leoniidide wool liigub 1866 a. I komeedi orbiiti mööda.

Joon. 156 näitab Leoniidide ja Perseiidide woolu orbiitide asendit maa orbiidi suhtes. 1862 a. III komeedi orbiit lõikab maa orbiiti selles punktis, kus maa on 10. augustil. Iga aasta näeme meie selle päewa paigu palju meteoore Perseiidide woolust.

1866 a. I komeedi orbiit lõikab maa orbiiti punktis, kus maa on 14. nowembril. Leoniidid liiguwad aga tiheda parwena ja ainult sellega kokku puutudes (33 a. tagant) on tähesadusid näha. Praegu läheb meteooride parw planeetide häirete tagajärjel maa orbiidist mööda natuke eemal. Sellepärast ei olnud 1899 a. mingit tähesadu.

Komeedi nõrgasti liitunud aine jaguneb päikese tõmbejõu mõjul kas kõik või osalt üksikuteks wäikesteks tükkideks.

Andromediidide wool, mis 1872 ja 1880 a. effektilisi tähesadusid andis, tekkis Biela komeedi lagunemisest, mis komeedina nähtawasti täiesti häwis. Teisil juhusil wõib komeet wälja paisata ainult teatud arwu osakesi, mis liiguwad iseseiswaid orbiite mööda, saades mõnedel tingimistel isegi päikese süsteemi alalisiks liikmeiks, olgugi et komeet ise jäädawalt lõpmatusse kaugub.

Oma liikumisel ümber päikese satuwad meteoorid mitmesuguste planeetide häiriwa mõju alla, mis muudab nende radiantide seisu. Prof. Bredichin on niisugust meteooride tekkimist ja nende liikumist wäga üksikasjaliselt harutanud.

Prof. Th. A. Bredichin — silmapaistwam Wene täheteadlasist, töötas kõige mitmekesisemate küsimuste kallal füüsilise täheteaduse alalt. Sai kuulsaks komeetide kujude teoreetiliste uurimistega ja meteoor-woolude teooriaga. Bredichin sündis 1831 a., tema teaduslik tegewus algab Moskwas 1857 aastast. 1873—1890 oli Moskwa ülikooli professoriks ja Moskwa tähttorni direktoriks, 1890 a. waliti ta Teaduste Akadeemia liikmeks ja nimetati Pulkowi obserwatooriumi direktoriks, mida ta 1895 aastani juhatas. Suri 1904 a., jatkates kuni surmani omi uurimisi komeetide ehituse ja langewate tähtede üle.

XXIV. peatükk.

TAEWATÄHED.

Tähtede arw. Palja silmaga on taewas wôrdlemisi wähe tähti näha — tuhandet kolm korraga, tuhandet kuus terwes taewas ümberringi. Astronoomilise pikksilma abil aga näeme meie neid määratuma arwu — sadasid tuhandeid ja miljone. Weel enam annab fotograafia.

Tähtede heledus. Tähti jagatakse heleduse järele klassidesse: kôige heledamad, olgugi et nende heledus mitmesugune, on kôik esimesse klassi toodud ja nimetakse esimese suuruse tähiks, siis tulewad teise suuruse tähed, millede näituseks wôiks olla kuus tähtsamat tähte Suurest Wankrist, edasi kolmanda suuruse, neljanda jne. tähed.

Palja silmaga wôib kuuenda suuruse tähti waewalt näha, fotograafia annab 17—18 suuruse tähtede kujutused. Kolmanda suuruse täht on $2^1/_2$ korda wähem hele, kui teise suuruse täht, neljanda suuruse täht on $2^1/_2$ korda kolmanda suuruse tähest tumedam ja $^{25}/_4$ korda teise suuruse tähest jne.

Ülesanne. Mitu korda on 6-nda suuruse täht ja 16-nda suuruse täht teise suuruse tähest tumedamad?

Wastus. 39 korda ja 372390 korda.

Tähtede kaugus. Loomulik on oletada, et nôrgad tähed on meilt kaugemal kui heledad. Üldiselt wôib see oletus ôige olla, üksikutes juhustes aga satume wastolusse. Enam ehk wähem täpipealselt teame kôigest 30 tähe kaugust. Need kaugused on suured.

Üldiselt on tähed nii kaugel, et walgus neilt kümneid ja sadasid aastaid tuleb.

Waata kolmandat tabelit III-ndas lisas.

Tähtede loodus. Tähtede heledust nende kaugusega kôrwu seades, tuleme otsekohe järeldusele, et tähed esitawad suuri isehelendawaid kehi — tagasiheidetud walgus ei oleks nii määratu suurest kaugusest meie juure jôudnud.

Wôib wälja arwata, kui heledana paistaks meile päike, kui ta, näituseks, Kapella kaugusel oleks. Selgub, et ta paistaks meile wäikese, waewalt nähtawa 6-nda suuruse tähekesena. Kuna Kapella 1-se suuruse tähena heledasti hiilgab.

Järjelikult, meil on põhjust oletada, et tähed on meie päikese sarnased kehad ja mõned neist on temast arwatawasti isegi suuremad.

Weel kindlamini tunnistawad seda tähtede spektrid. Olgugi et need spektrid on wäga nõrgad, ometi tunneme nendes selgesti ära nõndanimetud absorptsioonspektrid s. t. katketud spektrid tumedate Fraunhoferi joontega, nagu päikese spektèr.

Tähtede spektrid jagunewad kolme peaklassi:

W a l g e d tähed annawad peaaegu katketud spektrid wäheste tumedate (wesiniku) joontega.

K o l l a s t e tähtede spektrites on absorptsioonjooni rohkem, nende hulgas palju metallide jooni.

P u n a s t e tähtede spektrites on üksikute absorptsioonjoonte asemel terwed tumedad wöödid.

Sellele wastawalt tehakse tähe arenemises niisugused astmed:

1) W a l g e, kõige kuumem täht, kerge wesinikulise õhkkonnaga.

2) Natuke jahtund k o l l a n e täht, mille tihedas õhkkonnas ujuwad juba raskete metallide aurud.

3) Weel enam jahtund p u n a n e täht tiheda õhkkonnaga, mis absorbib wäga paljuid kiiri.

4) Täiesti jahtund täht, koorega kattund — tume päike.

On õige huwitaw, et kollase tähe Kapella (α Weomehes) spekter on oma kokkuseadelt täiesti sarnane meie päikese spektrile. Järjelikult on meie päike kollane täht; ta on nähtawasti juba wähe jahtund, seisab teisel astmel oma surma poole. Päikese jahtumine läheb muidugi järkjärgult ja aegamööda; miljonid aastad mööduwad, enne kui ta jõuab ühest edenemise järgust teisse.

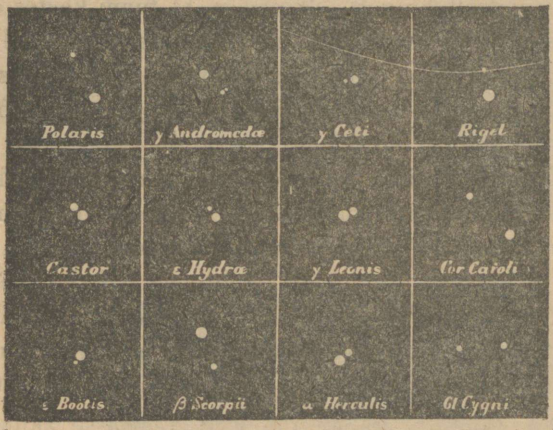
Tähtede omaliikumised. Tähti nimetakse, planeetidest eraldades, kinnistähtedeks, sest nad **ei näi** oma asendit üks teise suhtes m u u t w a t. Ometi näitawad täpipealsed waatlemised, et paljud tähed natuke nihkuwad, nii hästi suurringi kaart mööda taewas, kui ka waatekiire sihis, s. t. nad lähenewad meile wõi kauguwad meilt. Nihkumised waatekiire sihis on kümnete kilomeetrite suurused sekundis. Mis puutub nihkumistesse taewas suurringi kaart mööda, siis ei wõi meie neid üldjuhusel joonmõõtudes anda, sest meie ei tea paljude tähtede kaugust, meie anname nad nurkmõõtudes — see on mõni kaare sekund ehk isegi mõni osa kaare sekundist aastas. See nihkumine saab ainult pika peale tuntawaks. 157-da joonistuse pahempoolses osas on Suure Wankri peatähtede omaliikumise siht nooltega näidatud. Paremalpool on kuju, mis



Joon. 157. Suur Wanker praegu ja 40000 aasta pärast, tähtede omaliikumise kohaselt.

Suurel Wankril 40000 aasta pärast tema tähtede omaliikumise tagajärjel saab olema.

Päikese süsteemi liikumine ruumis. Waatamata mitmekesiduse peab tähtede nihkumistes, osati neis midagi üldist wälja eraldada, mis on meie maa ja päikese ühise liikumise kujutuseks. Tuletage meele, kuidas telegraafi tulbad ja wahimajakesed tahapoole jooksewad, kui teie raudtee wagunis sõites läbi akna wälja waatate. Niisama on ka päikese edasiliikumise tagajärjeks tähtede näiw nihkumine. Uurides suure hulga tähtede nihkumisi, suudeti selgeks teha, et päike tähtede keskel mitte paigal ei püsi. Tema liigub Herkulesi tähtkuju poole, tõmmates enda järele kõik päikese süsteemis olewad planeedid ja komeedid.

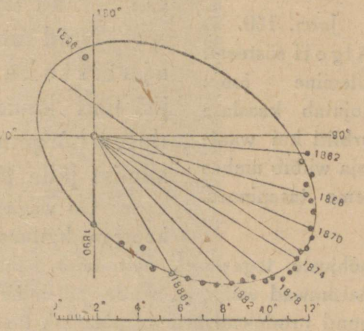


Joon. 158. Paaristähed astronoomilise pikksilma waatewäljal.

Kuu, käies ümber maa, ringib ühes temaga ümber päikese. Samuti ka planeedid, tehes korrapäraseid ringkäike ümber päikese, liiguwad nad ruumis ühes temaga sinnapoole, kus paistawad Herkulese tähtkuju tähed.

Paaristähed. Tuntakse palju tähti, mis pikksilmas kaheks jagunewad (joon. 158). Mõnede paaride juures saadi kindlaks määrata, et üks täht teise ümber ringib (joon. 159). Niisugustel kordadel on meil tegemist keerulise süsteemiga, mis seisab koos kahest päikesest.

Iseäralise tähelepanu pööras W. Herschel paaristähtedesse XIX aastasaja algusel. Tema leidis üles mitu sada paari. Weel rohkem leidusi tehti pärast Tartus täheteadlase W. Struwe poolt, kes peale selle määras kõigi enese leitud paaristähtede asendid



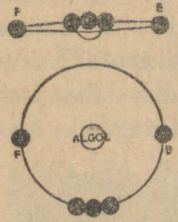
Joon. 159. Siiriuse-süsteemi kaaslase liikumine pea tähe ümber.

taewas ja mõõtis iga paari komponentide relatiiwse asendi terwe rea aastate tarwis haruldase täpsusega.

Praegusel ajal tunneme mitut tuhat paaristähte; on leitud mõned kolmiktähed ja isegi mõned mitmekordsed tähed, nii et meie päikese süsteemi, milles on üks peakeha, üks päike, ei wõi enam lugeda tüübiliseks kogu ilmade hulga kohta kosmoses.

Muutlikud tähed. Perseuse tähtkonnas on täht Algol (beeta Perseuses), mille heledus perioodselt kõigub. 2 päewa 11 tunni kestes on ta teise suuruse täht, siis hakkab tema heledus järjest kahanema, $4^1/_2$ tunniga langeb ta peaaegu kuni 4-ma suuruseni ja suureneb siis uuesti. See on üks tüübilistest muutlikuist tähist. Igaühele wõib soowitada tema heleduse muutumist järgida.

Praegu tuntakse palju teisi tähti, millede heledus muutub. Mõnedel juhustel on heleduse muutumised perioodsed, teistel — korratud. Meid huwitawad nad sellepärast, et nad näitawad tähtede looduse ja ehituse iseäraldusi. Nii, näituseks, on Algol kahtlemata kahe keha süsteem, milledest üks on tume. Kui see tume keha heleda peatähe ja meie wahelt läbi läheb, näeme meie Algoli tumenemist. Kui tume kaaslane juba mööda läind, on Algoli heledus jälle endine (joon. 160).



Joon. 160. Algoli süsteem. Ülemine joon. kujutab kaaslase orbiiti kui waatleja wiibib umbes tema tasapinnas.

Uued tähed. Wahel ilmuwad taewasse äkitselt uued tähed, mida seal enne ei olnud.

Täheteaduse ajaloos on iseäranis tähelepanemiswäärt täht, mille Tycho-de-Brahe 1572 a. üles leidis. Tema heledus, mis kiiresti kaswas, tuli Weenuse heledusega ühesuuruseks. Juunil 1918 nähti Kotka tähtkonnas tähte, mis heleduselt Weegast suurem oli. On nähtud ka nõrgemaid tähti.

Neid nimetakse uuteks, parem aga oleks neid ajutisteks nimetada, sest lõkkele lüües taewas, ei jää nad kauaks ajaks nähtawale, waid alatasa heleduses nõrgenedes, kaowad nad mõne kuu pärast meie silmist jälle täiesti ära.

On wäga wõimalik, et need on juba kustund päikesed, mis koorega kattund, aga weel mitte tiheda koorega. Mitmesuguste põhjuste tegewusel, näit. teise keha lähedalt möödaminekul, lõhkeb see koor, gaasid paiskuwad wälja, ja nende põlemine näibki meile uue tähena. Kui aga pinnale walgund produktid ära on põlenud, kustub täht jälle ja kaob meie silmist.

Tähtsagarad ja udukogud. Paaris- ja mitmekordsed tähed esitawad keerulisi päikese süsteeme. On aga süsteeme, milledesse weel rohkem kuulub päikesi — sadu ja tuhandeid. Niisuguste tähtsagarate näituseks wõiks olla Plejaadid. See on kõigile tuttaw tähtede



Joon. 161. Tähtede kogu Herkulesi tähtkujus.



Joon. 162. Tähtede kogu Weewalaja tähtkujus.



Joon. 163. Andromeeda udukogu fotografeerituna.

hunnik Sõnni tähtkujus, palja silmaga näeme meie temas 7—8 tähte, pikksilmaga aga suure hulga.



Joon. 164. Spiraalne udukogu Hurtkoera tähtkujus.



Joon. 165. Udukogud Sõela tähtede ümber.

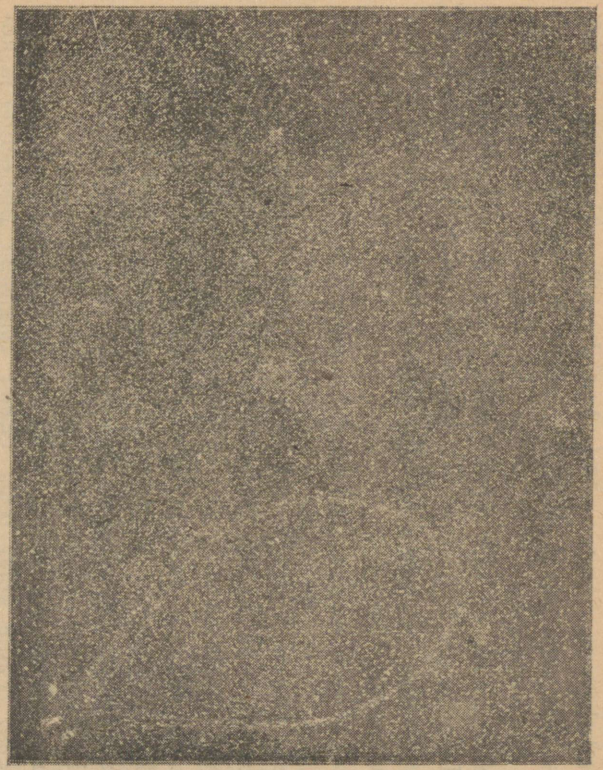
W. Herschel, uurides oma suute reflektoritega taewast (joon. 183), leidis terwe rea niisuguseid tähtsagaraid, nii hästi korrapäraseid kerakujulisi, kui ka kujutuid (joon. 161 ja 162). Ta leidis ka palju walkjaid uduseid laike, nn. udukogusid.

Ühed nendest udukogudest on kauged tähtede sagarad, milledes meie üksikuid tähti ei seleta (joon. 163), teised — weel mitte tihenend esialgse udu hulgad. Järjest tihenedes, wõiwad need udukogud aja jooksul tähe ehk terwe tähtede sagara moodustada. Joon. 164 on spiraal udukogu kahe tihenemise keskkohaga, joon. 165 on näha jäänuseid esialgsest udukogust, milledest kujunesid Plejaadide tähed.

Linnutee. Pimedal, selgel ööl on taewas laï walkjas wööt näha, mis käib läbi järgmiste tähtkujude: W. Peni, Orion, Kaksikud, Weomees, Perseus, Kassiopeja, Tsefeus, Luik, Lüüra, Kotkas, Madukandja. Seda wööti nimetakse Linnuteeks. Nagu selgub, seisab ta määratumast arwust wäga wäikesist tähist koos (joon. 166 ja 167).

Mõnedes kohtades on weel näha esialgse uduse massi jäänuseid, selle kõrwal on tihti





Joon. 166.
Joon. 167
} Linnutee Barnardi üleswôtte pôhjal.

must tühi ilmaruum (söekotid, Herscheli üteluse järele); wahel wôib udukogus tähelepanna musta wööti, kanaali, mille sügawuses paistab hele täht — just nagu oleks täht udukogust läbi tungides kôige teel olewa aine ühes wôtnud.

Herschel arwas, et kôik tähed, mida meie taewas näeme, moodustawad Linnuteega ühenduses ühe suure tähe süsteemi, mille sees, peaaegu keskkohas, on meie päike oma planeetidega, kui üks sellesse süsteemi kuuluwaist tähist.

Wilhelm Herschel tungis oma tugewate pikksilmadega läbi ilmaruumi sügawuste. Ta oli täheteadlane, môttetark ja luuletaja, kes taewast waimustusega waatles ja omi imestamiswäärilisi leidusi môtteteadliselt üldistas. Alguses tegutses täheteadusega ainult armastuse pärast, olles ametilt muusikamees. Oma reflektorite tarwis lihwis ta ise peeglid. Sündis 1738 a. Hannoweris, töötas aga peaasjalikult Inglismaal, kus ta kuningliku täheteadlase ameti sai. Suri 1822 a.

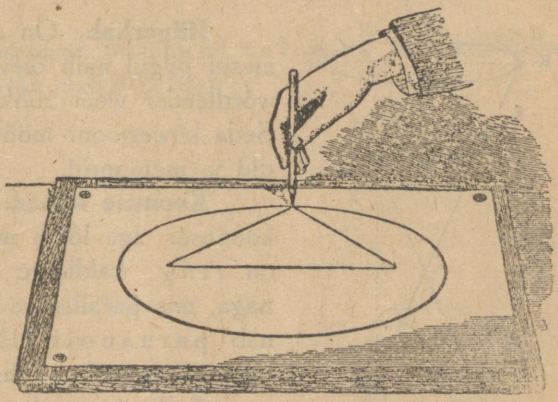
Maailma ehitus. Planeet oma kaaslastega moodustab esimese järgu süsteemi. Päike kôigi tema ümber ringiwate planeetide ja komeetidega esitab juba keerulisemat süsteemi — 2-se järgu süsteemi, mille ulatus on 1-se järgu süsteemi ulatusest palju kordi suurem. Wahel on ühes süsteemis kaks, kolm, neli päikest. Kôik tähed, mida meie näeme, olles üks teisest määratumail kaugusil, ühinewad üheks süsteemiks, mida meie 3-nda järgu süsteemiks wôime nimetada. Selles on hiigla päikesed ainult punktideks, walgus läheb ühest äärest teise aastasadasid, kuna ta päikese süsteemi läbistab ainult 8 tunniga ja jôuab kuult maani $1^1/_4$ sekundiga.

Peale inimese tegelikule elule tarwisolewa osa on täheteadus meile ka weel selle poolest hiigla suure tähtsusega, et ta annab aluse meie ilmawaatele, selgitades maailmade wahekordi üks teisega ja maalides üldpildi nende elust: tekkimise algudust, helendawaiks päikesteks tihenemise, planeetide eraldumise ja järkjärgulise jahtumise, nende tee paratamatu lôpu — surma poole.

Ühes teadmiste kogunemisega muutuwad natuke meie waated. Täheteaduslikkude eriuurimiste kôrwal on siin oluline tähtsus ka füüsika ja keemia edusammudel.

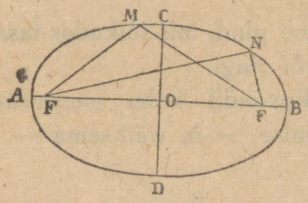
ESIMENE LISA.

Ellips. Wôtke rôngas, hoidke teda walgele seinale paralleelsena ja walgustage ilma kuplita lambiga — siis näete seinal rônga, mis on teie rôngale sarnane. Aga katsuge rôngast wiltu pöörata, wari ei ole siis enam ringkujuline, waid läheb lapikuks. Tekib kontuur, mida nimetakse e l l i p s i k s. Tähendab, ellips on ringi proektsioon.



Joon. 168. Ellipsi joonistamine pidewa liikumise abil.

Nagu ringjoont wôib sirkliga joonistada, nii wôib ka ellipsit katketa liigutusega joonistada, tômmates pliiatsiga pingule niidi, mille otsad on kinnitud kahes punktis — ellipsi fookustes (joon. 168). Ring on niisugune kôwerjoon, mille iga punkti kaugus keskkohast on üks ja sama, ellips aga on niisugune kôwerjoon, mille i g a punkti kauguse s u m m a kahest kindlast punktist n. n. fookustest (F ja F_1 joon. 169) on jäädaw.



Joon. 169.

Ellipsi kôige suuremat läbimôôtu nimetakse suureks teljeks, märgime tema $2a$-ga; perpendikulaarne, kôige wäiksem läbimôôt, on wäike telg $2b$.

Fookused asuwad suurel teljel, nende kaugus keskkohalt on ühesuurune $= \sqrt{a^2 - b^2}$.

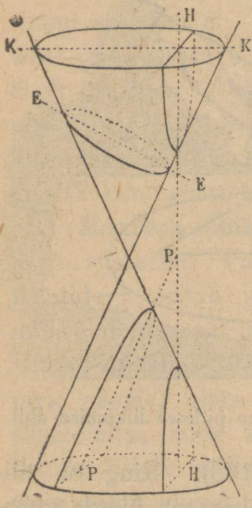
Suhet $\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = e$ nimetakse k e s k l a h u k s (ekstsentrisiteediks).

Nagu selgesti näha, on e seda suurem, mida wäiksem on b wôrreldes a-ga. Tähendab, kesklahk iseloomustab ellipsi pikergusust. Ringjoon

on ellipsi erijuhus, kus kôik läbimôôdud on ühesuurused. Ringi kesklahk $= o$. Kui $b = a$, saame $e = \frac{\sqrt{a^2 - a^2}}{a} = o$.

Paraabol. Kui b suurus ei muutu, a aga suureneb, saame ikka enam ja enam pikerguse ellipsi. Kui a läheb lôpmata suureks, saame kôwerjoone, mille keskkoht ja üks fookus on lôpmatuses, kôwerjoon on, järjelikult, lahtine ja ulatab oma harudega otsatusse. See kôwerjoon, n. n. paraabol on ka ellipsi erijuhus. Tema kesklahk $= 1$. Kui $a = \infty$,

$$\text{siis } e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} = 1.$$



Joon. 170. Koonuse lôiked: K — sôôr, E — ellips, P — paraabol, H-H — kaks hüperboli haru.

Hüperbol. On olemas kôwerjoon, mis esimesel pilgul näib olewat paraaboli sarnane, aga wôrdlemisi weel rohkem lahtine — hüperbol. Seda kôwerjoont mööda liiguwad môned komeedid ja meteoorid.

Koonuse lõiked. Wôtame ümmarguse püstkoonuse. Iga lôige mis perpendikulaarne teljele on ring, kaldlôige — ellips, lôige tasapinnaga, mis paralleelne koonuse kujutawjoonele, annab paraaboli, lôige tasapinnaga, mis paralleelne kôrgusele — hüperboli.

Sellepärast nimetakse ringi, ellipsit, paraabolit ja hüperbolit üldiselt koonuse lôigeteks (joon. 170).

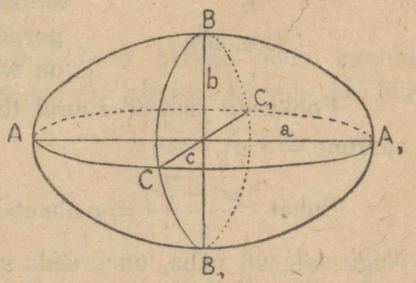
Nônda wôib ütelda, et taewakehad liiguwad mööda koonuse lôikeid.

Ellipsoiid on kinnine pind, mis lôikudes tasapinnaga annab ellipsi wôi ringi.

Üldjuhusel on ellipsoiidil kolm isesuurust telge. Nimetame suurema tähega a, keskmise — b, wäiksema — c (joon. 171).

Kujutades ellipsi ABA_1 pöörduwana telje AA_1 ümber, saame pöördellipsoiidi, milles kôik teljele AA_1 perpendikulaarsed lôiked on ringideks.

Ellipsi kaare BAB_1 pöördudes ümber telje BB_1, saabub pöördellipsoiid, milles teljele BB_1 perpendikulaarsed lôiked on ringideks.



Joon. 171.

Niisugune kuju on muu seas planeetidel: BB_1 — pöörlemistelg, tasapind ACA_1C — ekwaator.

Sel juhusel $a = c$, aga b on a-st wäiksem.

Suurust $\frac{a-b}{a}$ nimetakse wäikese telje b ümber pöörduwa pöördellipsoiidi lapikkuseks. Mida suurem on wahe $a - b$, seda lapikum on ellipsoiid.

Kui kôik teljed on ühesuurused $a = b = c$, siis saame kera; järjelikult on kera ellipsoiidi erijuhuseks.

Kôik kera normaalid lähewad tema keskpunktist läbi (normaaliks nimetakse sirgjoont, mis on perpendikulaarne puutujale tasapinnale puutumispunktis).

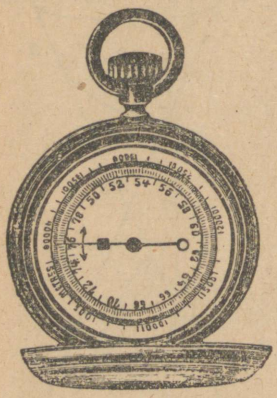
Ellipsoiidis ei lähe normaal üldjuhusel mitte läbi keskkoha (eranditeks on ainult punktid $AA_1BB_1CC_1$).

PRAKTILISED HARJUTUSED KOSMOGRAAFIAS.

(Teine lisa.)

1) Waadelda, kuidas tôuswa päikese kiired kôrgeid maju järkjärgult walgustawad.

2) Määrata maakera ligikaudne suurus. Tôuseme suure maja ülemisele korrale ehk, weel parem, kôrgesse torni. Otsime waatepiiri äärelt mône küla ja määrame kaardi järele tema kauguse. Peale selle määrame kôrguse, millel asume. Seda wôib teha mitmel wiisil. Näituseks:



Joon. 172.
Baromeeter kôrgusmôôtja.

1) lastes ülewalt pika nööri pommiga alla,

2) baromeetri-kôrgusmôôtja abil (joon. 172),

3) uniwersaal-riista abil (allpool, lhk. 151).

Olgu torni kôrgus — h, küla kaugus tornilt — d. Küllaldase ligikaudsusega wôib kaugust DB (joon. 5) AB suuruseks lugeda. Märkides siis maakera raadiuse tähega x, saame $\triangle$-st AOB Püthagorase teoreemi põhjal wahekorra

$$(x+h)^2 = x^2 + d^2,$$

millest

$$x^2 + 2xh + h^2 = x^2 + d^2$$

$$x = \frac{d^2 - h^2}{2h}$$

$$x = \frac{(d+h)\ (d-h)}{2h}$$

Näitus: Kôrgus $h = 11$ sülda, kaugus $d = 16$ wersta. Et 16 wersta $= 8000$ sülda, siis

$$x = \frac{8011 \cdot 7989}{22} \text{ sülda} = \frac{8011 \cdot 7989}{22.500} \text{ wersta} = 5818 \text{ wersta}.$$

3) Arwata antud kôrgusest nähaolewa waatepiiri raadius, ja waatlemiste pôhjal järele katsuda.

Olgu tôusukôrgus — h.

Maakera raadius — 6000 wersta.

Nähtawa waatepiiri otsitaw raadius — x.

$\triangle$-st AOB (joon. 5)

$$x^2 = (6000 + h^2) - 6000^2$$

$$x^2 = (12000 + h) \,.\, h.$$

Et h käesolewal juhusel on ainult môni süld, s. t. wäike osa werstast, siis ei ole tema mittearwesse-wôtmisel klambrites suurt môju. Küllaldase ligikaudsusega wôime wôtta

$$x = \sqrt{12000 \,.\, h}.$$

Näitus 1: torni kôrgus $h = 11$ sülda $= \frac{11}{500}$ wersta.

Nähtawa waatepiiri raadius

$$x = \sqrt{12000 \,.\, \frac{11}{500}} \text{ wersta} = \sqrt{12 \,.\, 22} \text{ wersta} = \sqrt{264} \text{ wersta} = 16 \text{ wersta}.$$

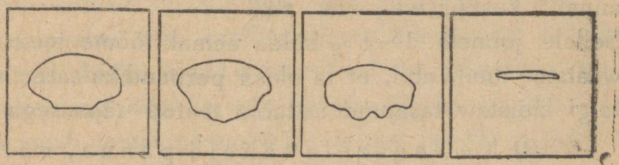
Näitus 2: kôrgus, millel waatleja asub, on 4 sülda.

Nähtawa waatepiiri raadius

$$x = \sqrt{12000 \,.\, \frac{4}{500}} \text{ wersta} = \sqrt{96} \text{ wersta} = 10 \text{ wersta}.$$

4) Joonistada loojuwa päikese kuju.

Üldjuhusel on see owaal, mônedel juhustel aga nähakse iseäralise niiskuse wôi tuule môjul mitmesuguseid korrapäratusi, nagu joonistustel 173 ja 174.

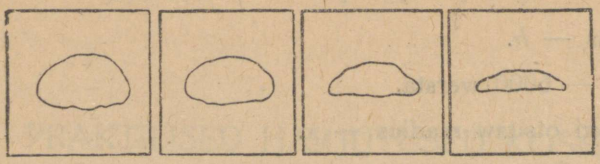


7 t. 30 m. 30 s. 7 t. 31 m. 0 s. 7 t. 31 m. 55 s. 7 t. 33 m. 25 s.
9. juulil.

Joon. 173.

5) Wôrrelda Weomehe, Lüüra ja Sônni peatähtede heledust ja wärwi.

6) Märkida kaardile oma waatlemise järele heleda planeedi koht ja teha sedasama nädala kahe, kolme jne. pärast.



7 t. 13 m. 15 s. 7 t. 13 m. 40 s. 7 t. 14 m. 30 s. 7 t. 15 m. 0 s.
6. augustil.
Joon. 174.

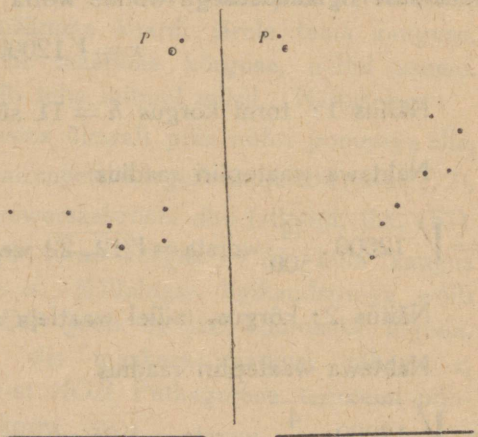
7) Joonistada oma waatlemise järele Suure Wankri seitsme peatähe asetus waatepiiri suhtes kell 8 õhtul ja kell 12 öösel.

Näitus: joonistused 175 ja 176.

8) Näidata ülemises ja alumises kulminatsioonis olewaid tähti.

9) Kahe wertikaalse teiwaga aias ehk õues meridiaani siht ära tähendada.

Teiba, mis 3 kuni 4 arsinat pikk, 1 toll kuni 1 wersok jäme, lööme nõnda maa sisse, et tema siht loodi sihiga täiesti ühte langeks.



kell 8 õhtul.
Joon. 175.

kell 12 öösel.
Joon. 176.

Selgel päewal heidab teiwas warju. Kõige lühem wari annab keskpäewa-joone sihi. Sellele joonele 1—1½ sülda eemal lööme teise samasuguse teiba ja waatame loodi abil, et ta oleks perpendikulaarne waatepiirile. Teiwaste telgi läbistaw tasapind esitabki teatud täpsusega meridiaani tasapinda.

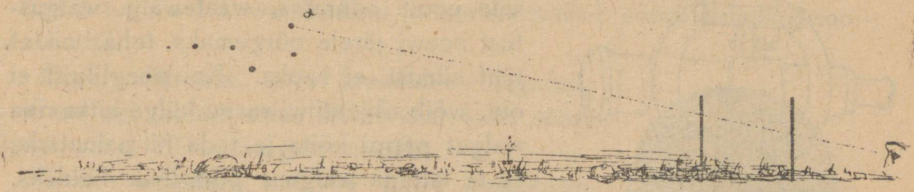
10) Kella järele tähele panna, millal alfa S. Wankris on alumises kulminatsioonis (joon. 177). Wälja arwata, kui palju hiljemini tuleb alfa Andromeedas ülemisse kulminatsiooni ja oma enese waatlemiste abil wastust kontrollida*).

Wastus 1 tunni 6 min. pärast.

*) Tähtede otsetõusud on antud allpool tabelis „Tähtsamate tähtede, tähtsagarate ja udukogude seis".

11) Waatlemised uniwersaal-riistal.

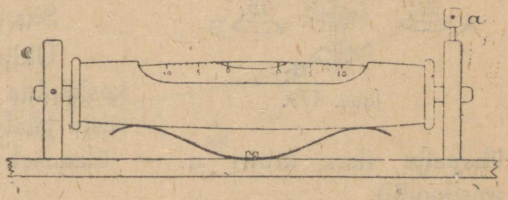
a) Uniwersaal-riistal on kaks sôôri — üks horisontaalsete, teine — wertikaalsete nurkade môôtmiseks (joon. 21). Ta seatakse kindlale kiwisambale ehk kruwitakse kolmjala külge, mille jalad teritud otsadega masse torgatakse.



Joon. 177.

Riista täpseks ülesseadeks tarwitakse wesilooti.

b) Wesiloot on toru, mille siscmine pind ringi kaares lihwitud. See toru täidetakse eeteriga, aga mitte täiesti, waid nii, et wäike ôhumullike järele jääb. Kui wesiloodi telg on horisontaalne, siis asub ôhumull toru keskkohas (joon. 178). Kui telg on kallakile, nihkub mul selle otsa poole, mis kôrgemal. Kruwi *a* on selleks, et wesiloodi wastawat otsa tôsta ehk alandada.



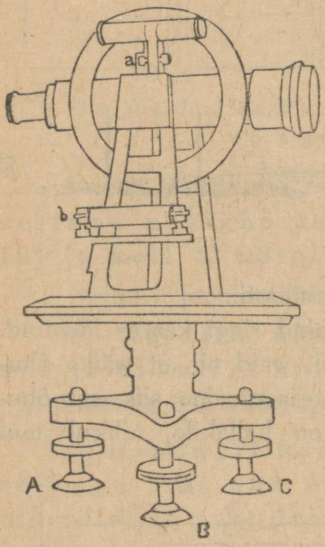
Joon. 178.

c) Niitidewôrk. Uniwersaal-riista pikksilma okulaar-osas on tômmatud mitu peenikest ämbliku niiti *). Riista ülesseadmise eel peab waatleja järele katsuma, kas need niidid on küllalt hästi näha. Kui seda ei ole, siis peab tema, wäikest okulaar-torukest ettewaatlikult käega sisse lükates, täiesti terawa, selge kujutuse saama. Igale silmale on muidugi oma fookusse seade. Pärast — tähe ehk maapealse asja waatlemisel — nihutatakse hammasratta abil, okulaari eraldi käega mitte puutudes, pikksilma terwet okulaar-osa kuni waadeldawa asja kujutus täiesti selgeks muutub. Mis puutub tähesse, siis peab temal olema mitte uduse kettakese waid terawa enam ehk wähem heleda punkti kuju.

d) Waatewälja walgustamine. Et niidid öösel tähtede waatlemisel näha oleks, selleks pannakse pikksilma objektiiwi raamile rôngas wäikese peegliga, mida kôrwalt laternaga walgustakse. Peeglike

*) Wahel pannakse ämbliku niitide asemel klaasplaat, millele on lôigatud peened jooned.

heidab laternast temale langewad kiired pikksilma ja walgustab waatewälja, nii et selles tumedad niidid selgesti näha on. Et aga peeglike wäike on, peab ta ainult wäikese osa tähelt tulewaist kiirtest kinni, nii et ka täht on walgel foonil päris selgesti näha. Kui täht on nôrk, siis wôib, rôngast peegliga ühele ehk teisele poole pöörates, waatewälja walgustust soowi järele nôrgemaks teha, nii et täht silmist ei kaoks. Kui peeglikest ei ole, wôib objektiiwi raami külge kitsa riba walget pappi köita ja teda nii painutada, et ta laterna walguse pikksilma heidaks.



Joon. 179.

e) Riist seatakse järgmiselt üles.

Pöörame riista ülemise osa nii, et wesiloodi telg läheks üle ühe neist kolmest kruwist, milledel riist seisab, näit. *A* (joon. 179).

Keerates seda kruwi toome keskkohta wesiloodi mulli.

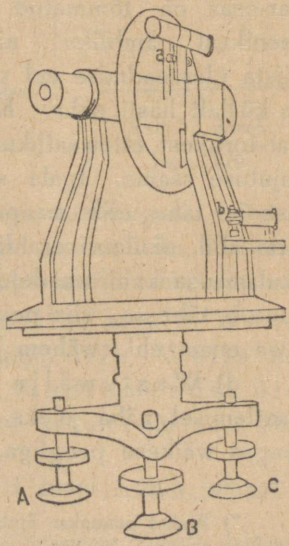
Siis pöörame riista ülemise osa 180°.

Üldjuhusel nihkub mull. Toome ta keskkohta tagasi — keerates kruwi riista jalal ja kruwi wesiloodil kumbagi ühepalju (kas kruwi *a* — ülemisel, wôi kruwi *b* — alumisel wesiloodil).

Seda tehet tuleb mitu puhku korrata, kuni wesiloodi mull jääb môlemais riista asendites keskkohta.

Peale selle pöörame riista ülemise osa 90°, nii et wesiloodi telg riista kahe teise kruwi *B* ja *C* sihile tuleb (joon. 180) ja mitte puutudes wesiloodi kruwi, toome keskkohta mulli keerates kruwisid *B* ja *C* isekülge, s. t. ühte sissekruwides, teist wälja.

f) Pikksilma juhtimine. Pikksilm wôib horisontaalse telje ümber pöörduda. Kuid pole siiski kerge teda käte abil juhtida soowitud tähe peale, sest käte liigutused on liig järsud, jämedad, suured. Käega pööratakse riist ligikaudselt ôigesse seisu; selle wäikese pöörangu tegemiseks,



Joon. 180.

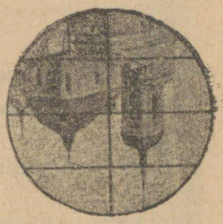
mida weel on tarwis, et anda riistale täpne rakestus, on olemas iseäraline mikromeetriline kruwi.

Pikksilm annab muidugi ümberpöördud kujutused.

Täht ehk waadeldawal asjal walitud punkt juhitakse alati waatewälja keskkohta, mida niitide lôikepunkt märgib (joon. 181).

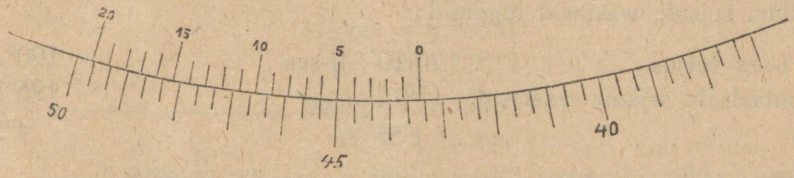
g) Lugemid wertikaalsel ja horisontaalsel sôôril tehakse nooniukste abil.

Olgu, näituseks, sôôr kraadideks jagatud, iga kraad aga kolme ossa, nii et kaar kahe sôôri kriipsu wahel 20′-se nurgale wastab.



Joon. 181.

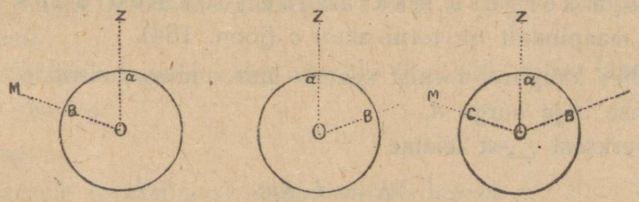
Seisku nooniuse null nii nagu joonistusel 182. Sellele nooniuse nulli seisule wastab nähtawasti lugem 43°20′ + wäike osa ühest interwallist sôôril. Et seda interwalli osa minutites hinnata, waatame, missugune nooniuse kriips sôôri kriipsuga ühte langeb. Meie juhusel wôib wiiendat ehk kuuendat kriipsu ühte langewaks lugeda. Nooniuse nulli antud seisule wastab niiwiisi lugem 43°25′ ehk 43°26′.



Joon. 182.

Pikksilma pöörates tuleb nooniuse nullile uus lugem wastama.

Et täpimalt määrata, mitmes kriips sôôrkriipsuga ühtub, selleks tuleb lääts hästi silma järele seada ja waadeldawad kriipsud alati waatewälja keskkohas hoida.



Joon. 183.

h) Seniitpunkti määramine. Wesiloodi abil riist üles seatud, juhime pikksilma mingisuguse maapealse asja *M* peale (joon. 183)

ja wôtame wastawa lugemi ühel nooniusel. Siis pöörame riista ülemise osa 180^0 (joon. 183_2) ja juhime pikksilma uuesti M peale ja teeme s a m a l nooniusel uue lugemi.

Kui sôôri esimese seisu juures oli lugem B, teise juures — C, siis wastab seniiti juhitud pikksilmale, nähtawasti lugem A, mis on nende aritmeetiline keskmine

$$A = \frac{B + C}{2}.$$

Näitus:

Sôôri I-sele seisule wastab lugem . . . $20^0 10'$
„ II-sele „ „ „ . . . $190^0 20'$

Seniitpunktile wastab $\frac{20^0 10' + 190^0 20'}{2} = 105^0 15'$

Pikksilma horisontaalsele seisule wastab lugem, mis on 90^0 wôrra wäiksem ehk suurem, s. t. $15^0 15'$ ja $195^0 15'$ (Kas waatepiirile juhitud pikksilm on horisontaalne?).

i) M ä ä r a t a a s j a k ô r g u s h o r i s o n d i l t. Asjale M juhitud pikksilma seisule wastasid lugemid:

sôôri I-ses seisus	$20^0 10'$,	II-ses	$190^0 20'$
horisontaalsele seisule wastasid	$15^0 15'$	„	$195^0 15'$
Wahe	$4^0 55'$		$4^0 55'$

Tähendab, asja kôrgus horisondilt on waatlejale $4^0 55'$.

T ä h e k ô r g u s e määramiseks juhime temale pikksilma; olgu wastaw lugem . . . . . $60^0 30'$
pikksilma rôhtseisule wastaw lugem . . . . . $15^0 15'$
Tähe kôrgus horisondilt . . $45^0 15'$

k) A s j a k ô r g u s e m ä ä r a m i n e j o o n m ô ô t u d e s. Määrata, kui kôrgel maapinnalt on torni aken c (joon. 184).

Mistahes kaugusel tornist seame üles uniwersaal-riista, môôdame selle kauguse d ja nurga α.

Täisnurksest $\triangle$-st leiame

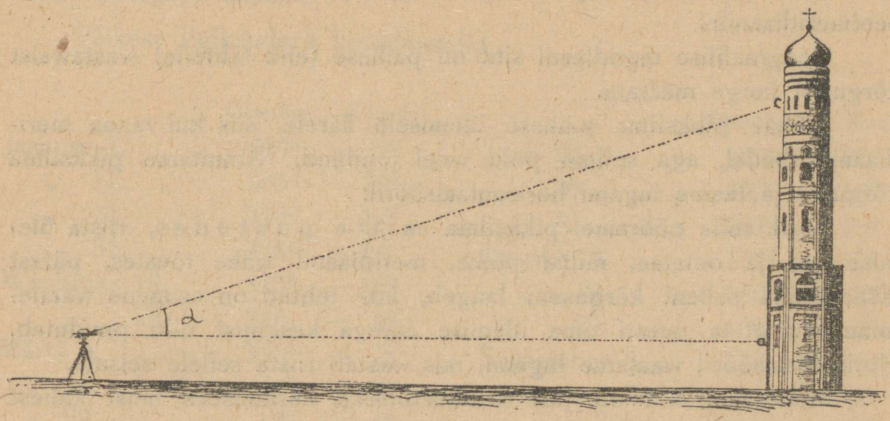
$$ac = d \,.\, tg\alpha.$$

Kui riista kôrgus h, siis on akna otsitud kôrgus maapinnalt $h + d \,.\, tg\alpha$.

Näitus: $d = 20$ sülda $= 60$ ars.
$h = 2$ ars.

Lugem uniw.-riista wert.-sôôril pikksilma horisontaalses seisus $15^0 15'$ *)
Lugem, kui pikksilm aknale juhitud . . . . . $45^0 29'$

Järjelikult . . . . . $\alpha = 30^0 14'$



Joon. 184.

$$lgtg\alpha = 9.76551$$
$$lgd = 1.77815$$
$$lgdtg\alpha = 1.54366$$
$$dtg\alpha = 35 \text{ ars.}$$

$dc = h + dtg\alpha = 2$ ars. $+ 35$ ars. $= 37$ ars. $= 12$ sülda 1 ars.

l) Päikese nurk-läbimôôdu määramine. Waatleme päikest meridiaani lähedal, mil taewakeha kôrgus wähe muutub.

Okulaari katame tumeda klaasiga.

Riist üles seatud, juhime pikksilma päikese ketta ülemisele äärele ja teeme ühel wertikaalsôôri nooniusel lugemi.

Siis juhime pikksilma alumisele äärele ja teeme samal nooniusel teise lugemi.

Nende kahe lugemi wahe annabki ühe ehk teise täpsusega päikese nurk-raadiuse.

Näitus:

Ülemisele (pikksilmas) äärele wastab lugem . . . $66^0 52'$
Alumisele äärele . . . . . $67^0 23'$
Päikese nurk-läbimôôt . . . . . $31'$

*) W. ülesanne h.

m) Meridiaani määramine horisontaalsôôril. Ligikaudselt wôime leida meridiaani sihi kompassi abil, mis tihti on uniwersaal-riista juures. Pöörame riista ülemise osa nii, et ta tuleb magneetnôelale paralleelseks ja waatame lugemi. See lugem wastab magneetmeridiaanile.

Geograafilise meridiaani siht on päikese (ehk tähtede) wastawaist kôrgusist kerge määrata.

Juhime pikksilma päikese ülemisele äärele, siis kui ta on meridiaani lähedal, aga selleni pole weel jôudnud. Kinnitame pikksilma kôrguses ja teeme lugemi horisontaalsööril.

Peale selle pöörame, pikksilma mitte puutudes, riista ülemise osa ja ootame, millal päike, meridiaanil wähe tôustes, pärast läänes jälle selleni kôrguseni langeb, kus tehtud on esimene waatlemine, nii et ta uuesti oma ülemise äärega keskmist niiti puudutab. Horisontaalsööril waatame lugemi, mis wastab riista sellele seisule.

Meridiaani siht on just aritmeetiliseks keskmiseks neist kahest lugemist.

Näitus:

Lugem horisontaalsôôril, kui päike meridiaanist ida pool . .	280°45′
Lugem horisontaalsôôril, kui päike meridiaanist lääne pool .	291°25′
Meridiaani siht	286° 5′

n) Asja aasimudi määramine. Seame riista üles ja määrame horisontaalsôôril meridiaani sihi. Siis juhime pikksilma asjale ja waatame horisontaalsôôril wastawa lugemi. Lugemite wahe annab otsitawa aasimudi.

Näitus I:

Meridiaani seis	286° 5′
Lugem, kui pikksilm asjale juhitud	270°20′
Asja aasimut	15°45′ ida poole.

Näitus II:

Meridiaani seis	286° 5′
Lugem, kui pikksilm asjale juhitud	315°35′
Asja aasimut	29°30′ lääne poole.

12) Nädala wôi kümne päewa tagant märkida ekliptiliste tähtkondade kaardile (w. raamatu lôpus wastawat kaarti) koordinaatide järele päikese koht ja ühendada siis kôik punktid katketu joonega. Ta kujutab ekliptikat.

Ülemisel ja alumisel weerul mis kaarti ümbritseb, samuti ka keskjoonel on loetud otsetôusu kraadid. Külgedel — pöörde kraadid.

Päikese koha märkimisel on hôlbus tarwitada pabeririba ja ôhukest täisnurgaga liineali.

Päikese ligikaudsed koordinaadid:

	Otsetôus.	Kääud.		Otsetôus.	Kääud.
Jaanuar 1. . .	294°	−22°	Juuli 10. . . .	122°	+20°
„ 11. . .	305°	−19°	„ 20. . . .	132°	+18°
„ 21. . .	316°	−17°	„ 30. . . .	142°	+15°
„ 31. . .	326°	−14°	August 9. . .	151°	+12°
Weebruar 10. .	335°	−10°	„ 19. . .	160°	+ 8°
„ 20. .	345°	− 6°	„ 29. . .	169°	+ 5°
Märts 2. . . .	355°	− 2°	September 8. .	178°	+ 1°
„ 12. . . .	4°	+ 2°	„ 18. .	187°	− 3°
„ 22. . . .	13°	+ 6°	„ 28. .	196°	− 7°
Aprill 1. . . .	22°	+10°	Oktoober 8. .	208°	−11°
„ 11. . . .	31°	+13°	„ 18. .	215°	−14°
„ 21. . . .	41°	+16°	„ 28. .	225°	−17°
Mai 1. . . .	51°	+19°	Nowember 7. .	235°	−20°
„ 11. . . .	61°	+21°	„ 17. .	246°	−22°
„ 21. . . .	71°	+22°	„ 27. .	257°	−23°
„ 31. . . .	82°	+23°	Detsember 7. .	268°	−23°5
Juuni 10. . .	92°	+23°5	„ 17. .	279°	−25°
„ 20. . .	102°	+23°	„ 27. .	289°	−22°
„ 30. . .	112°	+22°			

13) Joonistada S. Wankri seis waatepiiri suhtes täna, kell 9 ôhtul. Wälja arwata, mis kuudel on S. Wankri seis samal ajal (kell 9 ôhtul) niisugune nagu joonistusel 175 ja 176. Oma enese waatlemistega kontrollida.

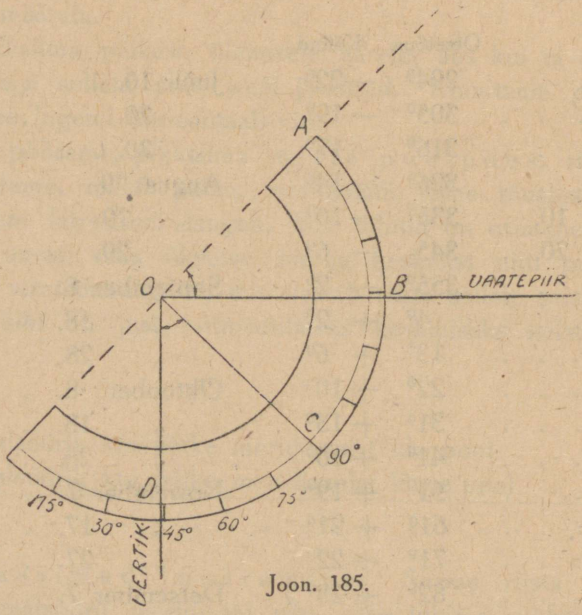
14) Määrata waatlemiskoha laius Põhjanaela järele.

Määrame uniwersaal-riistaga Põhjanaela kôrguse waatepiirilt wôi, kui seda riista ei ole, siis malliga. Pannes silma mallile, juhime tema läbimôôdu (joon. 185) Põhjanaelale S.

Abiline hoidku sel ajal loot keskkohal O ja lugegu mallilt kraadide arw, mida loodi nöör katab. Nähtawasti on pooluse kôrgus AOB = COD (külgede perpendikulaarsuse põhjal).

Näitus: Loodi nöör katab 44^0.
Koha laius $= 90^0 - 44^0 = 46^0$.

15) Koha laiuse määramine tähe waatlemisest ülemise kulminatsiooni silmapilgul.



Joon. 185.

Kui täht seniidist lôuna pool kulmib, siis

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

Walime meridiaani ligidal tähe. Wôimalik täpselt arwame tema ülemise kulminatsiooni silmapilgu ja määrame uniwersaal-riistaga sel ajal tema seniitkauguse.

Tähe deklinatsiooni kirjutame tabelitest.

Näitus: 15 oktobril waadeldi Tartus tähte Alfa Andromeedas

Tähe otsetôus $= 0$ tundi 4 min. deklin. $= +28^051'$.
Täheaeg ülemises kulminatsioonis . 0 tundi 4 min.
Täheaeg keskm. keskpäewal 15 okt. 14 „ 26 „

α Andromeedas ülemine kulmin. . 9 tähe t. 38 min.

pärast keskpäewa, s. t. umbes kell 9 36 min. keskmise päikseaja järele.

Uniwersaalriist seati juba walgega üles.

Seniitpunkti seis sel päewal oli $105^030'$.

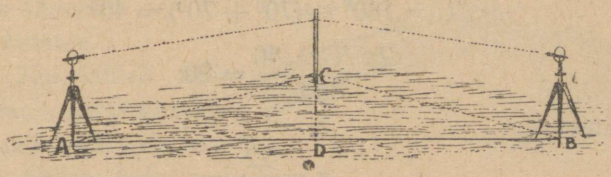
Kell 9, 36 min. juhiti pikksilm alfale Andromeedas.
Wastaw lugem wertikaalsôôril oli $75^0 44'$.
Tähendab,

Seniitpunkt . . .	$105^0 30'$
Lugem	$75^0 44'$
z	$29^0 46'$
δ	$28^0 37'$
$\varphi = z + \delta$ . . .	$58^0 23'$
Tartu laius . . .	$58^0 23'$

16) Ühel selgel talweööl järgida ekliptika asetust taewas.

17) Môôta mingisuguse asja kaugus ôues, tema juure otsekoheselt mitte minnes.

Olgu tarwis leida kaugus punktist D kuni teibani C (joon. 186).



Joon. 186.

CD-le perpendikulaarses sihis môôdame mône ulatuse AD. Siis seame punkti A uniwersaalriista ja môôdame nurga CAD. Siis leiame täisnurkse kolmnurga külgede wahekorrast:

$$CD = AD.tgA.$$

Näitus:

$AD = 10$ sülda $\quad lgAD = 1.00000$
$< A = 70^0 \quad lgtgA = 0.43893$
$\quad lgCD = 1.43893$
$\quad CD = 27.5$ sülda.

Wôib ka geomeetrilist metoodi tarwitada, mis annab seda paremad resultaadid, mida kaugemal on asi.

Môôdame D-st kummalegi poole ühesuurused ulatused DA ja DB. Nurk A môôdetud, môôdame kontrolliks ka nurga B, mis A-ga nähtawasti peab ühtuma.

Teades kaks nurka A ja B, leiame kolmanda C.

Tômbame môttes punktist C kui keskkohast ringi raadiusega CD. AB on puutujaks selle ringile.

Umbse ligikaudsusega wôime AB-d nurgale C wastawa kaare pikkuseks pidada.

Selle kaare pikkus $= \frac{2\pi . CD . C}{360}$, kui nurk C on kraadides awaldatud.

Nônda määrame CD ekwatsioonist:

$$\frac{2\pi . CD . C}{360} = AB.$$

millesse nurgaks C ja ulatuseks AB tarwis môôtmisest saadud suurused panna.

Näitus:

$$AB = 20 \text{ sülda}$$
$$< A = 70^0, < B = 70^0.$$

Nônda,

$$< C = 180^0 - (70^0 + 70^0) = 40^0$$

$$\frac{2\pi . CD . 40}{460} = 20$$

Arwates

$$\pi = \frac{22}{7},$$

leiame $CD = 28{,}6$ sülda.

18) Joonistada kuu seis naabertähtede suhtes — ôhtu algusel, 4—5 tunni pärast ja järgmisel päewal.

19) Märkida oma enese waatlemisist, millal kuu on esimeses weerandis; arwata järgmised faasid ja wôrrelda kalendriga, ehk kui ilm lubab, siis ka oma enese waatlemistega.

20) Algoli (beeta Perseuses) heledust järgida. Astronoomilistes kalendrites antakse hiilge minimumi momendid.

21) Waatlemised astronoomilisel pikksilmal.

Kui suurt pikksilma ei ole, wôib leppida uniwersaalriista pikksilmaga ehk binokliga.

a) Päikese pind. Laigud. Granulatsioon.

Waatlemiste eel panna okulaarile tume klaas. Päikese wôib ka walgele papile proektida, pikksilma okulaar-osa niipalju wälja tômmates, et päikese ketta ääred oleksid terawad.

b) Kuu pind.

Kôige huwitawam on kuu esimesel weerandil, siis on walgustatud osa siseäärel palju mitmesuguseid konarlusi näha; mäeahelikud, ringmäed, praod, mered, heledad punktid ja klambrikesed tumedal foonil.

c) Weenuse faasid.

d) Jupiteri wöödid ja laigud. Joonistada kaaslaste asetus.

e) Saturni rôngad.

f) Paaristähed: ϑ Sônnis, ε ja 5 Lüüras, β Luiges, Mizar (ζ S. Wankris), mitmekordne täht ϑ Orionis.

Wôimalikult tugew suurendus.

g) Tähtsagarad: Plejaadid, tähtsagar Perseuses, sagar Herkuleses, Wähjas, Kaksikutes.

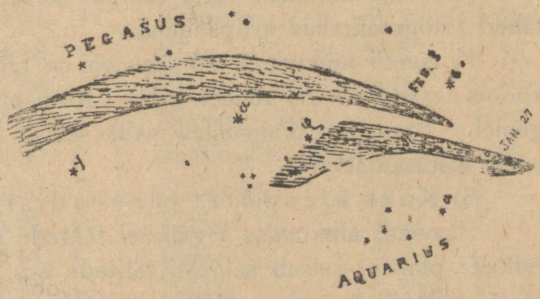
Tähtsagarad Perseuses, Sôim Wähjas ja Plejaadid on iseäranis huwitawad wäikeste suurenduste juures.

h) Udukogud Andromeedas ja Orionis.

i) Linnutee.

22) Kui küllalt hele komeet ilmub, siis joonistada tema liikumine tähtede keskel ja ka üldine kuju igal waatlemispäewal (joon. 187).

23) Mitte mööda lasta kuu ja päikese warjutust.



Joon. 187.

KOLM STEREOSKOOBILIST TABELIT.

(Kolmas lisa).

1) Kaks üleswôtet kuu pinnast lähewad libratsioni tagajärjel tublisti üksteisest lahku.

Stereoskoobis ilmub relieefne kujutus ja on selgesti näha kuu kumerus, mis näitab, et kuu on kerakujuline.

2) Kaks üleswôtet komeedist.

Komeedi liikumise tôttu tähtede keskel ekpositsiooni ajal ilmusid tähed fotograafimisel kriipsudena.

Komeedi nihkumine ööpäewaga on nii suur, et üleswôtteid stereoskoobis waadeldes on relieef näha. Komeet näib selgesti tähtedest ligemal. Tema ôrn läbipaistew saba seisab koos mitmest harust, asuwaist isetasapindades.

3) Kaks üleswôtet planeedist kahel järgsel päewal.

Planeedi nihkumise tagajärjel tähtede suhtes saabub stereoskoobis relieef: planeet seisab selgesti tähtede ees, ta ujub wabalt ruumis, ilma et ta millegile toetuks. Paremalt poolt poeb kaaslane planeedi keha taha peitu.

TÄHTSAMATE JA KODUMAA LINNADE LAIUSED JA PIKKUSED.

Linn.	Laius.	Pikkus.	Linn.	Laius.	Pikkus.
Abo . . .	60°27′	1t.29.m.1	Paide . . .	58°54′	1t.42.m.3
Archangelsk .	64 32	2 42. 3	Pariis . . .	48 50	0 9. 3
Atheen. . .	37 58	1 34. 9	Pärnu . . .	58 23	1 38. 0
Baltiiski . .	59 21	1 36. 3	Peterburg. .	59 57	2 01. 2
Berliin . . .	52 30	0 53. 6	Pulkow . .	59 46	2 01. 3
Bombei . .	18 54	4 51. 3	Rakwere . .	59 22	1 43. 3
Brüssel . .	50 51	0 18. 5	Riia. . . .	56 57	1 36. 5
Haapsalu . .	58 57	1 34. 3	Rio-de-Janeiro	—22 54	—2 52. 7
Helsingi . .	60 10	1 39. 8	Rooma. . .	41 54	0 49. 9
Kuresaare. .	58 15	1 30. 0	Santjaago. .	—33 27	—4 42. 8
Lissabon . .	38 43	—0 36. 7	Stokholm . .	+59 21	1 12. 2
Madras . .	13 4	5 21. 0	Tallinn . .	59 26	1 39. 2
Madrid . .	40 24	—0 14. 8	Tartu . . .	58 23	1 46. 9
Melburn . .	—37 50	9 39. 9	Tokio . . .	35 39	9 19. 0
Moskwa . .	55 45	2 30. 3	Wiljandi . .	58 22	1 42. 4
Narwa . , .	59 23	1 52. 8	Wladiwostok.	43 07	8 47. 7
Odessa . .	46 29	2 03. 0	Wôru . . .	57 51	1 48. 0

TÄHTSAMATE TÄHTEDE, TÄHTSAGARATE JA UDUKOGUDE KESKMISED KOHAD 1921.

Tähed.	Suurus.	Otsetôus.	Pôige.
α Andromeedas. .	2.1	0 tundi 4 min.	+ 28°39′
β Kassiopejas . .	2.2	5	+ 58 42
γ Pegasuses . . .	2.7	9	+ 14 45
α Kassiopejas . .	Muutl. 2.2—2.8	36	+ 56 6
β Walaskalas . .	2.2	40	— 18 25
γ Kassiopejas . .	2.0	52	+ 60 17
β Andromeedas. .	2.1	1 tund 5 min.	+ 35 12
Põhjanael . . .	2.0	32	+ 88 53

Tähed.	Suurus.	Otsetõus.	Põige.
γ Andromeedas . .	P. 2.1	1 tund 59	+ 41°57′
α Jääras	2.0	2 tundi 3 min.	+ 23 5
o Walaskalas. . .	Muutl. 1.7—9.0	15	— 3 26
α Walaskalas . .	2.5	58	+ 3 47
β Perseuses . . .	Muutl. 2.2—3.7	3 tundi 3 min.	+ 40 39
α Perseuses . . .	2.0	18	+ 49 35
ϑ Sõnnis	Pt. 4.0—4.2	4 tundi 24 min.	+ 15 48
α Sõnnis	1	31	+ 16 21
α Weomehes . .	1	5 tundi 11 min.	+ 45 55
β Orionis	1	11	— 8 18
γ Orionis	1.7	21	+ 6 17
β Sõnnis	1.8	21	+ 28 33
δ Orionis	Muutl. 2.2—2.7	28	— 0 21
ε Orionis	1.6	32	— 1 15
α Orionis	Muutl. 1.0—1.4	51	+ 7 24
β Weomehes . .	1.9	54	+ 44 56
γ Kaksikuis . . .	2.0	6 tundi 33 min.	+ 16 28
α S. Koeras . . .	1	41	— 16 36
ε S. Koeras . . .	1.5	56	— 28 52
δ S. Koeras . . .	1.9	7 fundi 5 min.	— 26 16
α Kaksikuis . . .	Pt 1.8—2.8	30	+ 32 4
α W. Koeras . .	1	35	+ 5 26
β Kaksikuis . . .	1.1	40	+ 28 13
α Hüüdras . . .	2.0	9 tundi 24 min.	— 8 19
α Lõwis	1.3	10 tundi 4 min.	+ 12 21
β S. Wankris . .	2.3	57	+ 56 48
α S. Wankris . .	1.8	59	+ 62 11
δ Lõwis	2.4	11 tundi 10 min.	+ 20 57
β Lõwis	2.1	45	+ 15 1
γ S. Wankris . .	2.3	49	+ 54 8
γ Rongas	2.4	12 tundi 12 min.	— 17 6
δ Rongas	2.8	26	— 16 5
β Rongas	2.6	30	— 22 58
ε S. Wankris . .	1.7	51	+ 56 23
ζ S. Wankris . .	2.2	13 tundi 21 min.	+ 55 20
α Neitsis	1.1	21	— 10 45
η S. Wankris . .	1.8	44	+ 49 42
α Bootis	1	14 tundi 12 min.	+ 19 36
α Kaaludes . . .	2.7	47	— 15 43
β W. Wankris . .	2.0	51	+ 74 29

Tähed.	Suurus.	Otsetõus.	Põige.
β Kaaludes . . .	2.5	15 tundi 13 min.	— 9° 6′
α Põhja Kroonis .	2.2	31	+ 26 59
α Madus	2.6	40	+ 6 40
δ Skorpionis . . .	2.3	55	— 22 24
β Skorpionis . . .	2.6	16 tundi 1 min.	— 19 35
α Skorpionis . . .	1.2	25	— 26 15
β Herkuleses . .	2.6	27	+ 21 41
η Madukandjas . .	2.4	17 tundi 6 min.	— 15 38
α Madukandjas . .	2.1	31	+ 12 37
γ Draakonis . . .	2.3	55	+ 51 30
α Lüüras	1	18 tundi 34 min.	+ 38 43
ε Lüüras	Pt. 4.5—5.1	41	+ 39 35
σ Kütis	2.1	50	— 26 24
α Kotkas	1.0	19 tundi 47 min.	+ 8 40
γ Luiges	2.3	20 tundi 19 min.	+ 39 59
α Luiges	1.3	39	+ 45
ε Pegasuses . . .	2.3	21 tundi 40 min.	+ 9 31
α Lõuna Kalades .	1.2	22 tundi 58 min.	— 30 2
β Pegasuses . . .	Muutl. 2.2—2.7	23 tundi 0 min.	+ 27 39
α Pegasuses . . .	2.4	1	+ 14 47

Tähtsagar Perseuses	2 tundi 13 min.	+ 56°44′
Plejaadid	3 43	+ 23 52
Tähtsagar Kaksikutes	6 3	+ 24 20
Tähtsagar Wähjas	8 46	+ 20 18
Tähtsagar Herkuleses	16 39	+ 36 2

Udukogu Andromeedas	0 tundi 38 min.	+ 40°48′
Udukogu Orionis	5 31	— 5 28
Udukogu Lüüras	18 50	+ 32 56

Päikese, kuu ja kaaslaste tabelid.

	Päike		Kuu
Parallaks	8″8	Parallaks	57′2″
Kaugus	149 500 000 klm.	Kaugus	384 400 klm.
Näht. raadius	16′	Näht. raadius	15′33″
Joon-läbimôôt	109 maa läbim.	Joon. läbimôôt	0,27 maa läbim.
Mass	333 000 maa m.	Mass	$^1/_{81}$ maa m.
Tihedus	$^1/_4$ maa tih.	Tihedus	0,6 maa tih.
Sideeriline ringkäik	365,2563 päewa	Sideer. ringkäik	27,32166 päewa
Troopiline ringkäik	365,2422 päewa	Sünood. ringkäik	29,53059 „
Pöörlemisaeg	25 päewa	Pöörlemisaeg	27,32158 „

Kaaslased.

	Läbimôôt kilomeetrites	Keskm. kaugus planeedilt planeedi ekw.-raad. osades	Sideer. ringkäik ööpäewades
Marsi			
Fobos	8.3	2.76	0.3189
Deimos	7.2	6.92	1.2624
Jupiteri			
I (Jo)	3930	5.906	1.7691
II (Euroope)	3260	9.397	3.5512
III (Ganümeed)	5700	14.989	7.1545
IV (Kallisto)	5360	26.364	16.6890
Saturni			
Miimas	513	3.07	0.9424
Entselas	635	3.93	1.3702
Theetis	989	4.88	1.8878
Dioone	941	6.24	2.7369
Reea	1225	8.72	4.5175
Titaan	2443	20.22	15.9454
Hüpeerion	330	24.49	21.2766
Jaapet	843	58.91	79.3301
Uurani			
Aariel	—	7.71	2.5204
Umbriel	—	10.74	4.1442
Titaania	910	17.63	8.7059
Oberon	875	23.58	13.4633
Neptuni			
Kaaslane	3630	13.33	5.8768

Suurte planeetide tabel.

Planeet	Keskmine kaugus päikeselt		Orbiidi kesklahk	Orbiidi kallakus ekliptik.	Sideeriline ringkäik ümber päikese		Sünood. ringkäik päevades.	Mass	
	astr. üksus.	kilomeetrites			päevades	aastates		päikese suhtes	maa suhtes
Merkuur	0.387	57 850 000	0.206	7°	87.97	0.2408	115.9	1/6000000	0.05
Weenus	0.723	108 100 000	0.007	3	224.70	0.6152	583.7	1/408000	0.79
Maa	1.000	149 500 000	0.017	0	365.26	1.0000	—	1/32939	1.00
Mars	1.524	227 800 000	0.093	2	686.98	1.8808	779.0	1/3093500	0.10
Jupiter	5.203	777 800 000	0.048	1	4 432.59	11.8620	398.6	1/3502	310
Saturn	9.539	1 426 000 000	0.056	2	10 759.23	29.4572	377.8	1/22869	93
Uuran	19.183	2 868 000 000	0.046	1	30 688.45	84.0202	369.3	1/19314	14
Neptun	30.057	4 493 000 000	0.009	2	60 181.31	164.7669	367.2		17

Planeet	Ekwatoriaalne läbimõõt		Ruumala maa suhtes	Tihedus		Raskuse tung pinnal	Telje ümber pöördumise vältus	Lapikkus
	kilomeetr.	maa läbim. osades		maa suhtes	wee suhtes			
Merkuur	4 800	0.38	0.05	1.00	5.6	0.40	87.97 päewa	—
Weenus	12 700	0.95	0.86	0.95	5.2	0.90	?	—
Maa	12 756	1.00	1.00	1.00	5.5	1.00	23 tundi 56 min. 4 sek.	1/279
Mars	6 700	0.53	0.15	0.72	4.0	0.38	24 „ 37 „ 23 „	1/190
Jupiter	141 000	11.19	1312.0	0.24	1.3	2.51	9 „ 55 „ —	1/15
Saturn	120 000	9.47	63.0	0.12	0.7	1.04	10 „ 14 „ —	1/10
Uuran	53 000	3.90	59.0	0.25	1.4	0.96	13 „	1/20
Neptun	48 500	4.15	72.0	0.24	1.3	1.00	—	—

Taewakaart.

Kaart on tehtud stereograafilises proektsioonis.

Keskkohas on põhjapoolus.

Jäme must joon on ekwaator.

Temaga ühiskesksed ringid — paralleelid.

Raadiustena keskkohast tulewad sirgjooned on deklinatsiooni ringide proektsioonid. Rooma numbrid siseraamis: I, II, III, IV, ... XXIV annawad otsetõusu tunnid, mis neile ringidele wastawad, samuti ka kraadid: 30^0, 60^0, 90^0 . . . .

Tähtkondade nimed on paksult trükitud, üksikute tähtede nimed — kursiiwiga.

Tähti ühendawad jooned eraldawad wälja iseloomulikud kujud, millede järele tähtkondade wahel wahet wõib teha.

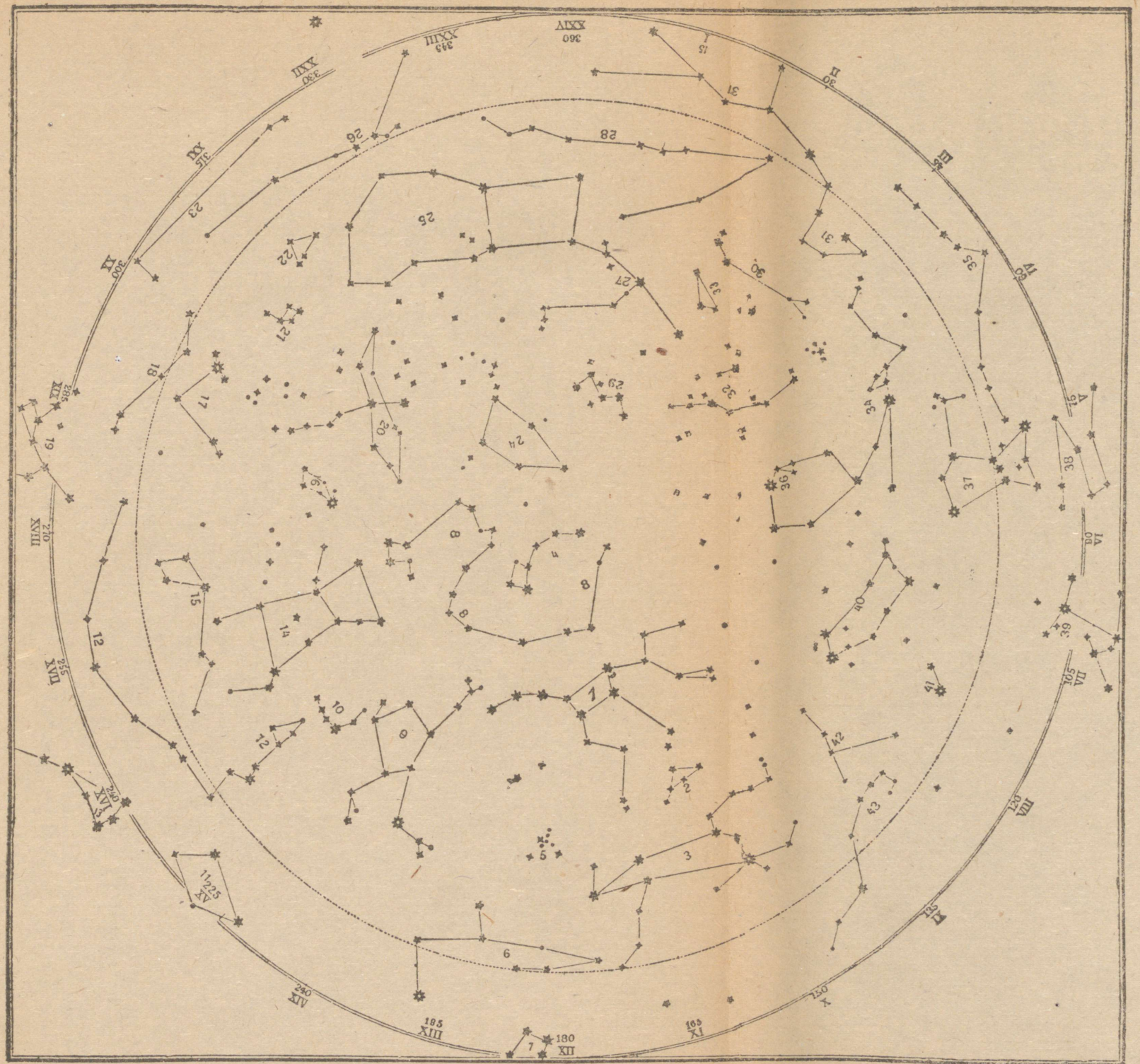
Walge riba on Linnutee.

Ring, mis ekwaatorile kesklahkne ja teda punktides γ ja $\simeq$ lõikab, on ekliptika.

Ekliptika puudutab Wähja ja Kaljukitse pöörijooni. Neid puutumispunkte ühendaw sirgjoon on proektsiooniks ringile, mida päikese seisaku koluuriks nimetatakse. Punkte γ ja $\simeq$ ühendaw sirgjoon on öö-päewa wõrduse koluuri proektsiooniks.

Ekliptikat mööda, hakates γ on soodiagu tähised asetatud, kaardi wälisraamis aga on märgitud kuud, mil päike wastawa ekliptika osa ära käib.

Taewakaart



Tähtkujud kaardil

1. Suur Wanker
2. Wäike Lõwi
3. Suur Lõwi
4. Wäike Wanker
5. Veroonika juuksed
6. Neitsi
7. Kaaren
8. Draakon
9. Bootes
10. Põhja Kroon
11. Kaalud
12. Madu
13. Skorpion
14. Herkules
15. Maduhoidja
16. Lüüra
17. Kotkas
18. Antinooja
19. Kütt
20. Luik
21. Delfiin
22. Wäike Hobu
23. Kaljukits
24. Tsefeus
25. Pegasus
26. Weemees
27. Andromeeda
28. Kalad
29. Kassiopeja
30. Jäär
31. Walaskala
32. Perseus
33. Kolmnurk
34. Sõnn
35. Eridaan
36. Weomees
37. Orion
38. Jänes
39. Suur Koer
40. Kaksikud
41. Wäike Koer
42. Wähk
43. Hüüdra