J. PERELMAN



Huvitav astronoomia

A
22314,
Perelman, J.
Kuritav astronoomia.
2/43958

Tagastada 32	Pil. nr.	Allkiri
08 Feb. 1998	10743	
19. März 1998	11115	
02. Mai 1998	6882	
02. Juni 1998	02 Juli 1998	

3961-10000

2/43958

A-22314 II

J. I. PERELMAN

HUVITAV ASTRONOOMIA

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1958

Originaali tiitel:

Я. И. Перельман
Занимательная астрономия

Издание седьмое
Государственное Издательство Технико-теоретической литературы
Москва 1954

Tõlkinud Heldur Mihkelsoo
Venekeelse originaali tiiteltoimetaja
P. G. Kulikovski

2
Tartu Riikliku Ülikooli Raamatukogu
43958

Яков Исидорович Перельман
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ
На эстонском языке
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja R. Mägi
Tehniline toimetaja E. Lumet
Korrektor S. Kõiv

Ladumisele antud 25. VI 1958. Trükkimisele antud 10. XI 1958. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 13. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 10,66. Arvutuspoognaid 10,95. Trükiarv 7000. Tellimise nr. 2062.

Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Vallikraavi 4.

Hind 5 rbl.

EESSÕNA

Astronoomia on õnnelik teadus: prantsuse teadlase Arago väljenduse järgi ta ei vaja ilustamist. Tema saavutused on niivõrd haaravad, et ei tule erilist hoolt kanda tähelepanu äratamiseks nende vastu. Täheteadus ei koosne siiski üksnes hämmastamapanevatest avastustest ja julgetest teooriatest. Tema põhialuse moodustavad igapäevased faktid, mis korduvad päevast päeva. Inimesed, kes ei kuulu asjaarmastajate hulka, on enamasti kaunis ähmaselt tuttavad astronoomia selle proosalise küljega ja tunnevad tema vastu vähe huvi, sest et on raske koondada tähelepanu sellele, mis on alati silme ees.

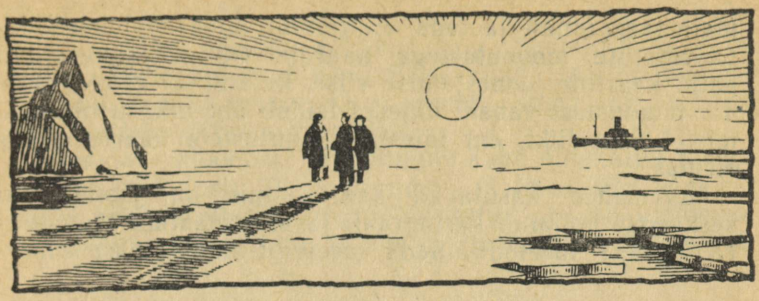
«Huvitava astronoomia» sisu moodustabki peamiselt (mitte aga eranditult) täheteaduse argipäevane osa, tema esimesed, mitte aga viimased leheküljed. «Huvitav astronoomia» püüab lugejat aidata eelkõige astronoomia *põhiliste* faktide selgitamisel. See ei tähenda seda, et raamat kujutab endast midagi algõpiku taolist. Materjali läbitöötamise viis teeb ta õpikust põhiliselt erinevaks. Pooltuttavad igapäevased faktid on siin esitatud ebatavalisel, tihti paradoksaalsel kujul, neid on näidatud uuest, ootamatust küljest, et teravdada tähelepanu nende vastu ja värskendada huvi. Esitus on võimaluse piirides vabastatud eriterminitest ja sellest tehnilisest aparaadist, mis tihti muutub tõkkeks astronoomia raamatu ja lugeja vahel.

Populaarteaduslikele raamatutele tehakse sageli etteheiteid selles, et nende järgi ei saa midagi tõsiselt selgeks õppida. Etteheide on teataval määral õige ja toetub tavale vältida populaarteaduslikes raamatutes igasuguseid numbrilisi arvutusi (kui silmas pidada teoseid täppisteaduste alalt). Lugeja aga omandab raamatu materjali vaid siis tõeliselt, kui ta õpib sellega kas või

elementaarseski ulatuses arvuliselt opereerima. Seepärast ei väldi koostaja «Huvitavas astronoomias», nagu teisteski oma raamatutes sellestsamast seeriast, lihtsamaid arvutusi ja kannab ainult selle eest hoolt, et need oleksid esitatud üksikasjaliselt ning oleksid täiesti jõukohased nendele, kes tunnevad matemaatikat koolis õpitu piirides. Sellised harjutused ei kinnista ainult omandatavaid teadmisi kindlamalt, vaid valmistavad ühtlasi tõsisemate teoste lugemiseks ette.

Esitatavasse kogumikku tulid peatükid Maa, Kuu, planeetide, tähtede ja gravitatsiooni kohta, kusjuures koostaja valis peaasjalikult niisuguse materjali, mida populaarteaduslikes teostes harilikult ei käsitleta. Teemasid, mida selles kogumikus ei ole esitatud, loodab autor aja jooksul läbi töötada «Huvitava astronoomia» teises raamatus. Muuseas, sellist tüüpi teos ei seagi endale ülesandeks kaasaegse astronoomia kogu väga rikkalikku sisu ühtlaselt ammendada.

J. P.



ESIMENE PEATÜKK

MAA, TEMA KUJU JA LIIKUMISED

Lühim tee Maa peal ja kaardil

Märkinud kriidiga klassitahvlile kaks punkti, annab õpetajanna noorele koolipoisile ülesande: joonestada mõlema punkti vaheline lühim tee.

Olles järele mõtelnud, veab õpilane püüdlikult nende vahele lookleva joone.

«See on siis lühim tee!» imestab õpetajanna. «Kes sind niimoodi õpetas?»

«Minu isa. Ta on taksojuht.»

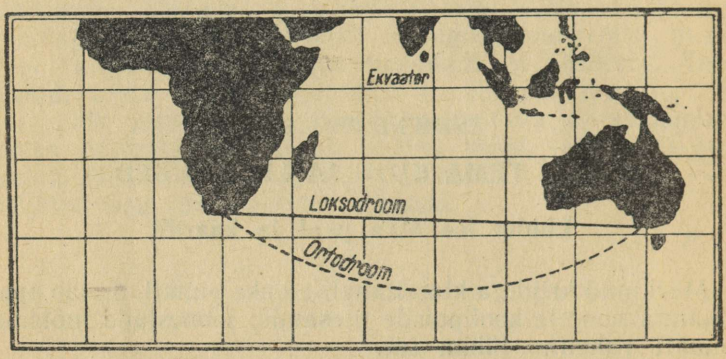
Naiivse koolipoisi joonis on muidugi anekdootlik, ent kas teie ei muigaks, kui teile öeldakse, et punktiiriga märgitud kaar joonisel 1 on kõige lühem tee Healootuse neemelt Austraalia lõunatipuni! Veel hämmastavam on järgmine väide: joonisel 2 kujutatud kõver tee Jaapanist Panama kanalini on lühem kui sirgjoon, mis on nende vahele tõmmatud sellelsamal kaardil!

Kõik see paistab naljana, kuid ometi on teie ees vastuvaidlematud tõed, mida kartograafid hästi tunnevad.

Küsimuse selgitamiseks tuleb ütelda mõni sõna kaartide kohta üldse ja merekaartide kohta eriti. Maapinna osade kujutamine paberil ei ole põhimõtteltki lihtne asi, sest Maa on kerakujuline. On aga teada, et mitte mingisugust kerapinna osa ei saa kortsutamata ja katki rebi-

mata tasapinnale laotada. Tahtmatult tuleb leppida mööda-pääsmatute moonutustega kaardil. On välja mõeldud palju kaartide joonestamise viise, kuid siiski ei ole kaardid puudustest vabad: ühtedel leidub üht liiki moonutusi, teistel teist liiki, ent täiesti moonutusteta kaarte ei ole olemas.

Meremehed kasutavad kaarte, mis on joonestatud keskaegse hollandi kartograafi ja matemaatiku Mercatori (XVI saj.) meetodil. Seda meetodit nimetatakse «mer-



Joon. 1. Merekaardil ei tähista lühimat teed Healootuse neemelt Austraalia lõunatipuni sirgjoon («loksodroom»), vaid kõverjoon («ortodroom»).

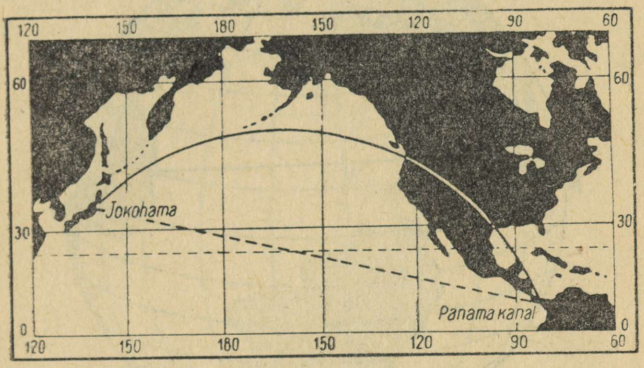
kaatori projektsiooniks». Merekaarti on hõlpus ära tunda tema täisnurkse kaardivõrgu järgi: meridiaanid on temal kujutatud rea paralleelsete sirgjoonte näol; laiusjooned — samuti sirgjoontena, mis on esimestega risti (vt. joon. 5).

Kujutlege nüüd, et on tarvis leida lühim tee ühest ookeanisadamast teiseni, mis asetseb sellelsamal p a r a l l e e l i l. Ookeanil on kõik teed läbipääsetavad, ja seal saab alati reisida mööda lühimat teed, kui on teada, kuidas see kulgeb. Meie juhul oleks loomulik arvata, et lühim tee läheb piki seda paralleeli, millel asetsevad mõlemad sadamad: on see ju kaardil sirgjoon, ja mis saab sirgest teest lühem olla! Kuid me eksime: tee mööda paralleeli ei ole hoopiski mitte lühim.

Tõepoolest: kerapinnal on lühimaks kauguseks kahe

punkti vahel neid punkte ühendav suurringi* kaar. Paralleeljoon aga on väike ring. Suurringi kaar on vähem kõver kui mistahes väiksel ringil, mis on tõmmatud läbi nendesamade kahe punkti: suuremale raadiusele vastab väiksem kõverus.

Tõmmake gloobusel niit pingule kahe nimetatud punkti vahele (vrd. joon. 3); te veendute, et ta ei lähe hoopiski mitte piki paralleeli. Pinguletõmmatud niit on vaidlematult lühima tee näitaja, ja kui ta gloobusel ei ühti paral-



Joon. 2. Paistab uskumatuna, et kõverjooneline tee, mis ühendab merekaardil Jokohamat Panama kanaliga, on lühem sirgjoonest, mis on tõmmatud nendesamade punktide vahele.

leeliga, siis ka merekaardil ei tähista lühimat teed sirgjoon: tuletame meelde, et sirgjoontega kujutatakse niisugusel kaardil paralleeljooni, iga joon aga, mis ei ühti sirgega on kõver.

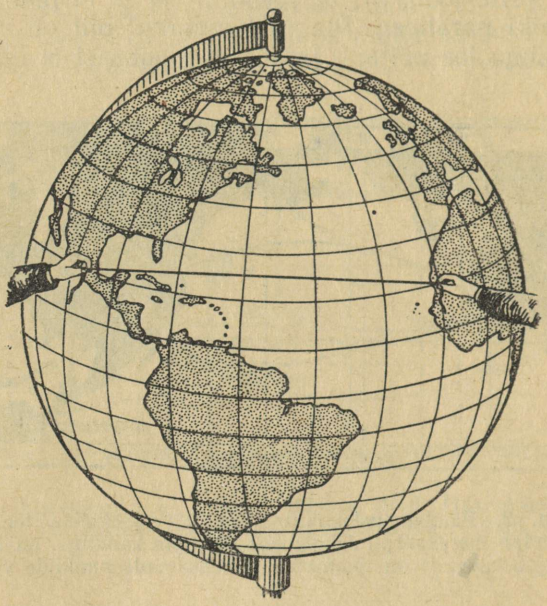
Peale öeldut saab selgeks, mispärast merekaardil lühimat teed ei kujuta sirgjoon, vaid kõverjoon.

Räägitakse, et Nikolai raudtee (praegune Oktoobriraudtee) sihi valimisel peeti lõputuid vaidlusi selle üle, millist teed mööda seda rajada. Vaidlustele tegi lõpu

---

* Kerapinna suurringiks nimetatakse iga ringjoont, mille keskpunkt ühtib selle kera keskpunktiga. Kõiki muid kerapinnal olevaid ringjooni nimetatakse väikesteks.

tsaar Nikolai I vahelesegamine, kes lahendas probleemi sõna otseses mõttes «sirgjooneliselt»: ta ühendas Peterburi Moskvaga joonlaua abil. Kui seda oleks tehtud merkaatori kaardil, oleks välja tulnud piinlik üllatus: tee oleks sirge asemel tulnud kõver.

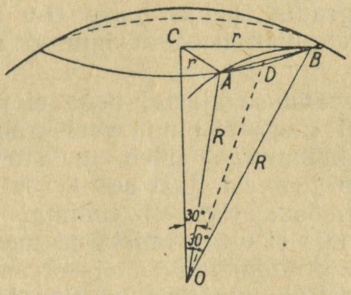


Joon. 3. Lihtne moodus tegelikult lühima tee leidmiseks kahe punkti vahel: gloobusel tuleb pingule tõmmata niit nende kahe punkti vahele.

Kes arvutustest kõrvale ei hoia, see võib lihtsa arvutamise teel veenduda, et tee, mis kaardil meile kõverana paistab, on tegelikult lühem sellest, mida me oleme valmis otseteeks pidama. Asugu mõlemad vaadeldavad sadamad Leningradi laiusel — 60. paralleelil — ja olgu nende vaheline kaugus 60°. (Kas kaht sellist sadamat tegelikkuses on olemas, on arvutuse jaoks muidugi ükskõik.)

Joonisel 4 on punkt O maakera keskpunkt, AB — selle laiusjoone kaar, millel asetsevad sadamad A ja B; tema suurus on 60°. Laiusjoone keskpunkt on punktis C. Kujutleme, et maakera keskpunkti O ümber on tõmmatud läbi nendesamade sadamate *suurringi* kaar: selle raadius on $OB = OA = R$; ta läheb joonestatud kaare AB lähedalt mööda, kuid ei ühti sellega.

Arvutame kummagi kaare pikkuse. Kuna punktid A ja B asetsevad laiusel 60°, siis moodustavad raadiused OA ja OB sirgega OC (maakera teljega) nurga 30°. Täisnurkses kolmnurgas ACO on nurga 30° vastas asetsev kaatet AC $(= r)$ võrdne poolega hüpotenuusist AO; järelikult $r = \frac{R}{2}$. Kaare AB pikkus moodustab ühe kuuendiku laiusjoone pikkusest, aga kuna sellel ringjoonel on kaks korda väiksem pikkus kui suurringjoonel (vastavalt kaks korda väiksemale raadiusele), siis väikese ringjoone kaare pikkus on $AB = \frac{1}{6} \times \frac{40000}{2} =$ $= 3333$ *km*.



Joon. 4. Punktide A ja B vahelise kauguse väljaarvutamiseks keral mööda paralleeli kaart ja mööda suurringi kaart.

Selleks et määrata nüüd läbi nendesamade punktide tõmmatud suurringjoone kaare pikkust (s. t. lühimat teed nende punktide vahel), on vaja teada nurga AOB suurust. Kõõl AB, mis toetub kaarele 60° (väikese ringjoone kaarele), on sellesama väikese ringjoone sisse joonestatud korrapärase kuusnurga külg; seepärast $AB = r = \frac{R}{2}$. Tõmmanud sirge OD, mis ühendab maakera keskpunkti O kõõlu AB keskpunktiga, saame täisnurkse kolmnurga ODA, milles nurk D on täisnurk, $DA = \frac{1}{2} AB$ ja $OA = R$. Seega $\sin AOD = AD : AO = \frac{R}{4} : R =$ $= 0{,}25$. Siit leiame (tabelite abil): $\angle AOD = 14°28',5$ ja järelikult $\angle AOB = 28°57'$.

Nüüd pole enam raske leida otsitavat lühima tee pikkust kilomeetrites. Arvutust saab lihtsustada, kui meenutada, et kaareminuti pikkus maakera suurringil on meremiil, s. o. umbes 1,85 *km*. Järelikult $28°57' = 1737' \approx 3213$ *km*.

Meie saame teada, et tee pikkus mööda laiusjoont, mis merekaardil on kujutatud sirgjoonena, on 3333 *km*, ent tee pikkus mööda suurringi — kaardil mööda kõverjoont — on 3213 *km*, s. t. 120 *km* võrra lühem.

Niidi abil te saate gloobusel hõlpsasti kontrollida meie jooniste õigsust ja veenduda, et suurringide kaared kulgevad tõepoolest nii, nagu on näidatud joonistel. Joon. 1 kujutatud «sirgena» näiva meretee pikkus Aafrikast Austraaliasse on 6020 miili, «kõverana» näiva pikkus aga — 5450 miili, s. t. 570 miili ehk 1050 *km* võrra lühem. «Sirge» õhutee merekaardil Londonist Šanghaisse läheb üle Kaspia mere, sellal kui tõepoolest lühim tee kulgeb Leningradist põhja pool. On arusaadav, missugust osa mängivad need küsimused aja ja kütteaine kokkuhoius.

Kui purjelaevanduse ajastul aega ei peetud alati kalliks — sel ajal «aeg» ei olnud veel «raha» —, siis koos aurulaevade ilmumisega tuleb maksta iga üleliigselt kulutatud tonni söe eest. Just seepärast juhitaksegi meie päevil laevu mööda tõeliselt lühimat teed, kasutades sageli kaarte, mis ei ole valmistatud merkaatori projektsioonis, vaid niinimetatud «tsentraalprojektsioonis»: nendel kaartidel kujutatakse sirgjoontena suurringide kaari.

Mispärast siis endisaegsed meresõitjad kasutasid niivõrd petlikke kaarte ja valisid ebakasulikke teid? Oleks ekslik arvata, et vanasti ei tuntud merekaartide iseärasusi, millest praegu oli juttu. Asi ei seletu muidugi mitte sellega, vaid sellega, et Mercatori meetodil joonestatud kaartidel on ebamugavuste kõrval meremeestele väga väärtuslikke eeliseid. Esiteks kujutab selline kaart üksikuid väikesi maapinna osi moonutamata, säilitades kontuuri nurgad. Sellega ei ole vastuolus see asjaolu, et koos ekvaatorist kaugenemisega venivad kõik kontuurid tunduvalt välja. Suurtel laiustel on väljavenimine niivõrd suur, et merekaart sisendab inimesele, kes ei ole tema iseärasustega tuttav, täiesti vale ettekujutuse mandrite suurusest: Gröönimaa näib olevat niisama suur kui Aafrika, ja Alaska paistab Austraaliast suuremana, kuigi Gröönimaa on Aafrikast 15 korda väiksem ja Alaska koos Gröönimaaga on kaks korda väiksem kui Austraalia. Ent meremeest, kes kaardi nende iseärasustega on hästi tuttav, ei saa nad segadusse viia. Ta lepib nendega, seda

enam, et väikeste maa-alade piirides on merekaart täpselt sarnane loodusega (joon. 5).

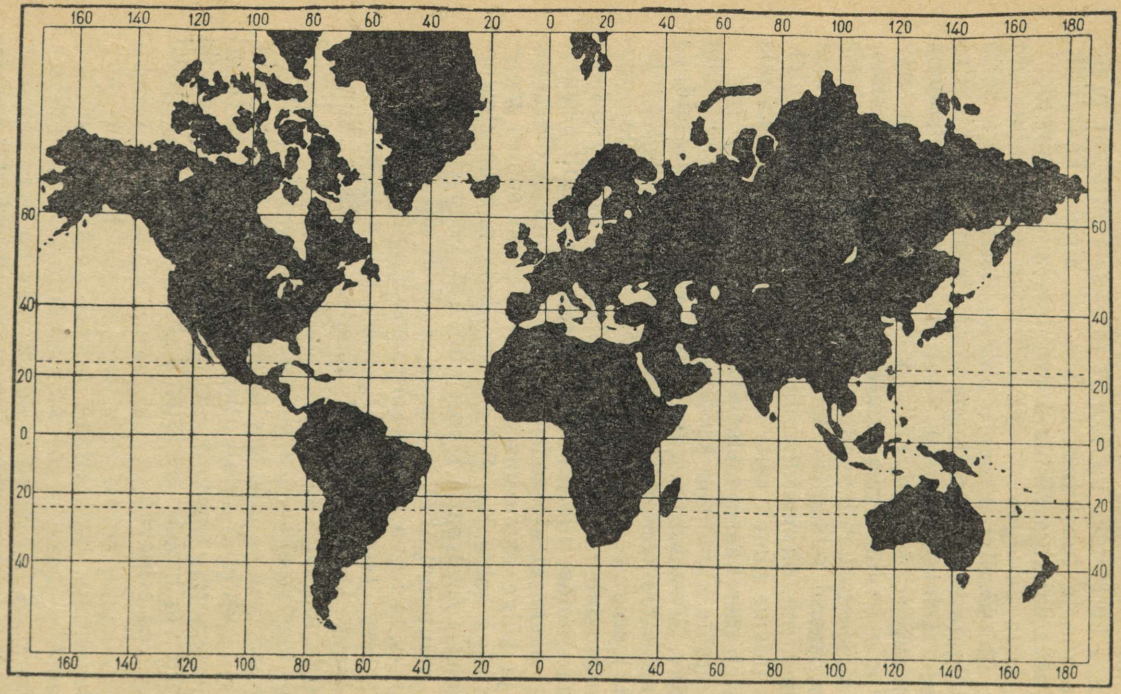
Seevastu kergendab merekaart märksa tüürimehe praktika ülesannete lahendamist. See on ainuke kaardiliik, millel jääva kursiga sõitva laeva tee kujutab sirgjoont. Sõita «jääva kursiga» — see tähendab muutmatult üht suunda, üht kindlat «rumbi» pidada, teisiti öeldes sõita nii, et lõigata kõiki meridiaane võrdsete nurkade all. Ent seda teed («loksodroomi») saab kujutada sirgjoonena ainult niisugusel kaardil, millel kõik meridiaanid on sirgjooned, mis on üksteisega paralleelsed *. Ja kuna maakeral laiusjooned lõikuvad meridiaanidega täisnurkade all, siis peavad niisugusel kaardil ka laiusjooned olema sirgjooned, mis on meridiaanijoontega risti. Lühidalt öeldes, me tuleme nimelt selle koordinaadivõrgu juurde, mis moodustab merekaardi iseloomuliku iseärasuse.

Meremeeste kiindumus merkaatori kaartidesse on nüüd arusaadav. Soovides määrata kurssi, mida on vaja pidada määratud sadamasse sõites, ühendab tüürimees tee otspunktid joonlaua abil ning mõõdab nurga, mille joonlaud moodustab meridiaanidega. Pidades avamerel kogu aeg seda suunda, viib tüürimees laeva eksimatult eesmärgini. Te näete, et «loksodroom» — ehkki ta ei ole kõige lühem ja kõige ökonoomsem — on teatud suhtes meremehele väga sobiv tee. Selleks et jõuda näiteks Healootuse neemelt Austraalia lõunatipuni (vt. joon. 1), on vaja pidada muutumatult ühte kurssi — S 87°,50. Samal ajal aga selleks, et laeva juhtida sellesama lõpp-punktini mööda lühimat teed («ortodroomi»), tuleb nagu jooniselt on näha, laeva kurssi pidevalt muuta: alustada kursiga S 42°,50 ja lõpetada kursiga N 53°,50 (sel juhul on lühim tee isegi teostamatu — ta ulatub Antarktise jäämüüri).

Mõlemad teed — mööda «loksodroomi» ja mööda «ortodroomi» — ühtivad ainult siis, kui teed mööda suurringi saab merekaardil kujutada sirgjoonena: liikumisel mööda ekvaatorit või mööda meridiaani. Kõigil muudel juhtudel on need teed erinevad.

---

* Loksodroom on tegelikult spiraaljoon, mis mähkub kruvijoone taoliselt ümber maakera.



Joon. 5. Mere- ehk merkaatori kaart maakerast. Selletaolistel kaartidel on tugevasti suurendatud nende kontuuride mõõtmed, mis on ekvaatorist eemal. Kumb on näiteks suurem: Gröönimaa või Austraalia? (Vastus on antud tekstis.)

Pikkuskraad ja laiuskraad

Ülesanne

Lugejatel on kahtlemata küllaldane ettekujutus geograafilisest pikkusest ja laiusest. Ma olen aga veendunud, et mitte kõik ei anna õiget vastust järgmisele küsimusele: Kas laiuskraadid on alati pikemad kui pikkuskraadid?

Lahendus

Enamik on veendunud, et iga paralleelring on väiksem meridiaaniringist. Ja kuna pikkuskraade arvestatakse mööda paralleelringe, laiuskraade aga mööda meridiaane, siis järeldatakse, et esimesed ei saa kuskil pikemad olla kui teised. Seejuures unustatakse, et Maa ei ole korrapärane kera, vaid ekvaatori kohalt kergelt paisutatud ellipsoid. Maal-ellipsoidil ei ole üksnes ekvaator pikem kui meridiaanijoon, vaid ka ekvaatorile kõige lähemal olevad paralleeljooned on samuti pikemad meridiaanijoontest. Arvutus näitab, et ligikaudu 5. laiuskraadini on paralleeljoonte kraadid (s. t. pikkuskraadid) pikemad kui meridiaani kraadid (s. o. laiuskraadid).

Kuhu lendas Amundsen?

Ülesanne

Millise maailmakaare poole suundus Amundsen, pöördudes tagasi põhjapooluselt, ja millise poole, pöördudes tagasi lõunapooluselt?

Andke vastus, vaatamata suure ränduri päevikusse.

Lahendus

Põhjapoolus on maakera kõige põhjapoolsem punkt.

Kuhu me sealt ka ei suunduks — ikka me siirduksime lõunasse. Põhjapooluselt tagasi pöördudes sai Amundsen suunduda ainult lõunasse; teist suunda sealt ei olnud. Siin on väljavõte päevikust tema lennu kohta põhjapoolusele õhulaeval «Norge»:

««Norge» tegi ringi ümber põhjapooluse. Seejärel me jätkasime teed ... Kurss võeti lõunasse esimest korda sel-

lest ajast saadik, kui õhulaev lahkus Roomast.» Täpselt samuti sai Amundsen lõunapooluselt minna ainult p õ h j a poole.

Kozma Prutkovil on naljajutt türklasest, kes sattus «kõige idapoolsemale» maale. «Nii ees kui ka kõrval on ida. Ja lääs? Te võib-olla arvate, et ta on siiski nähtav kui mingisugune punkt, mis vaevu virvendab kaugu-ses? . . . Pole õige! Ka taga on ida. Lühidalt: igal pool ja kõikjal on lõputu ida.»

Sellist maad, mis oleks igalt poolt ümbritsetud idaga, ei saa maakeral eksisteerida. Ent koht, mis on kõikjalt ümbritsetud lõunaga, on Maa peal olemas, nagu ka punkt, mis on igalt poolt ümber haaratud «lõputu» põhjaga. Põhjapoolusel oleks võimalik püstitada maja, mille kõik neli seina oleksid pööratud lõunasse. Ja seda oleksid tõesti saanud teha meie kuulsad nõukogude polaaruurijad, kes viibisid põhjapoolusel.

Ajaarvamise viis liiki

Me oleme tasku- ja seinakella kasutamisega niivõrd harjunud, et ei anna endale isegi aru nende näitude tähendusest. Ma olen veendunud, et lugejate seast võivad vaid vähesed selgitada, mida nad õieti tahavad öelda, kui lausuvad:

«Praegu on kell seitse õhtul.»

Kas tõesti ainult seda, et kella väike osuti seisab numbril seitse? Mida siis tähendab see number? See näitab, et pärast keskpäeva on möödunud $\frac{7}{24}$ ööpäevast. Ent pärast m i s s u g u s t keskpäeva ja eelkõige m i s s u g u s e s t ööpäevast $\frac{7}{24}$? Mis on ööpäev? See ööpäev, millest räägib tuntud vene kõnekäänd «день и ночь — сутки прочь» *, kujutab endast ajavahemikku, mille vältel maakera jõuab üks kord pöörduda ümber oma telje Päikese suhtes. Praktikas mõõdetakse teda nii: vaadeldakse kaht teineteisele järgnevat Päikese (õigemini selle keskpunkti) läbiminekut taevavõlvil asuvast joonest, mis ühendab vaatleja pea kohal asetsevat punkti («seniiti») horisondi lõunapunktiga. See ajavahemik ei ole alati ühesuurune:

* Tõlkes: «päev ja öö — ööpäev möödas».

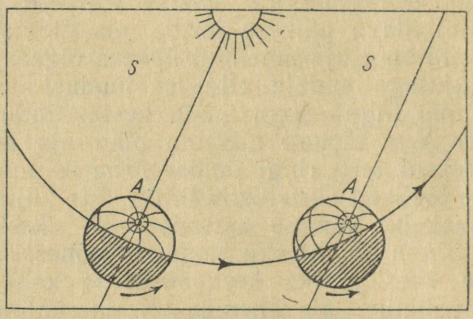
Päike jõuab nimetatud jooneni kord natuke varem, kord hiljem. Reguleerida kelli selle «tõelise keskpäeva» järgi on võimatu, kõige osavamgi meister pole suuteline kelli reguleerima nii, et need rangelt Päikese järgi käiksid: selleks on viimane liiga ebatäpne. «Päike näitab aega petlikult,» kirjutasid Pariisi kellassepad oma vapile sada aastat tagasi.

Meie kelli ei reguleerita reaalse Päikese järgi, vaid teatava kujuteldava päikese järgi, mis ei valgusta ega soojenda, vaid on välja mõeldud üksnes õige ajaarvamise tarbeks. Kujutage endale ette, et looduses on olemas taevakeha, mis liigub kogu aasta kestel ühtlaselt, tehes ringi ümber Maa täpselt niisama pika aja jooksul, kui pika aja jooksul teeb ringi ümber Maa — muidugi näivalt — meie tõeliselt eksisteeriv Päike. See kujutluse poolt loodud taevakeha kannab astronoomias «keskmise päikese» nime. Tema läbimineku momenti joonest seniit-lõuna nimetatakse «keskmiseks keskpäevaks»; kahe keskmise keskpäeva vaheline ajavahemik on «keskmine päikese-ööpäev», ja aega, mida niimoodi arvestatakse, nimetatakse «keskmiseks päikeseajaks». Tasku- ja seinakellad käivad nimelt selle keskmise päikeseaja järgi, kuna päikesekell, mille osutiks on varda vari, näitab antud koha tõelist päikeseaega.

Lugejal on peale öeldut arvatavasti tekkinud niisugune ettekujutus, et maakera pöörleb oma telje ümber ebaühtlaselt, ja et siit tulenebki tõeliste päikese-ööpäevade ebavõrdsus. See on ekslik: ööpäevade ebavõrdsus on tingitud Maa teise liikumise ebaühtlusest, ja nimelt — tema orbiiti mööda ümber Päikese liikumise ebaühtlusest. Me mõistame kohe, kuidas see saab mõju avaldada ööpäeva pikkusele. Joon. 6 te näete maakera kaht järjestikust asendit. Vaatleme vasakpoolset asendit. Nool paremal all näitab, missuguses suunas Maa pöörleb ümber telje: vastu kella-osuti liikumise suunda, kui vaadata põhjapoolusele. Punktis *A* on nüüd keskpäev: see punkt asetseb parajasti Päikese vastas. Kujutage nüüd endale ette, et Maa on teinud ühe täispöörde ümber telje; selle aja vältel liikus ta orbiiti mööda paremale ja jõudis teise kohta. Punkti *A* tõmmatud Maa raadiusel on niisamasugune suund kui ööpäev tagasigi, kuid punkt *A* ei asetse enam otse Päikese vastas. Inimesele, kes seisab punktis *A*, pole keskpäev veel saabunud: Päike on tõmmatud joonest vasakul pool. Maa

peab pöörlema veel mõne minuti, selleks et punktis *A* saabuks uus keskpäev.

Mis siit siis järeldub? See, et kahe tõelise päikese-keskpäeva vaheline ajavahemik on p i k e m sellest ajast, mis kulub Maal täispöörde tegemiseks ümber telje. Kui Maa liiguks ümber Päikese ühtlaselt mööda *ringjoont*, mille



Joon. 6. Miks päikese-ööpäev on tähe-ööpäevast pikem? (Üksikasjad on tekstis.)

keskpunktis asetseks Päike, siis oleks erinevus telje ümber toimuva pöörde tegeliku kestuse ja selle näiva kestuse vahel, mida me määrame Päikese järgi, päevast päeva üks ja seesama. Seda on kerge kindlaks teha, kui arvesse võtta, et nendest väikestest lisandustest peab aasta jooksul kokku saama terve ööpäev (Maa, liikudes mööda orbiiti, teeb oma telje ümber ühe pöörde rohkem); järelikult iga pöörde tõeline kestus on

$365\frac{1}{4}$ ööpäeva: $366\frac{1}{4} = 23$ tundi 56 minutit 4 sekundit

Märgime möödaminnes, et ööpäeva «tõeline» kestus ei ole midagi muud, kui Maa pöörlemisperiood mistahes tähe suhtes; seetõttu nimetataksegi niisugust ööpäeva «tähe-ööpäevaks».

Niisiis on tähe-ööpäev päikese-ööpäevast lühem k e s k m i s e l t 3 min. 56 sek., ümmarguselt 4 min. Vahe ei jää püsivaks, kuna: 1) Maa ei tiirle Päikese ümber ühtlaselt mööda ringjoonelist orbiiti, vaid mööda ellipsit, mille ühtedes osades (Päikesele lähemal) ta liigub kiire-

mini, teistes (kaugemates) aga aeglasemalt, ja 2) Maa pöörlemistelg on kaldu tema orbiidi tasapinna suhtes. Need mõlemad põhjused koos tingivad seda, et tõeline ja keskmine päikeseaeg lähevad omavahel lahku eri päevadel erisuguse minutite arvu võrra, mis ulatub mõnedel päevadel 16-ni. Ainult neli korda aastas langevad mõlemad ajad ühte:

15. aprillil,
14. juunil,
1. septembril,
24. detsembril.

Seevastu

11. veebruaril,
2. novembril

saavutab tõelise ja keskmise aja vahe suurima väärtuse — umbes veerand tundi. Kõverjoon joonisel 7 näitab, kui suur on see lahkuminek aasta eri päevadel.

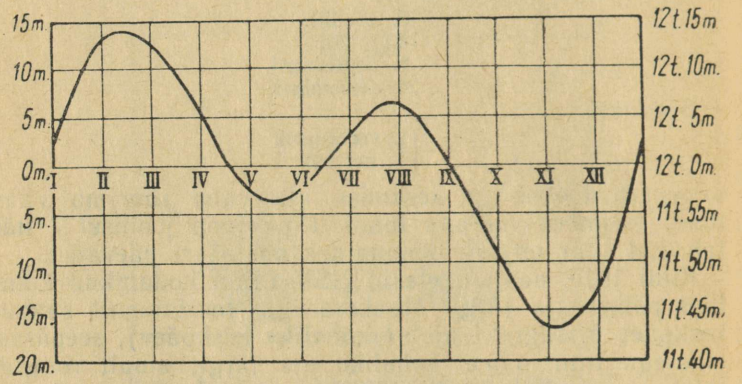
Kuni 1919. aastani elasid NSV Liidu kodanikud kohaliku päikeseaja järgi. Maakera igal meridiaanil saabub keskpäev erisugusel ajal («kohalik» keskpäev), seepärast elas iga linn o m a kohaliku aja järgi; ainult rongide tulek ja minek märgiti ühise aja järgi kogu maa jaoks: Petrogradi aja järgi. Kodanikud tegid vahet «linna» ja «vaksali» aja vahel; esimest — kohalikku keskmist päikeseaega — näitasid linna kellad, ent teist — Petrogradi keskmist päikeseaega — näitasid raudteejaama kellad. Käesoleval ajal juhitakse kogu raudteeliiklust Nõukogude Liidus Moksva aja järgi.

1919. aastast saadik on meil päevaaja arvamise aluseks võetud niinimetatud «vööndiaeg», mitte enam kohalik aeg. Maakera on jaotatud meridiaanidega 24 ühesuuruseks «vööndiks», ja ühe vööndi kõigil punktidel on ühesugune aeg, nimelt see keskmine päikeseaeg, mis on antud vööndi keskmeridiaani ajaks. Kogu maakeral «eksisteerib» seepärast igal momendil ainult 24 eri aega, aga mitte suur hulk aegu, nagu see oli enne ühtlusaja tarvituselevõtmist.

Nendele kolmele ajaarvamise liigile — 1) tõeline päikeseaeg, 2) keskmine kohalik päikeseaeg ja 3) vööndiaeg — tuleb lisada neljas, ainult astronoomide poolt tarvitatav. See on — 4) «täheaeg», mille aluseks on eespoolmainitud tähe-ööpäev, mis on, nagu me juba teame, keskmisest päikese-ööpäevast lühem ligikaudu 4 minutit. 22. septembril ühtivad mõlemad ajaarvamised, kuid

iga järgneva päevaga jõuab täheaeg päikeseajast ette 4 minuti võrra.

Lõpuks on veel olemas ka viies aja liik — 5) niinimetatud dekreediaeg —, see, mille järgi kogu NSV Liidu elanikkond elab aasta läbi, enamik lääneriike aga — suvehooaja kestel.



Joon. 7. See graafik, mida nimetatakse ajavõrrandi graafikuks, näitab, kui suur on ühel või teisel päeval lahkuminek tõelise ja keskmise päikese-keskpäeva vahel. Näiteks 1. aprillil peab õige mehhaaniline kell tõelisel keskpäeval näitama 12.05; teiste sõnadega, kõver annab keskmise aja tõelisel keskpäeval.

Dekreediaeg on vööndiajast täpselt üks tund ees. Selle abinõu eesmärk seisneb järgnevas: valgel aastaajal — kevadest sügiseni — on tähtis alata ja lõpetada tööpäeva natuke varem, selleks et vähendada elektrienergia kulu kunstlikule valgustusele. See saavutatakse kellaosuti ametliku ettelükkamisega. Selline ettelükkamine teostatakse lääneriikides igal kevadel (kell üks öösel lükatakse osuti numbrile 2), igal sügisel aga lükatakse kellad uuesti taha.

NSV Liidus on kellad ees aasta läbi, s. t. mitte ainult suvisel ajal, vaid ka talvel: kuigi energiakulu valgustusele ei vähene selle läbi, saavutatakse ometi elektrijaamade ühtlasem koormatus.

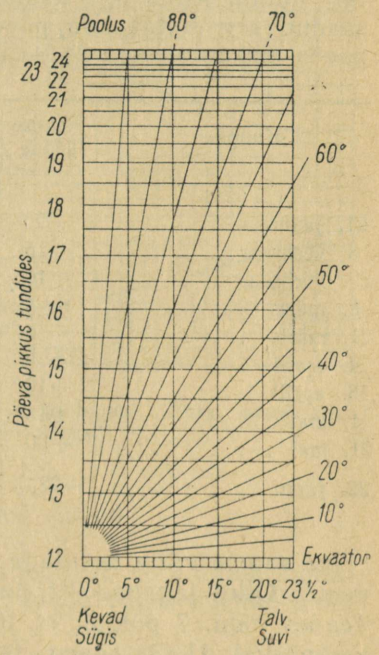
Dekreediaeg võeti meil esmakordselt tarvitusele 1917. a.*; teatava perioodi vältel olid kellaosutid ette

* J. I. Perelmani algatusel, kes valmistas ette selle seaduseelnõu. *(Toim. märkus.)*

lükatud kaks ja koguni kolm tundi; pärast mõneaastast vaheaega võeti dekreediaeg NSV Liidus uuesti tarvitusele 1930. a. kevadest alates, ja ta erineb vööndiajast ühe tunni võrra.

Päeva pikkus

Päeva täpset pikkust saab iga koha ja mistahes kuupäeva jaoks välja arvutada astronoomia aastaraamatu tabelite abil. Vaevalt et meie lugejale siiski igapäevasteks otstarveteks on vaja niisugust täpsust; kui ta on nõus rahulduma võrdlemisi jämeda lähendusega, siis on talle heaks abimeheks juuresolev joonis (joon. 8). Selle vasakul äärel on näidatud päeva pikkus tundides. Alumisele äärele on märgitud Päikese nurkkaugus taevaekvaatorist. Seda kraadides mõõdetavat kaugust nimetatakse Päikese «kääandeks». Lõpuks, kaldjooned vastavad vaatluskohtade eri laiustele.



Joon. 8. Joonis päeva pikkuse graafiliseks määramiseks. (Seletus tekstis.)

Selleks et joonist kasutada, on tarvis teada, kui suur on Päikese nurkkaugus ekvaatorist («kääne») ühele või teisele poole aasta eri päevadel. Vastavad andmed on esitatud lk. 20 olevas tabelis.

Selgitame näidete varal, kuidas seda joonist kasutada.

1. Leida päeva pikkus aprilli keskpaiku Leningradis (s. o. laiusel 60°).

Leiame tabelist Päikese käände aprilli keskpaiku, s. o. tema nurkkauguse taevaekvaatorist nendel päevadel: +10°.

Leiame joonise alumiselt äärelt arvu 10° ja tõmbame sellest kohast sirgjoone täisnurga all alumise äärega kuni lõikumiseni kaldjoonega, mis vastab 60. paralleelile. V a s a k u l äärel vastab lõikepunktile arv $14^1/_2$, s. t. otsitav päeva pikkus on l i g i k a u d u 14 tundi 30 min. «Ligikaudu» ütleme seepärast, et joonis ei arvesta niinimetatud «atmosfäärilise refraktsiooni» mõju (vt. lk. 36, joon. 15).

2. Leida päeva pikkus 10. novembril Astrahanis (põhjalaiusel 46°).

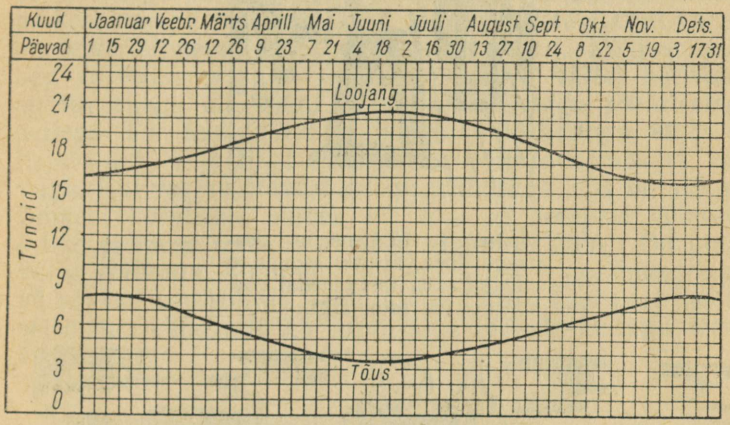
Päikese kääne 10. novembril on —17°. (Päike on taevaskera l õ u n a poolkeral.) Toimides nagu ennegi, saame $14^1/_2$ tundi. Kuna aga kääne on seekord negatiivne, siis saadud arv ei tähenda päeva, vaid öö pikkust. Otsitav päeva pikkus on aga $24 - 14^1/_2 = 9^1/_2$ tundi.

Kuupäev	Päikese kääne	Kuupäev	Päikese kääne
21. jaanuar	-20^0	24. juuli	$+20^0$
8. veebruar	—15	12. august	+15
23. veebruar	—10	28. august	+10
8. märts	— 5	10. september	+ 5
21. märts	0	23. september	0
4. aprill	+ 5	6. oktoober	— 5
16. aprill	+10	20. oktoober	—10
1. mai	+15	3. november	—15
21. mai	+20	22. november	—20
22. juuni	$+23\frac{1}{2}$	22. detsember	$-23\frac{1}{2}$

Me saame välja arvutada samuti ka Päikese tõusumomendi. Olles jaganud $9^1/_2$ pooleks, saame 4 tundi 45 min. Teades joon. 7 põhjal, et 10. novembril on kell tõelisel keskpäeval 11.43, saame teada Päikese tõusumomendi: 11 t. 43. min. — 4 t. 45 min. = 6 t. 58 min. Päike loojub sel päeval järgmisel ajal: 11 t. 43 min. + 4 t. 45 min. = 16 t. 28 min. Sel kombel võivad mõlemad joonised (joon. 7 ja 8) asendada astronoomia aastaraamatu vastavaid tabeleid.

Te võite siin esitatud võtet kasutades koostada Päikese tõusu ja loojumise, aga samuti ka päeva pikkuse graafiku

kogu aasta kohta oma alalise elukoha laiuse jaoks. Niisuguse graafiku näidist 50. paralleeli jaoks te näete joon. 9 (see on koostatud kohaliku, mitte dekreediaja järgi). Olles seda tähelepanelikult vaadelnud, saate te aru, kuidas tuleb joonestada niisuguseid graafikuid. Ent olles graafiku üks kord joonestanud selle laiuse jaoks, kus te elate, võite te oma joonisele pilku heites kohe ütelda, mis kell umbes Päike tõuseb või loojub ühel või teisel kuupäeval.



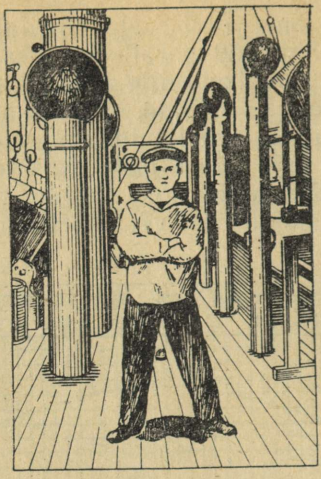
Joon. 9. Graafik Päikese tõusu ja loojumise kohta aasta kestel 50. paralleeli jaoks.

Ebatavalised varjud

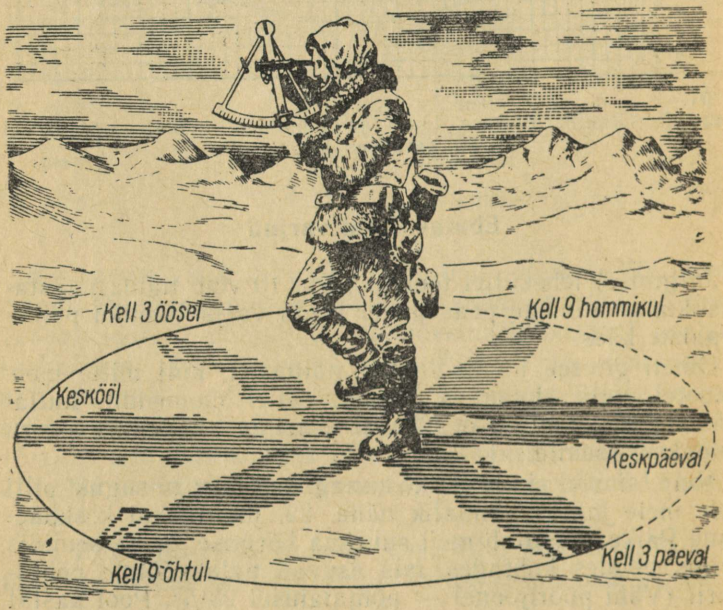
Järgmisel leheküljel toodud joon. 10 võib näida mõistatuslikuna: inimene peaaegu ei heida varju täieliku päikesepaiste käes.

Ometi on see joonis tehtud natuurist, küll mitte meie laiustel, vaid ekvaatori ligidal, sellel momendil, millal Päike seisis vaataja pea kohal peaaegu püstloodis (nagu öeldakse, «seniidis»).

Meie laiustel ei ole Päike kunagi seniidis; niisugust pilti pole meie juures võimalik näha. 22. juunil, kui keskpäevane Päike saavutab meil suurima kõrguse, on ta seniidis kõigis nendes kohtades, mis asuvad palavvöötme põhjapiiril (Vähi pöörijoonel — põhjalaiusel $23^1/_2°$. Pool aastat



Joon. 10. Inimene on peaaegu ilma varjuta. Joonis on tehtud ekvaatori lähedal võetud foto järgi.



Joon. 11. Poolusel ei muutu varjude pikkus ööpäeva kestel.

hiljem, 22. detsembril, on Päike seniidis kõigis nendes kohtades, mis asuvad lõunalaiusel $23^1/_2°$ (Kaljukitse pöörijoonel). Nende piiride vahel, s. o. palavvöötmes, asuvad kohad, kus keskpäevane Päike on kaks korda aastas seniidis ja valgustab maastikku ülalt nii, et kõik esemed on varjudeta, õigem on ütelda — nende varjud on just nende all.

Pooluse kohta käiv joon. 11 on, vastuoksa, fantastiline, ent siiski õpetlik. Inimene ei saa heita korraga kuut varju; selle võttega on kunstnik tahtnud kujukalt näidata polaarpäikese omapärast iseärasust: tema poolt tekitatud varjud on terve ööpäeva kestel ühepikkused. Põhjuseks on see, et Päike ei liigu poolusel ööpäeva vältel horisondi suhtes nurga all, nagu meil, vaid peaaegu paralleelselt sellega. Ent kunstnik on siiski eksinud sellega, et ta on kujutanud varje liiga lühikestena võrreldes inimese kasvuga. Kui varjud oleksid sellise pikkusega, siis viitaks see Päikese kõrgusele umbes 40°, mis on poolusel võimatu: Päike ei tõuse seal iialgi kõrgemale kui $23^1/_2°$. On kerge välja arvutada — lugeja, kes on tuttav trigonomeetriaga, võib mind kontrollida —, et kõige lühem vari peab poolusel olema vähemalt 2,3 korda suurem teda heitnud eseme kõrgusest.

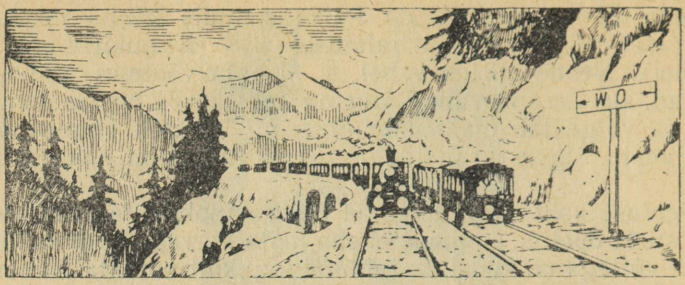
Ülesanne kahest rongist

Kaks täiesti ühesugust rongi sõidavad ühesuguse kiirusega vastupidistes suundades (joon. 12): üks idast läände, teine — läänest itta. Kumb nendest on raskem?

Lahendus

Raskem on (s. t. tugevamini rõhub rööbastele) see rong, mis liigub Maa pöörlemisele vastupidises suunas, idast läände. See rong liigub aeglasemalt ümber maakera telje, seepärast kaotab ta tsentrifugaalefekti tagajärjel oma kaalust vähem kui see rong, mis sõidab itta.

Kui suur on vahe? Teostame arvutused rongide kohta, mis sõidavad piki 60. paralleeli kiirusega 72 km/t. ehk 20 m/sek. Maapinna punktid liiguvad mainitud paralleelil ümber telje kiirusega 230 m/sek. Järelikult rongil, mis sõidab itta, Maa pöörlemise suunas, on ringkiiruseks



Joon. 12. Ülesanne kahest rongist.

230 + 20, s. o. 250 m/sek, aga rongil, mis sõidab läände, Maa liikumisele vastupidises suunas, 210 m/sek. Kesktõmbekiirendus esimese jaoks on $\frac{v_1^2}{R} = \frac{25000^2}{320000000}$ cm/sek^2, sest et mööda 60. paralleeli mineva ringtee raadius on 3200 km.

Teise rongi jaoks on kesktõmbekiirendus

$$\frac{v_2^2}{R} = \frac{21000^2}{320000000} \text{ cm/sek}^2.$$

Mõlema rongi kesktõmbekiirenduste vahe on

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{R} = \frac{25000^2 - 21000^2}{320000000} \approx 0{,}6 \text{ cm/sek}^2.$$

Kuna kesktõmbekiirenduse suund moodustab raskuse suunaga nurga 60°, siis võtame arvesse ainult sellele vastava osa kesktõmbekiirendusest, nimelt 0,6 cm/sek^2. $\times$ $\times \cos 60° = 0{,}3$ cm/sek^2.

See moodustab raskuskiirendusest $\frac{0{,}3}{980}$ ehk ligikaudu 0,0003.

Seega on itta sõitev rong lääne suunas sõitvast rongist kergem 0,0003 võrra oma kaalust. Kui rong koosneb näiteks vedurist ja 45 laaditud kaubavagunist, s. o. kaalub 3500 t, siis on kaalude vahe

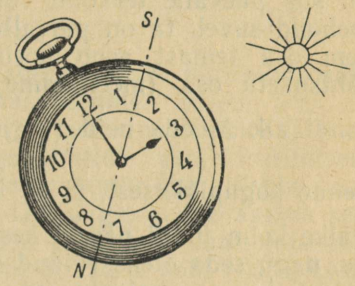
$$3500 \times 0{,}0003 = 1{,}05 \text{ t} = 1050 \text{ kg}.$$

Suure auriku puhul veeväljasurvega 20 000 t, mis liigub kiirusega 35 km/t. (20 sõlme), oleks see vahe 3 t. Kaalu vähenemine laeva liikumisel itta peab muuseas mõju

avaldama elavhõbe-baromeetri näitudele; nimetatud kiiruse juures peab elavhõbedasamba kõrgus olema ida suunas sõitval aurikul 0,00015 × 760, s. o. 0,1 mm võrra väiksem kui läände sõitval. Jalakäijagi, kes kõnnib mööda Leningradi tänavat läänest itta, muutub käigukiirusel 5 km/t. ligikaudu 1,5 g võrra kergemaks kui ta on idast läände minnes.

Maailmakaared taskukella järgi

Maailmakaarte leidmise viis päikesepaistelisel päeval taskukella abil on üldtuntud. Numbrilaud paigutatakse nii, et tunniosuti oleks suunatud Päikese poole. Nurk, mis on selle osuti ja joone 6—12 vahel, jaotatakse pooleks: nurgapoolitaja näitab siis lõunasuunda. Ei ole raske aru saada selle viisi põhjendusest. Päike teeb ööpäevases liikumises ringi ümber taeva 24 tunni vältel, tunniosuti aga teeb numbrilaual ühe tiiru 12 tunni jooksul, s. t. joonistab niisama pika aja jooksul kaks korda suurema kaare. Tähendab, kui tunniosuti oli keskpäeval suunatud Päikese poole, siis teatava aja möödudes ta jõuab Päikesest ette, olles oma otsaga läbinud kaks korda suurema kaare. Just seepärast, olles jaotanud pooleks osuti poolt läbitud kaare numbrilaua eespoolnäidatud asendi puhul, me peamegi leidma taeval selle koha, kus Päike oli keskpäeval, s. o. lõunasuuna (joon. 13).



Joon. 13. Lihtne, kuid ebatäpne võte maailmakaarte määramiseks taskukella abil.

Kontrollimine näitab siiski, et see võte on äärmiselt ebatäpne, eksides kümnete kraadide võrra. Ebatäpsuse peapõhjuseks on see, et numbrilaud asub paralleelselt horisondi-tasapinnaga, Päikese ööpäevane tee aga asub horisontaaltasapinnas ainult poolusel, kõigil teistel laiustel moodustab ta horisondiga erinevad nurgad — kuni

täisnurgani (ekvaatoril). Seepärast saab taskukella abil eksimatult orienteeruda ainult poolusel, kõigis muudes kohtades aga on suurem või väiksem viga vältimatu.

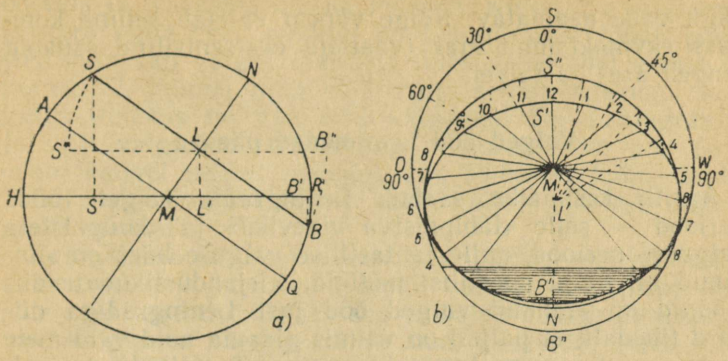
Pöördume joonise juurde (joon. 14, *a*). Asetsegu vaatleja punktis *M*; punkt *N* on maailma poolus; ringjoon *HASNRBQ* — taeva meridiaan — läheb läbi vaatleja seniidi ja läbi pooluse. Missugusel laiusel vaatleja asub, seda on kerge kindlaks teha; selleks piisab, kui mõõta malliga pooluse kõrgus horisondist *NR;* see on võrdne koha laiusega *. Vaadates punktist *M* punkti *H* suunas, on vaatleja ees lõunapunkt. Päikese ööpäevane teekond esineb sellel joonisel sirgjoonena, mis on osaliselt horisondi kohal (päevane teekond), osaliselt aga selle all (öine teekond). Sirge *AQ* kujutab Päikese teekonda ekvinoktsiumi ehk päeva ja öö võrdsuse ajal; nagu näeme, on siis päevane teekond võrdne öisega. *SB* on Päikese teekond suvel; ta on parralleelne sirgega *AQ,* kuid suurem osa temast asub horisondist kõrgemal, ja ainult tähtsusetu osa (meenutame lühikesi suveöid) on horisondi all. Mööda neid ringjooni läbib Päike tunniga $\frac{1}{24}$ nende kogupikkusest, s. o. $\frac{360^0}{24} = 15°$. Kuid siiski ei ole Päike kolm tundi pärast keskpäeva horisondi edelapunktis, nagu seda oleks võinud oodata ($15° \times 3 = 45°$); selle põhjuseks on asjaolu, et Päikese teekonna võrdsete kaarte projektsioonid horisondi-tasapinnale ei ole omavahel võrdsed.

See muutub näitlikumaks, kui vaatleme joonist 14, *b*. Sellel *SWNO* kujutab horisondi-ringi, nagu see on nähtav seniidist; sirge *SN* on taevameridiaan. Vaatleja asub punktis *M*; Päikese poolt ööpäeva jooksul taevavõlvil joonistatava ringjoone keskpunkt projekteerub horisondi-tasapinnale punkti *L'* (vt. joon. 14, *a*); Päikese teekonda kujutav ringjoon ise projekteerub horisondi-tasapinnale ellipsina *S'B'*.

Projekteerime nüüd Päikese teekonda kujutava ringjoone *SB* jaotuspunktid horisondi-tasapinnale. Selleks pöörame ringi *SB* paralleelseks horisondi-tasapinnaga

---

* Mispärast see nii on, seda on selgitatud minu raamatus «Huvitav geomeetria», peatükis «Robinsonide geomeetria».



Joon. 14, *a* ja *b*. Miks taskukell kompassi osas näitab ilmakaari ebatäpselt.

(asend $S''B''$, joon. 14, *a*), jaotame ta 24 võrdseks osaks ja projekteerime horisondi-tasapinnale. Ellipsi $S'B'$ — Päikese teekonda kujutava ringjoone projektsiooni horisondi-tasapinnale — jaotuspunktide projekteerimiseks tõmbame ringjoone $S''B''$ jaotuspunktidest lõigud, mis on paralleelsed sirgega SN. On selge, et me saame seejuures ebavõrdsed kaared; nad paistavad vaatlejale veel enam ebavõrdsetena, sest et ta ei vaatle neid ellipsi keskpunktist L', vaid punktist M, mis on sellest eemal.

Uurime nüüd järele, kui suur võib olla viga maailmakaarte määramisel kella numbrilaua abil suvepäeval meie poolt võetud laiuse jaoks (53°). Päike tõuseb siis kella 3 ja 4 vahel hommikul (ööd tähistava viirutatud segmendi piir). Idapunkti *O* (90°) Päike ei jõua mitte kell 6, nagu see peaks olema numbrilaua järgi, vaid kell pool 8. 60° lõunapunktist eemal ta ei ole mitte kell 8 hommikul, vaid kell pool 10; 30° lõunapunktist — mitte kell 10, vaid kell 11. Edelapunktis (45° punktist *S* teisele poole) Päike ei ole kell 3 päeval, vaid kell 1.40; läänes ta ei ole kell 6 õhtul, vaid kell pool 5 päeval.

Kui kõigele sellele juurde lisada asjaolu, et dekreediaeg, mida taskukell näitab, ei ühti kohaliku tõelise päikeseajaga, siis peab ebatäpsus maailmakaarte määramises veelgi kasvama.

Niisiis taskukell võib küll kompassiks olla, kuid ta on

väga vähe usaldatav. Kõige vähem valetab selline kompass ekvinoktsiumi ajal (vaatleja ekstsentriline asukoht langeb ära) ja talvel.

Valged ööd ja pimedad päevad

Aprilli keskpaiku saabub Leningradis valgete ööde periood — selle «läbipaistva videviku» ja «kuupaisteta valguse» periood, mille fantastilise valguse käes on sündinud nii palju poeetilisi mõtteid. Kirjanduslikud traditsioonid on sidunud valged ööd just Leningradiga niivõrd tihedalt, et paljud on valmis pidama neid vaid meie endise pealinna vaatamisväärsuseks. Tegelikult on valged ööd astronoomilise nähtusena iseloomulikud kõigile kohtadele, mis asuvad teatud kindlast laiusest suurematel laiuskraadidel.

Kui kõrvale jätta poeesia ja asuda selle nähtuse astronoomilise proosa juurde, siis ei ole valge öö midagi muud, kui õhtuse videviku ja hommikuse aovalguse kokkusulamine. Aleksandr Sergejevitš Puškin defineeris selle fenomeeni olemuse õigesti kui eha ja koidu ühinemise. «Ja laskmata öist pimedust kuldsele taevale, koit vahetama eha tõttab...» Nendel laiustel, kus Päike oma ööpäevases liikumises mööda taevavõlvi ei lasku horisondi taha enam kui $17^1/_2°$, — seal õhtune eha ei jõua veel kustuda, kui süttivad juba hommikuse koidu kiired, jätmata ööle poolt tundigi.

Muidugi mõista ei ole Leningradil ega ka mingil teisel punktil privileege olla ainsaks kohaks, kus see nähtus on vaadeldav. Valgete ööde tsooni piir arvutatakse välja astronoomilisel teel. Ja selgub, et eha ja koidu kokkusulamine on vaadeldav Leningradi laiusest märksa lõuna pool.

Ka moskvalased saavad imetleda valgeid öid, alates umbes maikuu keskpaigast kuni juuli lõpuni. Siin nad ei ole nii valged kui Leningradis nendelsamadel päevadel, ent Leningradi m a i k u u valgeid öid võib täheldada Moskvas kogu j u u n i k u u kestel ja juulikuu algul.

Valgete ööde tsooni lõunapiir kulgeb NSV Liidus Poltaava laiusel, põhjalaiusel 49° ($66^1/_2 — 17^1/_2°$). Siin on üks valge öö aastas — nimelt 22. juunil. Sellest laiusest põhja poole muutuvad valged ööd ikka valgusküllasemaks, nende periood aga pikemaks. Valgeid öid on nii Kui-

bõševis ja Kaasanis kui ka Pskovis, Kirovis ja Jenisseiskis, ent kuna need punktid on Leningradist lõuna pool, siis hõlmavad valged ööd seal lühema perioodi (enne ja pärast 22. juunit) ning ei saavuta sellist heledust. Seevastu Pudožis on nad veel valgemad kui Leningradis, ja eriti valgusküllased on nad Arhangelskis, mis pole enam kaugel sellest tsoonist, kus Päike ei looju. Stokholmi valged ööd ei erine mitte millegi poolest Leningradi omadest.

Kui päikese ööpäevase teekonna alumine osa ei lasku üldse horisondi taha, vaid ainult veereb sellel pisut, siis pole meil tegemist üksnes eha ja koidu kokkusulamisega, vaid ka pideva päevaga. Seda saab vaadelda alates põhjalaiusest 65°42′: siit algab kesköise Päikese riik. Veel enam põhja pool — alates 67°24′ — saab vaadelda ka pidevat ööd, koidu kokkusulamist ehaga p ä r a s t k e s k p ä e v a, mitte aga pärast kesköösd. See on «pime päev», valge öö vastand, kuigi mõlema valgustuse aste on ühesugune. Pimedate päevade maaks on seesama kesköise Päikese maa, ainult teisel aastaajal. Kus võib näha loojumatut Päikest juunis *, seal valitseb detsembris mitme-ööpäevane pimedus, mis on tingitud sellest, et Päike ei tõuse.

Valguse ja pimeduse vaheldumine

Valged ööd on selle kujukaks tõestuseks, et meie poolt lapsepõlvest saadik omandatud ettekujutus päeva ja öö korrapärasest vaheldumisest maakeral haarab selle vaheldumise pildi liiga lihtsustatult. Tegelikult on valguse ja pimeduse perioodiline vaheldumine meie planeedil hoopis mitmekesisem ning ei mahu päeva ja öö tavalisse skeemi. Selles suhtes võib meie poolt asustatud maakera jaotada viieks vööndiks, millest igaühel on oma valguse ja pimeduse vaheldumise kord.

Esimene vöönd ulatub kuni paralleelini 49° kummalgi pool ekvaatorit: siin ja ainult siin o n i g a l ö ö p ä e v a l o l e m a s t ä i e l i k p ä e v j a t ä i e l i k ö ö.

Teises vööndis — 49° ja $65\frac{1}{2}^{\circ}$ vahel, kus asuvad kõik

* Ambartšiki lahes Päike ei lasku horisondi taha 19. maist 26. juulini, ja Tiksi lahe lähedal 12. maist 1. augustini.

Nõukogude Liidu alad põhja pool Poltaavat, — on suvise pööripäeva paiku pidevate videvike periood; see on v a l g e t e ö ö d e v ö ö n d.

Kolmandas kitsas vööndis $65\frac{1}{2}^{\circ}$ ja $67\frac{1}{2}^{\circ}$ vahel Päike ei looju 22. juuni paiku üldse rea ööpäevade kestel; see on k e s k ö i s e P ä i k e s e v ö ö n d.

Neljandale vööndile $67\frac{1}{2}^{\circ}$ ja $83\frac{1}{2}^{\circ}$ vahel on peale pideva päeva juunis iseloomulik veel mitu ööpäeva kestev öö detsembris: Päike ei tõuse rea ööpäevade vältel üldse, koit ja eha neelavad päeva. See on p i m e d a t e p ä e v a d e v ö ö n d.

Kõige keerukam valguse ja pimeduse vaheldumine leiab aset viiendas vööndis, põhja pool $83\frac{1}{2}^{\circ}$. See ebakorrapära, mille toovad päevade ja ööde üksluisesse vaheldumisse Leningradi valged ööd, läheb siin kuni tavalise korra täieliku rikkumiseni. Kogu poolaasta suvisest pööripäevast talviseni, s. o. 22. juunist 22. detsembrini, jaguneb viieks perioodiks — viieks aastaajaks, kui soovite. Esimese perioodi jooksul püsib kogu aeg päev; teise vältel vahelduvad päevad videvikuga keskööpaiku, kuid täielikke öid ei ole (nõrgalt nendetaolised ongi Leningradi suveööd); kolmanda perioodi jooksul on kogu aeg videvik — täielikke päevi ja öid ei ole üldse; neljanda perioodi kestel muutub pidev videvik keskööpaiku täielikuks ööks; lõpuks, viiendas perioodis, valitseb pidev öö. Järgmisel poolaastal — detsembrist juunini — korduvad needsamad nähtused vastupidises järjekorras.

Teisel pool ekvaatorit, lõunapoolkeral, leiavad vastavatel geograafilistel laiustel aset muidugi samasugused nähtused.

Kui me midagi ei kuule «kauge lõuna» valgetest öödest, siis ainult sellel põhjusel, et seal on ookeani piirkond.

Paralleel, mis lõunapoolkeral vastab Leningradi laiusele, ei läbi ühtki tükikest maismaad — kõikjal on ookean; «lõuna valgeid öid» saavad imetleda ainult meremehed, kes sõidavad lõuna-polaarvetes.

Polaarpäikese mõistatus

Ülesanne

Polaarrändurid panevad tähele suvise Päikese kiirte huvitavat iseärasust suurtel laiustel. Päikese kiired soojendavad seal maad nõrgalt, kuid avaldavad ootamatult tugevat mõju kõigile esemetele, mis kerkivad püstloodis üles.

Märgatavalt soojenevad kaljude järsud nõlvad ja majade seinad, kiiresti sulavad jäämäed, puulaevade parrastel sulab tõrv üles, näonahk põleb ära jms.

Millega seletada polaarpäikese kiirte niisugust mõju vertikaalselt seisvatele esemetele?

Lahendus

Meil on siin tegemist füüsikaseadusega, mis ütleb, et kiirte mõju on seda suurem, mida enam risti nad langevad keha pinnale. Päike seisab polaarmaades suvelgi madalal: tema kõrgus polaarjoone taga ei ületa poolt täisnurka, suurtel laiustel aga on see poolest täisnurgast palju väiksem.

On kerge mõista, et kui päikesekiired moodustavad horisontaalpinnaga nurga, mis on poolest täisnurgast väiksem, siis peavad nad püstjoonega moodustama nurga, mis on poolest täisnurgast suurem; teisiti öeldes nad peavad langema vertikaalpindadele üsna järsult.

Nüüd on arusaadav, et selsamal põhjusel, mispärast polaarpäikese kiired soojendavad maad nõrgalt, peavad nad tugevasti soojendama kõiki püstloodis kõrguvaid esemeid.

Millal algavad aastaajad

Ükskõik, kas 21. märtsil möllab lumetuisk, kas valitseb kõva pakane või, vastupidi, jääb püsima pehme sulailm — ikka loetakse seda päeva põhjapoolkeral talve lõpuks ja kevade — astronoomilise kevade — alguseks. Paljudele on täiesti arusaamatu, miks just praegu nimetatud kuupäev, 21. märts (mõnedel aastatel — 22. märts), on valitud talve ja kevade vaheliseks piiriks, kuigi sel ajal võib veel täies jõus valitseda karm pakane või on siis, vastupidi, juba ammu soe ilm.

Asi on selles, et astronoomilise kevade algust ei määrata hoopiski mitte ilmastiku muutlike ja ebakindlate tundemärkide järgi. Juba üksnes see, et kevade saabumise moment on Maa antud poolkera kõigi kohtade jaoks üks ja sama, peab viima mõttele, et ilmastiku iseärasustel ei ole siin olulist tähtsust. Ei saa ju tervelt poolel maakeral olla kõikjal ühesugune ilm!

Ja tõepoolest ei juhindu astronoomid aastaaegade alguse tähtaegade kindlaksmääramisel mitte meteoroloogilistest nähtustest, vaid astronoomilistest: keskpäevase Päikese kõrgusest ja sellest tulenevast päeva pikkusest. Seesugune või teistsugune ilm osutub juba teisejärguliseks asjaoluks.

21. märts erineb aasta teistest päevadest selle poolest, et valguse ja varju piir meie planeedil läheb sel ajal just läbi mõlema geograafilise pooluse. Võtnud kätte gloobuse ja hoides teda vastavalt lambi poole pööratult, te veendute, et valguse piir läheb siis mööda maakera meridiaani, lõigates ekvaatorit ja kõiki paralleeljooni täisnurga all. Pöörake gloobust sellises asendis ümber telje, valgustades teda lambiga: gloobuse pinna iga punkt joonistab seejuures ringjoone, millest täpselt pool on varjus ning täpselt pool asub valguse käes. See tähendab seda, et nimetatud momendil aastas on päeva pikkus võrdne öö pikkusega. Päeva ja öö võrdsus leiab sel ajal aset kogu maakeral põhjapoolusest lõunapooluseni. Ent kuna päev kestab siis 12 tundi — pool ööpäeva —, tõuseb Päike kõikjal kell 6 ja läheb looja kell 18 (muidugi kohaliku aja järgi).

Vaat millega paistab niisiis silma 21. märts: päev ja öö on siis omavahel võrdsed kogu meie planeedi pinnal. Selle tähelepanuväärse momendi astronoomiline nimetus on — «kevadine võrdpäevsus», — kevadine sellepärast, et see võrdpäevsus ei ole aastas ainuke. Pool aastat hiljem, 23. septembril, on uuesti päeva ja öö võrdsuse moment — «sügisene võrdpäevsus», mis tähistab suve lõppu ning sügise algust. Kui põhjapoolkeral on kevadine võrdpäevsus, siis teisel pool ekvaatorit, lõunapoolkeral, on sügisene võrdpäevsus, ja ümberpöördult. Ühel pool ekvaatorit talv asendub kevadega, teisel pool asendub suvi sügisega. Aastaajad põhjapoolkeral ei ühti lõunapoolkera sesoonidega.

Jälgime ka seda, kuidas muutub aasta kestel päeva

ja öö suhteline pikkus. Alates sügisesest võrdpäevsusest, s. o. 23. septembrist, muutub ööpäeva valge osa põhjapoolkeral pimedast osast lühemaks. Nii kestab see terve poolaasta, mille jooksul päevad algul lühenevad — kuni 22. detsembrini, ent seejärel pikenevad, kuni 21. märtsil päev saab võrdseks ööga. Sellest momendist peale, kogu ülejäänud poolaasta kestel, on põhjapoolkeral päev pikem kui öö. Päevad pikenevad kuni 22. juunini, misjärel lühenevad, jäädes esimesel kolmel kuul pikemaks kui öö; ööga on nad jälle võrdsed vaid sügisese võrdpäevsuse momendil (23. septembril).

Nimetatud neli kuupäeva määravadki ära astronoomiliste aastaaegade alguse ja lõpu. Põhjapoolkera kõigi kohtade jaoks on need nimelt:

21. märts — päev on võrdne ööga — kevade algus,
22. juuni — kõige pikem päev — suve algus,
23. september — päev on võrdne ööga — sügise algus,
22. detsember — kõige lühem päev — talve algus.

Teisel pool ekvaatorit, Maa lõunapoolkeral, on meie kevadega ühel ajal sügis, meie suvega — talv jne.

Esitame lugejale lõpuks mõned küsimused, mille üle järele mõtlemine aitab tal õeldut endale paremini selgeks teha ning meelde jätta:

1. Kus kohas maakeral on päev võrdne ööga kogu aasta läbi?

2. Mis kell (kohaliku aja järgi) tõuseb Päike Taškendis käesoleva aasta 21. märtsil? Mis kell tõuseb ta selsamal päeval Tokios? Buenos Aireses?

3. Mis kell (kohaliku aja järgi) loojub Päike Novosibirskis käesoleva aasta 23. septembril? Aga New Yorgis? Healootuse neemel?

4. Mis kell tõuseb Päike ekvaatori punktides 2. augustil? 27. veebruaril?

5. Kas juulipakased ja jaanuarikuu kuumad päevad on võimalikud? *

---

* Küsimuste vastused: 1) Päev on alati võrdne ööga ekvaatoril, sest et valguse piir jaotab ekvaatori kaheks võrdseks pooleks maakera igasuguse asendi puhul. 2 ja 3) Võrdpäevsuse päevadel tõuseb Päike kell 6 ja loojub kell 18 kohaliku aja järgi kõikjal kogu maakeral. 4) Ekvaatoril tõuseb Päike kogu aasta vältel iga päev kell 6 kohaliku aja järgi. 5) Lõunapoolkera keskmistel laiustel on juulipakane ja jaanuarikuu suvine kuumus tavaliseks nähtuseks.

Kolm korda «kui»

Liiga tavaline saab tihtilugu suurema raskusega selgeks kui ebatavaline. Meie poolt lapsest saadik kätteõpitava arvude kümnendsüsteemi iseärasused tulevad meile ilmsiks alles siis, kui me proovime kujutada arve teises süsteemis näiteks seitsmend- või kaheteistkümnendsüsteemis. Eukleidese geomeetria olemus muutub meile mõistetavaks siis, kui me hakkame tutvuma mitteeukleidilise geomeetriaga. Selleks et hästi aru saada, missugust osa meie elus mängib raskusjõud, on tarvis ette kujutada, et ta on palju kordi suurem või väiksem kui tegelikkuses. Me talitamegi nii, kui räägime raskusest. Ent nüüd kasutame «kui» võtet selleks, et endale paremini selgeks teha Maa liikumise tingimusi ümber Päikese.

Alustame koolis pähe õpitud väitest, et Maa telg moodustab Maa orbiidi-tasapinnaga nurga $66\frac{1}{2}^\circ$ (ligikaudu $\frac{3}{4}$ täisnurgast). Te mõistate selle fakti tähendust hästi ainult siis, kui kujutate ette, et kaldenurk on teistsugune — ei ole $\frac{3}{4}$ täisnurgast, vaid on näiteks terve täisnurk. Teisiti öeldes, kujutage endale ette, et Maa pöörlemise telg on orbiidi-tasapinnaga risti, nagu unistasid teha Suurtükiklubi liikmed Jules Verne'i fantastilises romaanis «Pahupidi». Missuguseid muudatusi tooks see looduse tavalisse igapäevasesse ellu?

Kui Maa telg oleks orbiidi-tasapinnaga risti

Kujutleme niisiis, et Jules Verne'i suurtükiväelaste ettevõte «ajada maakera telg õigeks» on teoks saanud ja maakera telg on nüüd risti meie planeedi orbiidi-tasapinnaga. Missuguseid muutusi me märkaksime looduses?

Kõigepealt lakkaks praegune Põhjanael — alfa Väikeses vankris — olemast põhjatäheks. Maa telje pikendus ei lähe enam tema lähedalt läbi, ja tähisvõlv hakkab pöörlema teise taevas asetseva punkti ümber.

Edasi muutuks täielikult aastaaegade vaheldumine;

muutuks selles mõttes, et seda vaheldumist ei oleks enam üldse.

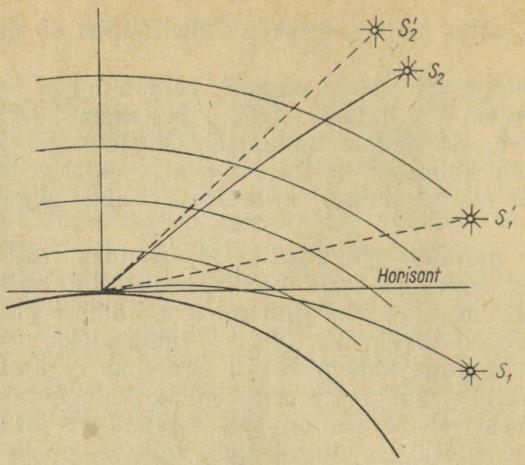
Mis põhjustab aastaaegade vaheldumise? Miks on suvel soojem kui talvel? Ärgem hakakem kõrvale põiklema vastusest sellele banaalsele küsimusele. Koolis ei tehta seda kaugeltki mitte piisavalt selgeks, ja pärastpoole ei ole enamikul inimestest vaba aega sellega tegelda.

Suvel muutub põhjapoolkeral soojaks esiteks seepärast, et maakera telje kaldasendi tõttu, mille põhjapoolne ots on nüüd pööratud rohkem Päikese poole, muutuvad päevad pikkadeks, ööd — lühikesteks. Päike soojendab maapinda kauem, öösiti aga maa ei jõua märgatavalt jahtuda; soojuse juurdevool kasvab, äravool kahaneb. Teiseks põhjuseks on see asjaolu, et jällegi maakera telje kallakuse tagajärjel Päikese poole viimane käib taevas kõrgelt ning tema kiired langevad maapinnale suurema nurga all. Järelikult suvel Päike ei soojenda üksnes *kaua*, *vaid ka tugevasti*, öine jahtumine aga on lühiajaline. Talvel on lugu vastupidine, Päike soojendab *vähe* aega ning soojendab seejuures *nõrgasti*, ent öine jahtumine kestab kaua.

Lõunapoolkeral toimuvad needsamad nähtused kuus kuud hiljem (või kui soovite, varem). Kevadel ja sügisel võtavad mõlemad poolused ühesuguse asendi päikesekiirte suhtes; valgustatud osa piirringjoon peaaegu ühtib meridiaaniga, päevad ja ööd on võrdsusele lähedal — kujuneb talve ja suve vahepealne klimaatiline olustik.

Kas need muutused toimuvad, kui maakera telg asetub risti orbiidi-tasapinnaga? Ei, sest et maakera on alati ühesuguses asendis päikesekiirte suhtes, ja igas punktis valitseb aasta läbi üks ning seesama aastaaeg. Missugune? Paras- ja polaarvöötmetes võime me nimetada seda kevadeks, kuigi niisama õige on nimetada teda ka sügiseks. Päevad on alati ning kõikjal võrdsed öödega, nagu nad seda praegu on ainult märtsikuu ja septembrikuu 20-ndatel päevadel. (Umbes niisuguses asendis on planeet Jupiter; tema pöörlemistelg on peaaegu risti ümber Päikese liikumise tasapinnaga.)

Nii juhtuks praeguses parasvöötmes. Palavvöötmes ei oleks klimaatilised muutused niivõrd märgatavad; poolustel seevastu oleksid nad kõige suuremad. Siin Päike ei loo-



Joon. 15. Atmosfääriline refraktsioon. Kiir, mis lähtub taevakehast S_2, murdub Maa atmosfääri libisedes igas tema kihis ning kõverdub, mille tagajärjel vaatlejale paistab kiir väljuvat punktist S'_2, mis asub kõrgemal. Taevakeha S_1 on juba horisondi taha läinud, kuid vaatleja näeb teda tänu refraktsioonile.

juks iialgi atmosfäärilise refraktsiooni tagajärjel, mis tõstab natuke taevakeha horisondi kohal (joon. 15), vaid veereks aasta läbi horisondil. Oleks igavene päev, õigemini igavene varahommik. Kuigi soojahulk, mida toovad kaasa nii madalal seisva Päikese kiired, on tühine, pehmeneks karm polaarkliima ometi tunduvalt, sest et soojendamine kestaks lakkamatult aasta läbi. See olekski ainuke kasu telje kaldenurga muutumisest, kasu, mis ei hüvita seda kahju, mida kannavad maakera kõige kultuursemad alad.

Kui Maa telg oleks orbiidi-tasapinna suhtes kaldu 45°

Teeme nüüd mõttes teise muudatuse: anname Maa teljele poole täisnurga suuruse kallakuse. Võrdpäevsuse ajal (21. märtsi paiku ja 23. septembri paiku) on päevade ja ööde vahetumine maakeral niisamasugune kui praegugi. Juunis aga on Päike seniidis 45. paralleelil (mitte paral-

leelil $23^1/_2°$): see laius mängiks pöörijoonte osa. Leningradi laiusel (60°) jääks Päikesel seniidist puudu vaid 15°; Päikese kõrgus oleks tõesti troopiline! Palavvööde asuks vahetult külmvöötme kõrval, parasvöödet poleks aga üldse olemas. Moskvas ja Harkovis valitseks kogu juunikuu pidev, katkematu päev. Talvel seevastu kestaks lakkamatu polaaröö kümnete päevade kaupa Moskvas, Kiievis, Harkovis, Poltaavas. Palavvööde aga muutuks selleks ajaks parajaks, sest et Päike ei tõuseks seal keskpäeval kõrgemale kui 45°.

Troopikavööde kaotaks muidugi palju selle muudatuse tõttu, samuti kui parasvöödegi. Ent polaarala võidaks seekordki midagi: siin saabuks pärast väga karmi (karmim kui praegu) talve paras-soe suveperiood, millal Päike seisaks poolusel eneselgi keskpäeval 45° kõrgusel ja paistaks enam kui pool aastat. Arktise igijääd annaksid märgatavalt järele päikesekiirte sõbralikule mõjule.

Kui Maa telg asuks orbiidi-tasapinnas

Meie kolmas mõtteline katse seisneb selles, et me paneme Maa telje tema orbiidi-tasapinda (joon. 16). Maa ringleb ümber Päikese «pikali olles», pööreldes ümber telje umbes nii, nagu pöörleb meie planeetide perekonna kauge liige — Uuran. Mis juhtub siis?

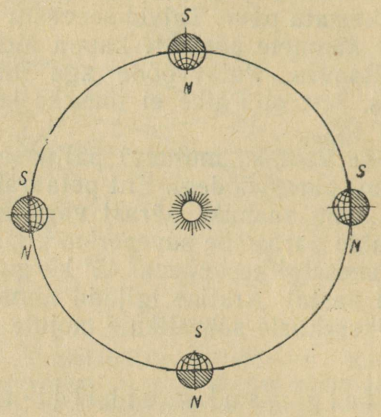
Pooluste lähedal vahelduks pool aastat vältav päev, mille jooksul Päike tõuseks horisondilt spiraalselt üles kuni seniidini ja laskuks uuesti horisondile niisamasugust spiraaljoont mööda, pool aastat kestva ööga. Neid lahutaks pidev, mitmeööpäevane videvik. Enne seda, kui peituda horisondi taha, käiks Päike mitu ööpäeva ringi ümber kogu taeva, veeredes täiesti horisondil. Sellise suve jooksul peavad sulama kõik jääd, mis on kogunenud talve jooksul.

Keskmistel laiustel hakkavad päevad kiiresti kasvama alates kevade algusest, ja seejärel kestab teatava aja vältel mitmeööpäevane päev. See kauakestev päev saabub umbes nii mitme ööpäeva järel, kui mitu kraadi antud koht on poolusest eemal, ja vältab ligikaudu nii mitu ööpäeva, kui mitu kraadi on koha kahekordses laiuses.

Leningradis näiteks saabuks palju ööpäevi kestev päev 30 päeva pärast 21. märtsi ja vältaks 120 ööpäeva. Kolmkümmend ööpäeva enne 23. septembrit ilmuvad ööd uuesti. Talvel hakkab toimuma vastupidine: pideva paljuööpäe-

vase päeva asemel kestab niisama palju aega igiöö. Ja ainult ekvaatoril oleks päev alati võrdne ööga.

Umbes niisuguses asendis orbiidi-tasapinna suhtes asub, nagu juba mainitud, Uurani telg: selle planeedi telje



Joon. 16. Kuidas liiguks maakera ümber Päikese, kui Maa pöörlemistelg asuks tema orbiidi tasapinnas.

kaldenurk tema ümber Päikese liikumise tasapinna suhtes on kõigest 8°. Võib öelda, et Uuran tiirleb ümber Päikese «l a m a d e s».

Nende kolme «kui» järel sai lugejale tõenäoliselt selgemaks tihe seos kliimatingimuste ja Maa telje kallakuse vahel. Mitte juhuslikult ei tähenda sõna «kliima» kreeka keeles «kallakust».

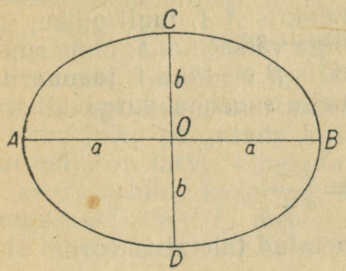
Veel üks «kui»

Pöördume nüüd meie planeedi liikumise teise külje juurde — tema orbiidi kuju juurde. Nagu kõik planeedid, allub ka Maa Kepleri esimesele seadusele: iga planeet liigub mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub Päike.

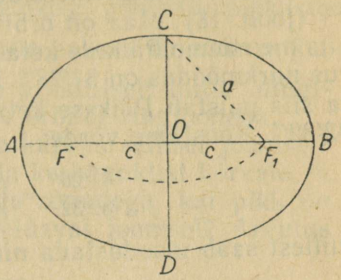
Missugune siis on see ellips, mida mööda liigub maakera? Kas ta erineb palju ringist?

Astronoomia õpikutes ja raamatutes kujutatakse Maa orbiiti sageli perspektiivis, kaunis tugevasti väljavenitatud ellipsi näol. Selline ebaõigesti mõistetud nägemiskujutus

sööbib paljudel kogu eluajaks mällu: nad jäävad veendunuks, et Maa orbiidiks on märgatavalt väljavenitatud ellips. See ei ole põrmugi nii: Maa orbiit erineb ringist niivõrd vähe, et teda ei saa paberil teisiti kujutadagi kui



Joon. 17. Ellips ja tema teljed — suur (AB) ja väike (CD). Punkt O on ellipsi keskpunkt.



Joon. 18. Kuidas leida ellipsi fookusi.

ringina. Kui orbiidi läbimõõt joonisel oleks terve meeter, siis oleks kujundi kõrvalekaldumine ringist väiksem selle joone paksusest, millega ta on kujutatud. Sellist ellipsit ei eristaks ringist isegi kunstniku terav silm.

Tutvume veidi ellipsi geomeetriaga. Ellipsil (joon. 17) on AB — tema «suur telg», CD — «väike telg». Igal ellipsil on peale «keskpunkti» O veel kaks märkimisväärset punkti — «fookust», mis asuvad suurel pooltelje sümmeetriliselt mõlemal pool keskpunkti. Fookused leitakse kätte niimoodi (joon. 18): sirkli haarad nihutatakse suure pooltelje OB pikkuselt laiali, teravik asetatakse väikese telje otspunkti C ning tõmmatakse kaar, mis lõikab suurt telge. Lõikumispunktid F ja F_1 ongi ellipsi fookused. Kaugusi OF ja OF_1 (nad on võrdsed) tähistatakse harilikult tähega c ja telgi (suurt ja väikest) $2a$ ja $2b$ abil. Kauguse c ja suure pooltelje pikkuse a suhe, s. t. murd c/a, on ellipsi väljavenitatuse mõõduks ja teda nimetatakse «ekstsentrilisuseks». Mida enam ellips erineb ringist, seda suurem on tema ekstsentrilisus.

Me saame täpse ettekujutuse Maa orbiidi kujust, kui teame tema ekstsentrilisuse suurust. Seda saab kindlaks teha ka orbiidi suurust mõõtmata. Asi on selles, et Päike asub ühes orbiidi fookuses ja paistab meile Maa pealt

vaadatuna erisuguse suurusega seepärast, et orbiidi punktid on erineval kaugusel sellest fookusest. Päikese näivad mõõtmed kord suurenevad, kord vähenevad, ja mõõtmete suhe vastab muidugi mõista täpselt Maa kauguste suhtele Päikesest vaatlusmomentidel. Asugu Päike ellipsi fookuses F_1 (joon. 18). Maa on orbiidi punktis A 1. juuli paiku, ja siis me näeme Päikese ketast kõige väiksemana; tema suurus nurkmõõdus on 31′28″. Punktis B on Maa 1. jaanuaril, ja siis paistab Päikese ketas meile suurima nurga all — 32′32″. Koostame võrde:

$$\frac{31'28''}{32'32''} = \frac{BF_1}{AF_1} = \frac{a-c}{a+c},$$

millest saab moodustada niinimetatud tuletatud võrde

$$\frac{a-c-(a+c)}{a+c+(a-c)} = \frac{31'28'' - 32'32''}{32'32'' + 31'28''}$$

ehk

$$\frac{64''}{64'} = \frac{c}{a}.$$

Järelikult

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60} = 0{,}017,$$

s. t. Maa orbiidi ekstsentrilisus on 0,017. Nagu näete, piisab Päikese nähtava ketta hoolikast mõõtmisest, selleks et kindlaks määrata Maa orbiidi kuju.

Näitame nüüd, et Maa orbiit erineb väga vähe ringjoonest. Kujutleme, et me oleme joonestanud Maa orbiidi õige suure joonisena, nii et suur pooltelg on 1 *m*. Kui pikk on ellipsi teine, väike telg? Täisnurkses kolmnurgas OCF_1 (joon. 18)

$$c^2 = a^2 - b^2 \quad \text{ehk} \quad \frac{c^2}{a^2} = \frac{a^2-b^2}{a^2}.$$

Ent $\frac{c}{a}$ on Maa orbiidi ekstsentrilisus, s. o. $\frac{1}{60}$. Avaldise a^2-b^2 asendame korrutisega $(a-b)(a+b)$ ja $(a+b)$ asemele paneme $2a$, sest et b erineb a-st vähe. Saame

$$\frac{1}{60^2} = \frac{2a(a-b)}{a^2} = \frac{2(a-b)}{a}$$

ja järelikult

$$a-b=\frac{a}{2\times 60^2}=\frac{1000}{7200},$$ s. t. vähem kui $\frac{1}{7}$ mm.

Me saime teada, et isegi nii suure mõõtkavaga joonisel ei ületa Maa orbiidi suure ja väikese pooltelje pikkuste vahe $\frac{1}{7}$ mm. Peenikese pliiatsijoone paksus on suurem kui see suurus. Järelikult me ei tee praktiliselt mitte mingisugust viga, kui joonestame Maa orbiidi ringjoonena.

Kuhu tuleb paigutada Päikese kujutis sellisel joonisel? Kui palju on tarvis nihutada teda keskpunktist kõrvale, et ta asuks orbiidi fookuses? Teiste sõnadega, kui pikk on kaugus OF või OF_1 meie kujuteldaval joonisel? Arvutus pole keeruline:

$$\frac{c}{a}=\frac{1}{60},\quad c=\frac{a}{60}=\frac{100}{60}=1{,}7 \text{ cm}.$$

Päikese keskpunkt peab seisma joonisel 1,7 cm kaugusel orbiidi keskpunktist. Kuna aga Päikest ennast peab kujutama ringina läbimõõduga 1 cm, siis märkaks vaid kunstniku vilunud silm, et ta ei ole ringi keskpunkti asetatud.

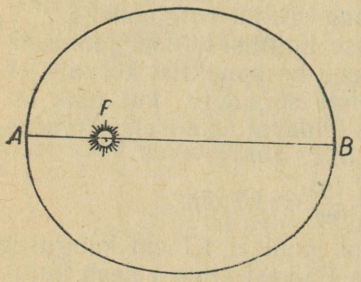
Praktiline järeldus öeldust on see, et joonistel võib Maa orbiiti kujutada ringjoonena, paigutades Päikese pisut kõrvale keskpunktist.

Kas niivõrd tähtsusetu asümmeetria Päikese asetuses saab Maa kliimale mõju avaldada? Selleks et välja selgitada, milles võiks ilmsiks tulla taoline mõju, teostame jälle mõttelise katse, pöördume «kui» poole. Oletame, et Maa orbiidi ekstsentrilisus kasvaks märgatavama suuruseni, näiteks 0,5-ni. See tähendab, et ellipsi fookus jaotab tema pooltelje pooleks; niisugusel ellipsil on ligikaudu kanamuna väljavenitatus. Mitte ühelgi päikesesüsteemi suurte planeetide orbiitidest ei ole niivõrd suurt ekstsentrilisust; Pluuto orbiidil, kõige väljavenitatumal, on ekstsentrilisus 0,25. (Ent asteroidid ja komeedid liiguvad ka väljavenitatumaid ellipseid mööda.)

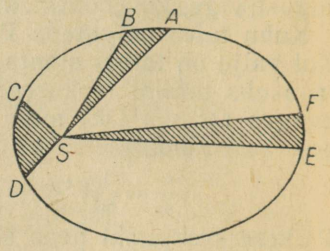
Kui Maa tee oleks tugevamini välja venitatud

Kujutleme siis, et Maa orbiit on märgatavalt välja venitatud ja fookus jaotab tema suure pooltelje pooleks. Joonisel 19 on kujutatud see uus orbiit. Maa on endist viisi

1. jaanuaril punktis *A*, mis on Päikesele kõige ligemal, ja 1. juulil punktis *B*, mis on kõige kaugemal. Kuna *FB* on kolm korda suurem kui *FA*, siis oleks Päike meile jaanuaris kolm korda lähemal kui juulis, saadetav soojuse hulk aga oleks jaanuaris 9 korda suurem kui juulis (pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga). Mis jääks siis järele meie põhjamaisest talvest? Vaid see, et Päike käiks taeval



Joon. 19. Millise kujuga oleks Maa orbiit, kui Maa orbiidi ekstsentrilisus oleks 0,5. Fookuses *F* on Päike.



Joon. 20. Kepleri teise seaduse illustreerimiseks: kui planeet läbib kaared *AB*, *CD* ja *EF* ühesuuruste ajavahemike jooksul, siis on viirutatud pindalad võrdsed.

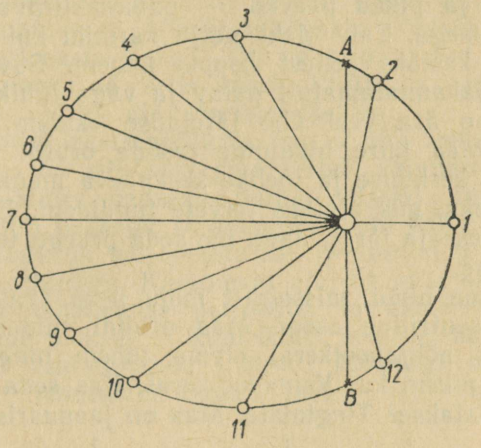
madalalt ja päevad oleksid lühikesed, aga ööd pikad. Kuid külmi ei oleks: Päikese suur lähedus kataks küllaga ebasoodsad valgustustingimused.

Siia lisandub veel asjaolu, mis tuleneb Kepleri teisest seadusest, mis ütleb, et raadiusvektori poolt võrdsetes ajavahemikes kaetud pindalad on võrdsed.

Orbiidi «raadiusvektoriks» nimetatakse sirglõiku, mis ühendab Päikest planeediga, meie juhul — Maaga. Kuna Maa nihkub orbiiti mööda edasi, siis liigub ka raadiusvektor, mis katab seejuures teatava pindala; Kepleri seadus määrab kindlaks, et võrdsete ajavahemike jooksul kaetud pindala osad on omavahel võrdsed. Oma tee nendes punktides, mis on päikesele ligemal, peab Maa mööda orbiiti kiiremini liikuma kui nendes punktides, mis on Päikesest eemal; muidu ei saaks lühikese raadiusvektori poolt kaetud pindala olla võrdne pikema raadiusvektori poolt moodustatud pindalaga (joon. 20).

Rakendades öeldut meie kujuteldava orbiidi kohta,

teeme järelduse, et detsembris—veebruaris, millal Maa on palju lähemal Päikesele, peab ta liikuma oma orbiiti mööda kiiremini kui juunis—augustis. Teiste sõnadega, talv peab põhjapoolkeral ruttu mööda lendama, suvi aga seevastu peab kaua kestma, sellega justkui hüvitust andes Päikese poolt kasinalt jagatava soojuse eest.



Joon. 21. Kuidas Maa liiguks ümber Päikese mööda tugevasti väljavenitatud ellipsit. (Numbritega tähistatud naaberpunktide vahelised kaugused läbib planeet võrdsete ajavahemike, ühe kuu jooksul.)

Joonisel 21 antakse täpsem ettekujutus aastaaegade kestusest meie kujuteldavate tingimuste juures. Ellips kujutab Maa uue orbiidi kuju (ekstsentrilisusega 0,5). Arvud *1—12* jaotavad Maa tee osadeks, mis Maa läbib võrdsete ajavahemike jooksul; Kepleri seaduse järgi on ellipsi osad, milleks teda tükeldavad temasse joonestatud raadiusvektorid, võrdse pindalaga. Punktis *1* on Maa 1. jaanuaril, punktis 2 1. veebruaril, punktis *3* 1. märtsil jne. Jooniselt on näha, et kevadine võrdpäevsus (*A*) peab saabuma taolisel orbiidil juba veebruari esimestel päevadel ja sügisene (*B*) novembri lõpul. Järelikult kestaks talv põhjapoolkeral vaid pisut üle kahe kuu — novembri lõpust veebruari alguseni. Pikkade päevade ja kõrge keskpäevase päikeseseisu periood aga

— kevadisest võrdpäevsusest kuni sügiseseni — hõlmaks põhjapoolkera maades enam kui $9^1/_2$ kuud.

Maa lõunapoolkeral leiaks aset just vastupidine. Päikese madal seis ja lühikesed päevad langeksid ühte Maa eemaldumisega päevasest valgusallikast ning selle poolt jagatava soojuse 9-kordse nõrgenemisega; Päikese kõrge seis aga ja pikad päevad — päikesekiirguse 9-kordse tugevnemisega. Talv oleks palju karmim kui põhjapoolkeral ja kestaks sellest hoopis kauem. Suvi seevastu oleks väljakannatamatult palav ja väga lühike.

Märgime ära veel ühe järelduse «kuist». Jaanuaris tekitaks Maa kiire liikumine mööda orbiiti suure lahkumineku keskmise ja tõelise keskpäeva momendi vahel, lahkumineku, mis ulatuks tervete tundideni. Elada keskmise päikeseaja järgi, nagu me seda praegu teeme, oleks siis tülikas.

Me teame nüüd, missugust mõju peab avaldama Päikese ekstsentriline asend Maa orbiidi suhtes: eelkõige peab talv põhjapoolkeral olema lühem ning pehmem, suvi aga pikem kui lõunapoolkeral. Kas seda tegelikkuses täheldatakse? Tingimata. Maa on jaanuaris Päikesele lähemal kui juulis $2 \times \frac{1}{60}$ võrra, s. o. $\frac{1}{30}$ võrra; Päikeselt saadava soojuse hulk kasvab seepärast $\left(\frac{61}{59}\right)^2$ korda, s. o. 6% võrra. See pehmendab mõnevõrra põhjapoolkera maade talvede karmust. Teiselt poolt on põhjapoolkera sügis ja talv kokku umbes 8 ööpäeva lühemad kui lõunapoolkeral; põhjapoolkera suvi koos kevadega on niisama palju pikem kui lõunapoolkeral. Lõunapooluse suurem jäätumine seletub tõenäoliselt selle asjaoluga. Tabelis on toodud aastaaegade täpne kestus põhja- ja lõunapoolkeral:

Põhjapoolkera	Kestus	Lõunapoolkera
Kevad	92 ööpäeva 19 tundi	Sügis
Suvi	93 „ 15 „	Talv
Sügis	89 „ 19 „	Kevad
Talv	89 „ 0 „	Suvi

Te näete, et põhjapoolkera suvi on pikem talvest 4,6 ööpäeva ja põhjapoolkera kevad on pikem sügisest 3,0 ööpäeva.

Selline põhjapoolkera eelis ei jää igaveseks püsima. Maa orbiidi suur telg asetub ruumis aeglaselt ümber: ta kannab Maakera teekonna punktid, mis on Päikesest kõige kaugemal ja mis on sellele kõige lähemal, üle teistesse kohtadesse. Nende liikumiste täistsükkel jõuab lõpule 21 000 aasta jooksul. On välja arvutatud, et põhjapoolkera nimetatud eelis läheb 10 700. a. paiku meie ajaarvamise järgi üle lõunapoolkerale.

Maa orbiidi ekstsentrilisus ise ei jää muutumatuks: tema suurus on allutatud pikaldastele sajandilistele kõikumistele, alates peaaegu nullist (0,003), millal Maa orbiit muutub peaaegu ringjooneks, kuni 0,077, millal ta omandab suurima väljavenitatuse ja sarnaneb kuju poolest Marsi orbiidiga. Käesoleval ajal on Maa orbiidi ekstsentrilisus kahanemise perioodis; ta väheneb veel 24 aastatuhande jooksul — kuni 0,003, seejärel hakkab suurenema 40 aastatuhande jooksul. Mõistagi on niivõrd pikaldastel muutustel meie jaoks vaid teoreetiline tähendus.

Millal me oleme Päikesele lähemal: keskpäeval või õhtul?

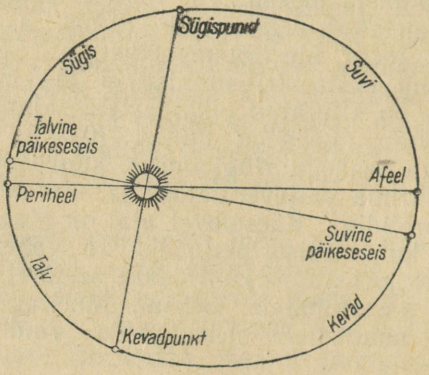
Kui Maa liiguks mööda rangelt ringjoonelist orbiiti, mille keskpunktis asub Päike, siis oleks pealkirjas püstitatud küsimusele väga lihtne vastata: me oleme Päikesele lähemal keskpäeval, kui maakera pinna vastavad punktid ulatuvad Päikese suunas esile Maa pöörlemise tagajärjel telje ümber. Selle Päikesele liginemise suurim väärtus oleks ekvaatori punktide jaoks 6400 km (Maa raadiuse pikkus).

Maa orbiit on aga ellips, ja Päike asub selle fookuses (joon. 22). Maa on seepärast kord ligemal Päikesele, kord kaugemal sellest. Poolaasta kestel (1. jaanuarist 1. juulini) Maa eemaldub Päikesest, teise poolaasta vältel ligineb sellele. Suurima ja väikseima kauguse vahe ulatub $2 \times \frac{1}{60} \times 150\,000\,000$, s. o. 5 000 000 km-ni.

See kauguse muutumine moodustab keskelt läbi umbes 28 000 km ööpäevas. Seepärast ajal keskpäevast Päikese loojumiseni (veerand ööpäeva) jõuab maakera pinna

punktide kaugus päevasest valgusallikast muutuda keskmiselt 7500 km võrra, s. t. enam kui Maa pöörlemise tagajärjel ümber telje.

Järelikult tuleb pealkirjas püstitatud küsimusele vastata nii: perioodil jaanuarist juulini me oleme keskpäeval Päikesele ligemal kui õhtul, juulist jaanuarini aga on lugu vastupidine.



Joon. 22. Skemaatiline joonis Maa teekonnast ümber Päikese.

Üks meeter kaugemale

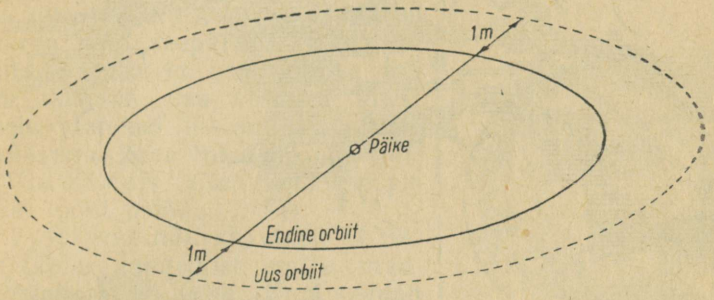
Ülesanne

Maa tiirleb ümber Päikese 150 000 000 km kaugusel. Kujutlege, et see vahemaa on suurenenud 1 m võrra. Kui palju pikeneks seejuures Maa teekond ümber Päikese ja kui palju suureneks selle tõttu aasta pikkus (arvestades, et Maa liikumise kiirus mööda orbiiti ei muutunud) (vt. joon. 23)?

Lahendus

1 m on iseenesest väike suurus; meenutades aga Maa orbiidi hiiglasuurt ulatust, me kaldume arvama, et see kauguse tähtsusetu juurdelisamine peab andma üsna tunduvalt lisa orbiidi pikkusele ja järelikult ka aasta pikkusele.

Olles välja arvutanud orbiitide pikkuse vahe, saame me niivõrd tühise tulemuse, et oleme valmis kahtlustama viga arvutuses. Imestada vahe tühisuse üle aga pole tarvis; see peabki olema väga väike. Kahe kontsentrilise ringjoone pikkuste vahe ei olene nende ringjoonte raadiuste suurusest, vaid ainult nende raadiuste v a h e s t. Kahel ringjoonel, mis on joonestatud toa põrandale, on



Joon. 23. Kui palju pikeneks Maa orbiit, kui meie planeet kaugeneks Päikesest veel 1 m võrra? (Ülesande lahendus on antud tekstis.)

pikkuste vahe täiesti seesama, mis kosmiliste mõõtmetega ringjoontelgi, kui aga raadiused erinevad kummalgi juhul 1 m võrra. Selles veenab meid arvestus. Kui Maa orbiidi (mis loetakse ringjooneks) raadius on R m, siis orbiidi pikkus on $2\pi R$. Raadiuse pikendamisel 1 m võrra saab orbiidi uueks pikkuseks $2\pi(R + 1) = 2\pi R + 2\pi$. Orbiidi pikkuse lisand moodustab, nagu me näeme, kõigest 2π, s. o. 6,28 m, ja ei olene raadiuse suurusest.

Niisiis vahemaa suurenemisel 1 m võrra pikeneks Maa teekond ümber Päikese kõigest $6\frac{1}{4}$ m võrra. Aasta pikkusele see peaaegu ei avaldaks mõju, sest et Maa liigub mööda orbiiti 30 000 m sekundis: aasta pikeneks kõigest ühe 5000-ndiku sekundi võrra — suuruse võrra, mis pole muidugi tuntav.

Erinevatelt vaatekohtadelt

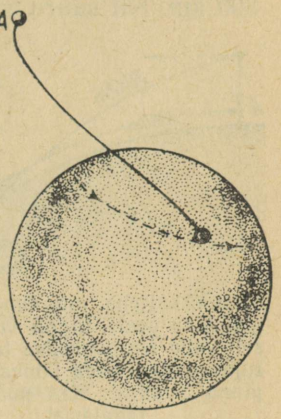
Lastes asja käest kukkuda, te näete teda kukkuvat mööda püstjoont, ja teil oleks veider mõelda, et mõnele teisele asja langemise tee näib kõverjoonena. Aga muide,



Joon. 24. Maapealsele vaatlejale on vabalt langeva keha teeks sirgjoon.

just nii see paistabki igale vaatlejale, kes ei võta osa maakera liikumisest koos meiega.

Proovime mõttes vaadata keha langemist niisuguse vaatleja silmadega. Joonisel 24 on kujutatud rasket kera, mis langeb vabalt 500 *m* kõrguselt. Langedes ta võtab muidugi samaaegselt osa kõigist maakera liikumistest. Neid langeva keha lisaliikumisi, mis on seejuures tohutult kiiremad, me ei märka vaid seepärast, et me ise võtame nendest osa. Niipea kui me lakkame osa võtmast ühest meie planeedi liikumisest, näeme sedasama keha liikuvat juba mitte püstloodis alla, vaid hoopis teist joont mööda.



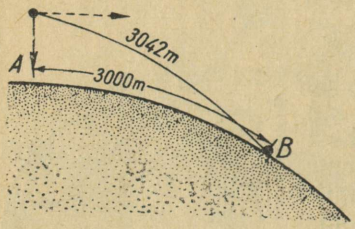
Joon. 25. Seesama tee näib Kuu peal asuvale vaatlejale kõverana.

Kujutleme näiteks, et me ei jälgi keha langemist mitte maapinnalt, vaid Kuult. Kuu saadab Maad tema liikumisel ümber Päikese, kuid ei tee kaasa tema pöördliikumist ümber telje. Seepärast, vaadeldes langemist Kuu pealt, me näeksime keha, mis sooritab kaht liikumist: üht — püstloodis alla ja teist liikumist, mis enne ei olnud tähelepandav, — mööda maapinna puutujat itta. Mõlemad samaaegsed liikumised muidugi liituvad mehhaanika reeglite järgi, ja kuna üks nendest (langemine) on ebaühtlane, teine aga ühtlane, siis resulteeruv liikumine toimub mööda kõverjoont. Joonisel 25 on kujutatud see kõver: sellist teed mööda liiguks Maa peale langev keha küllalt terava nägemisega vaatleja jaoks, kes asub Kuul.

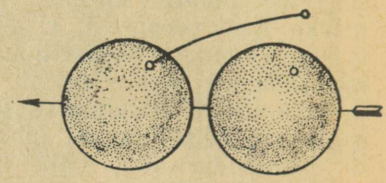
Teeme veel ühe sammu: siirdume mõttes Päikesele, olles võtnud endaga kaasa ülivõimsa teleskoobi, et jälgida raske kera langemist Maa peale. Asudes Päikesel, me lakkame osa võtmast juba mitte üksnes Maa pöörlemisest ümber telje, vaid ka tema tiirlemisest mööda orbiiti. Järelikult Päikeselt me võime märgata kolme liikumist, mida langev keha teostab samaaegselt (joon. 26):

1) püstloodis langemine maapinna poole;
2) liikumine itta mööda maapinna puutujat;
3) liikumine ümber Päikese.

Esimese nihkumise suurus on 0,5 km. Teine on — keha 10-sekundilise langemisaja vältel — Moskva laiusel $0{,}3 \times 10 = 3$ km. Kolmas liikumine, kõige kiirem, — 30 km ühe sekundi jooksul. 10 sekundi vältel, sel ajal kui kestab langemine, nihkub keha mööda Maa orbiiti edasi 300 km. Nii suure edasiliikumisega võrreldes on mõlemad



Joon. 26. Keha, mis vabalt langeb Maa peale, liigub samaaegselt selle ringjoonelise tee puutuja suunas, mida läbivad maapinna punktid Maa pöörlemise tagajärjel.

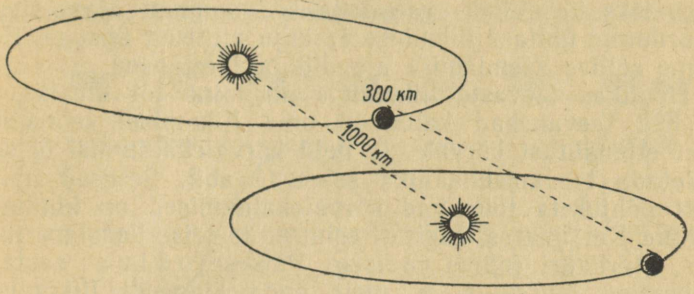


Joon. 27. Mida näeks vaatleja, kes jälgiks Päikeselt keha püstloodis langemist Maa peale, nagu see on näidatud joon. 24 (mõõtkavast ei ole kinni peetud).

eelmised liikumised — $\frac{1}{2}$ km alla ja 3 km kõrvale — vaevaltmärgatavad; teostades vaatlust Päikeselt, me pöörame tähelepanu vaid kõige suuremale edasiliikumisele. Mida me siis näeme? Ligikaudu seda, mida on näidatud (mõõtkavast kinni pidamata) joonisel 27. Maa nihkub vasakule ja langev keha — punktist Maa kohal parempoolses asendis vastavasse punkti (ainult pisut madalamale) Maa peal vasakpoolses asendis. Joonisel, nagu me ütlesime, pole mõõtkavast kinni peetud: Maa keskpunkt ei liigu 10 sek. vältel edasi mitte 14 000 km, nagu on kujutanud näitlikkuse huvides kunstnik, vaid ainult 300 km.

Jääb teha veel üks samm: siirduda mingile tähele, s. t. kaugele päikesele, vabastades ennast osa võtmast omaenda Päikese liikumisest. Sealt me märkame, et peale kolme varem vaadeldud liikumise teostab langev keha veel neljandatki — selle tähe suhtes. Neljanda liikumise suurus ja suund sõltub sellest, missugusele tähele me nimelt siirdusime, s. t. missuguses liikumises on kogu päikesesüsteem selle tähe suhtes. Joonisel 28 on kujutatud üks võimalikest juhtudest, kus päikesesüsteem liigub valitud

tähe suhtes teravnurga all Maa orbiidi-tasapinnaga, kiirusega 100 km sekundis (sellist järku kiirused on tähtede juures täheldatavad ka tegelikkuses). See liikumine viib langeva keha 10 sek. jooksul 1000 km kaugusele kaasa omas suunas ja teeb selle tee muidugi veelgi kee-



Joon. 28. Kuidas paistaks keha langemine Maa peale vaatlejale, kes jälgib seda kaugelt tähelt.

rulisemaks. Vaatlemisel teiselt tähelt oleks sellel teel olnud teistsugune suurus ja teistsugune suund.

Võiks minna veelgi kaugemale: esitada küsimus selle kohta, missugune kuju on Maa peale langeva keha teel selle vaatleja jaoks, kes asub väljaspool Linnuteed ja ei võta osa kiirest liikumisest, mis viib meie tähesüsteemi kaasa universumi teiste saarte suhtes. Nii kaugele tungida aga pole vajadust. Lugejale on nüüd selge, et igalt uuelt vaatekohalt näib ühe ja sama langeva keha tee täiesti teistsugusena.

Ebamaine aeg

Te töötasite tund aega ja puhkasite tunni. Kas mõlemad ajavahemikud on ühesuurused? Tingimata on ühesuurused, kui nad on mõõdetud hästi reguleeritud kellamehhanismi abil, — vastab enamik inimesi. Ent millist kellamehhanismi me peame õigeks pidama? Muidugi seda, mis on kontrollitud astronoomiliste vaatluste kaudu, teisiti öeldes, on kooskõlastatud ideaalselt ühtlaselt pöörleva maakera liikumisega: see pöördub võrdsete nurkade võrra rangelt ühesuuruste ajavahemike vältel.

TRÜ Raamatukogu

Kust me aga õieti öelda teame, et maakera pöörleb ühtlaselt? Mispärast me oleme veendunud, et meie planeet sooritab kaks teineteisele järgnevat pööret ümber telje ühesuguse aja jooksul? Seda kontrollida pole võimalik seni, kuni Maa pöörlemine ise on ajamõõduks.

Viimasel ajal on astronoomid lugenud teatavateks otstarveteks kasulikuks asendada see ammust ajast sissejuurdunud ühtlase liikumise eeskuju ajutiselt teisega. Esitame sellise asendamise ajendid ja järeldused.

Hoolikas taevaste liikumiste uurimine tõi ilmsiks, et mõned taevakehad kalduvad oma liikumisel teoreetiliselt ettenähtust kõrvale, ja neid kõrvalekaldumisi ei saa seletada taevamehhaanika seaduste abil. Sellised näiliselt põhjuseta toimuvad kõrvalekaldumised on kindlaks tehtud Kuu juures, Jupiteri esimese ja teise kaaslase juures, Merkuuri juures ja isegi Päikese n ä i v a aastase liikumise juures, s. o. meie enda planeedi liikumisel mööda tema orbiiti. Kuu näiteks kaldub teoreetilisest teest kõrvale suuruse võrra, mis ulatub mõningatel ajajärkudel $\frac{1}{6}$ kaareminutini, ja Päike kuni 1 kaaresekundi võrra. Nende ebakorrapärasuste analüüsimine tõi nendes ilmsiks ühise joone: kõik liikumised toimusid teataval ajaperioodil kiirenevalt, aga seejärel, järgneval perioodil, hakkasid kõik korraga jällegi aeglustuma. Loomulikult tekib mõte ühisest põhjusest, mis kutsub esile selliseid kõrvalekaldumisi.

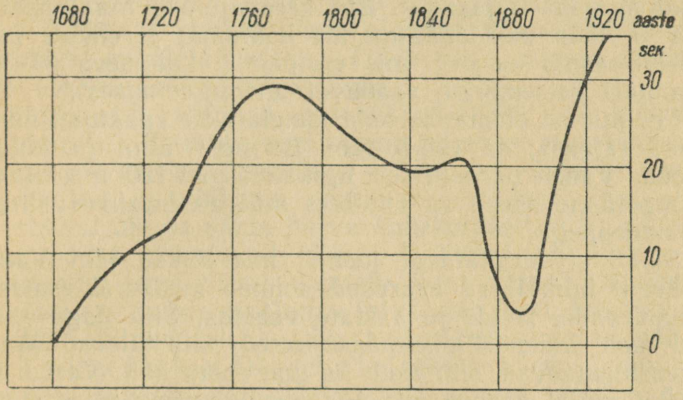
Kas ei peitu ühine põhjus meie loodusliku kella «ebaõigsuses», Maa pöörlemise kui ühtlase liikumise eeskuju ebaõnnestunud valikus?

Tõsteti üles maise kella asendamise küsimus. «Maine kell» hüljati ajutiseks, ja uuritavaid liikumisi mõõdeti teiste looduslike kelladega, mis põhinesid kas ühe või teise Jupiteri kaaslase liikumisel, või siis Kuu või Merkuuri liikumistel. Osutus, et sellised asendamised toovad kohe rahuldava korrapära nimetatud taevakehade liikumisse. Seevastu Maa pöörlemine, mõõdetud uute kellade abil, näib juba ebaühtlasena: ta kord aeglustub natuke kümnete aastate jooksul, kord kiireneb järgneva rea aastakümnete vältel, et seejärel uuesti aeglustuma hakata.

1897. aastal oli ööpäev 0,0035 sekundit pikem kui eelnenud aastatel ja 1918. aastal samavõrra lühem kui aja-

vahemikus 1897—1918. Praegused ööpäevad on ligikaudu 0,002 sekundit pikemad kui 100 aastat tagasi.

Selles mõttes me võime ütelda, et meie planeet pöörleb ebaühtlaselt omade mõnede teiste liikumiste suhtes, aga samuti ka liikumiste suhtes, mis toimuvad meie planeetide süsteemis ja loetakse tingimisi ühtlasteks liikumisteks. Maa kõrvalekaldumiste ulatus rangelt üht-



Joon. 29. See kõver näitab, kuidas Maa pöörlemine aastatel 1680—1920 kaldus kõrvale ühtlasest pöörlemisest. Kui Maa oleks pöörelnud ühtlaselt, siis oleks seda graafikul kujutatud horisontaalse sirgena. Kõvera tõusud vastavad ööpäevade pikenemisele, s. t. Maa pöörlemise aeglustumisele, langused — pöörlemise kiirenemisele.

lasest (nimetatud mõttes) pöörlemisest on üsna väike: terve sajandi jooksul 1680. aastast kuni 1780. aastani pöörles Maa aeglustuvalt, ööpäevad pikenesid, ja meie planeet kogus umbes 30-sekundilise vahe «oma» ja «võõra» aja vahel; seejärel XIX saj. keskpaigani ööpäevad lühenesid, ja vahe vähenes ligikaudu 10 sek. võrra; käesoleva sajandi alguseks vähenes vahe veel 20 sek. võrra; XX saj. esimesel veerandil aga Maa liikumine aeglustus uuesti, ööpäevad hakkasid jälle pikenema, ja kogunes uuesti peaaegu pooleminutiline vahe (joon. 29).

Nende muutuste oletatavad põhjused võivad olla mitmesugused: Kuu poolt tekitatavad tõusud, maakera dia-

meetri muutumine * jms. Siin on võimalikud tähtsad avastused tulevikus, kui seda nähtust hakatakse igakülgselt uurima.

Kus algavad kuud ja aastad?

Moskvas lõi kell kaksteistkümmend — saabus 1. jaanuar. Moskvast lääne pool kestab veel 31. detsember, ida pool aga on 1. jaanuar. Ent kerakujulisel Maal peavad ida ja lääs möödapääsmatult kohtuma; järelikult peab kuskil olema ka piir, mis eraldab 1. kuupäeva 31-sest, jaanuari detsembrist, saabuvat aastat eelmisest.

See piir on olemas ja teda nimetatakse «daatumi muutmise rajaks»; ta läheb läbi Beringi väina ja kulgeb mööda Vaikse ookeani vesi ligikaudu piki 180. meridiaani. Tema täpne asend on kindlaks määratud rahvusvahelise kokkuleppega.

Sellel ettekujutataval joonel, mis lõikab läbi Vaikse ookeani inimtühjad avarused, toimub maakeral esmaselt kuupäevade, kuude ja aastate vahetus. Siin nagu asuksid meie kalendri sissepääsu-uksed; siit tulevad Maale uued kuupäevad, siin asub ka uue aasta häll. Varem kui kuskil mujal saabub siin iga uus kuupäev; olles sündinud, ruttab ta läände, jookseb ümber maakera ja pöördub uuesti tagasi sünnikohta, et hääbuda.

NSV Liit võtab oma territooriumil kõigist maailma maadest varem vastu uue kuupäeva: Dežnjovi neemel astub iga kuupäev, mis on äsja sündinud Beringi väina vetes, asustatud maailma, et alata oma teekonda läbi kõigi maailmajagude. Ja siinsamas, Nõukogude Aasia idapoolseima tipu juures, lõpevad päevad, olles täitnud oma 24-tunnilise teenistuse.

Niisiis, päevade vahetus toimub daatumi muutmise rajal. Esimesed ümbermaailmareisijad, kes ei määranud seda joont kindlaks, läksid päevade arvestamisel segi. Antonio Pigafetta, Magalhãesi reisikaaslane tema ümbermaailmareisil, jutustab:

«19. juulil, k o l m a p ä e v a l me nägime Rohelise

---

* Maa diameetri pikkuse muutumine võib vahetutele mõõtmistele kättesaamatuks jääda, sest et see suurus on teada vaid kuni 100 m täpsusega; Maa diameetri pikenemine või lühenemine mõne meetri võrra oleks muuseas juba küllaldane selleks, et põhjustada neid muutusi ööpäevade pikkuses, millest oli juttu.

neeme saari ja jäime ankrusse... Selleks et teada saada, kas me oma laevapäevikuid õigesti pidasime, me käskisime rannas küsida, milline nädalapäev täna on. Vastati, et neljapäev. See üllatas meid, seepärast et meie päevikute järgi oli alles kolmapäev. Meile näis võimatuna, et me kõik eksisime ühe päeva võrra...

Pärastpoole me saime teada, et meie arvestuses ei olnud vähimatki viga: purjetades pidevalt läände, me järgnesime Päikese liikumisele ja, pöördunud tagasi sellessesamasse punkti, olime pidanud võitma 24 tundi, võrreldes kohalejäänutega. Tuleb vaid pisut mõelda selle üle, et sellega nõus olla.»

Kuidas siis talitavad meresõitjad nüüd, kui läbivad daatumiraja? Et mitte segi minna päevade arvestamisel, jätavad meremehed ühe päeva vahele, kui sõidavad idast läände; kui aga läbivad daatumiraja läänest itta, siis arvestavad üht ja sama päeva kahekordselt, s. o. pärast 1. kuupäeva arvestavad jällegi 1. kuupäeva. Just seepärast ongi tegelikkuses võimatu Jules Verne'i romaanis «80 päevaga ümber maailma» jutustatud lugu, kus ümber maailma sõitnud reisija «tõi» kodumaale «kaasa» pühapäeva, sellal kui seal oli veel alles eelmine päev — laupäev. See võis sündida vaid Magalhãesi ajastul, sest et siis ei olnud veel kokkulepet «daatumiraja» kohta. Võimatud on meie päevil ka selletaolised juhtumused, millest jutustas Edgar Poe naljas «Kolm pühapäeva ühel nädalal»: meremees, kes sõitis ümber maakera idast läände, kohtus kodumaal teisega, kes sooritas ümbermaailmasõidu vastupidises suunas. Üks väitis, et pühapäev oli eile, teine — et ta on homme, aga nende sõber, kes ei olnud kuhugi sõitnud, teatas, et pühapäev on — täna.

Selleks et ümbermaailmareisil ei juhtuks kalendrist lahkuminekut, tuleb itta liikudes justkui veidi peatuda päevade arvestamisel, lastes Päikesel endale järele jõuda, s. t. arvestada üht ja sama ööpäeva kahekordselt; läände liikumisel aga tuleb seevastu üks ööpäev vahele jätta, et mitte Päikesest maha jääda.

Kõik need nagu ei olekski eriti keerukad asjad, kuid meie ajalgi, neli sajandit pärast Magalhãesi ei oska kaugeltki mitte kõik nendes teadlikult orienteeruda.

Mitu reedet on veebruaris?

Ülesanne

Milline on suurim ja milline on väikseim võimalik reedete arv veebruaris?

Lahendus

Tavaliselt vastatakse, et suurim reedete arv veebruaris on 5, väikseim — 4. Kahtlemata on õige, et kui lisapäeva-aasta esimene veebruar langeb reedele, siis ka 29. kuupäev satub reedele, ja reedeid on sel juhul kokku 5.

Siiski saab loendada ka kaks korda rohkem reedeid ühe veebruarikuu jooksul. Kujutlege laeva, mis sooritab reise Siberi idaranna ja Alaska vahel, lahkudes Aasia rannast regulaarselt igal reedel. Mitu reedet loendab selle laeva kapten niisuguse lisapäeva-aasta veebruaris, milles 1. kuupäev sattus reedele? Kuna ta läbib daatumiraja läänest itta ja läbib selle reedel, siis tal on igal nädalal kaks reedet järjestikku, ja reedeid loendab ta kokku 10. Seevastu kapten, kes lahkub Alaska rannast igal neljapäeval ja sõidab Siberi ranniku poole, jätab päevade arvestamisel vahele just reede; kogu kuu jooksul tal pole ühtki reedet.

Järelikult õige vastus ülesande küsimusele on järgmine: suurim võimalik reedete arv veebruaris on 10, väikseim — null.





TEINE PEATÜKK

KUU JA TEMA LIIKUMISED

Kas noor- või vanakuu?

Nähes taevas Kuu poolikut ketast, ei tee mitte igaüks eksimatult kindlaks, kas see on noorkuu või kahaneb ta juba. Äsjaloodud kuu kitsas sirp ja vanakuu sirp erinevad ainult selle poolest, et nad on kumerusega teine teisele poole pööratud. Põhjapoolkeral on noorkuu ikka kumera küljega paremale poole pööratud, vanakuu — vasakule. Kuidas jätta kindlalt ning eksimatult meelde, kuhu poole missugune kuu vaatab?

Luban endale pakkuda niisugust tunnust.

Sirbi või poolkuu sarnasuse tõttu vene tähtedega *P* või *C* on hõlpus kindlaks teha, kas meie ees on k a s v a v * kuu (s. o. noorkuu) või v a n a kuu ** (joon. 30).

Mnemooniline tunnus leidub ka prantslastel. Nad soovitavad poolkuu sarvede juurde mõttes asetada sirgjoone; tulevad välja ladina tähed *d* või *p*. Täht *d* — algustäht sõnas «*dernier*» (viimane) — osutab viimasele veerandile, s. t. vanakuule. Täht *p* — algustäht sõnas «*premier*» (esimene) — näitab, et Kuu on esimeses veerandis, üldse — on noorkuu. Sakslastel on samuti olemas reegel, mis seob Kuu kuju kindlate tähtedega.

---

* Vene keeles растущий. (*Tõlk.*)

** Vene keeles старый. (*Tõlk.*)

Neid reegleid saab rakendada ainult Maa põhjapoolkeral. Austraalia või Transvaali jaoks on tunnuste tähendus just vastupidine. Ent põhjapoolkeralgi võivad nad osutuda sobimatuks — nimelt lõunapoolsetel laiustel. Juba Krimmis ja Taga-Kaukaasias kalduvad sirp ja pool-



Joon. 30. Lihtne moodus noorkuu eristamiseks vanakuust.

kuu tugevasti küljeli, ja veel rohkem lõuna pool on nad täiesti selili. Ekvaatori lähedal paistab horisondil rippuv Kuu sirp kas gondlina, mis kiigub lainetel (araabia muinasjuttude «Kuu süst»), või heleda kaarena. Siin ei kõlba ei vene ega ka prantsuse tunnus — pikali olevast kaarekesest saab soovi järgi moodustada mõlemad paarid: *P* ja *C*, *p* ja *d*. Mitte asjata ei nimetatud Vana-Roomas küljeli olevat Kuud «petlikuks» (*Luna fallax*). Et sellelgi juhul mitte eksida Kuu «vanuses», tuleb pöörduda astronoomiliste tundemärkide poole: noorkuu on nähtav õhtul taeva lääneosas; vanakuu — hommikul taeva idaosas.

Kuu lippudel

Ülesanne

Joonisel 31 on meie ees Türgi lipp (endine). Sellel on kuusirbi ja tähe kujutis. See juhib meid järgmistele küsimustele:

1. Millise kuu sirp on kujutatud lipul — noorkuu või vanakuu oma?

2. Kas saab kuusirpi ja tähte näha taevas sellisel kujul, nagu nad on näidatud lipul?



Joon. 31. Türgi lipp (endine).



a



b

Joon. 32, *a* ja *b*. Miks täht ei saa kuu sarvede vahel nähtav olla.

Lahendus

1. Meelde tuletanud äsjatoodud tunnuse ja arvestanud seda, et lipp kuulub põhjapoolkera maale, teeme kindlaks, et lipul olev kuu on vanakuu.

2. Täht ei saa nähtav olla ringiks täiendatud kuuketta sees (joon. 32, *a*). Kõik taevakehad on tohutult kaugemal Kuust ja peavad järelikult tema varju jääma. Neid saab näha vaid väljaspool Kuu valgustamata osa serva, nagu on näidatud joonisel 32, *b*.

Huvitav, et kaasaegsel Türgi lipul, millel samuti on kuusirbi ja tähe kujutis, on täht nihutatud sirbist eemale just nii, nagu joonisel 32, *b*.

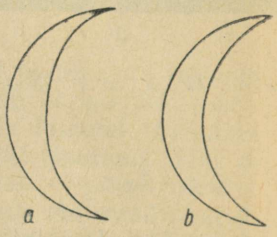
Kuu faaside mõistatused

Kuu saab oma valguse Päikeselt, ja seepärast peab kuusirpide kumer külg muidugimõista olema pööratud Päikese poole. Kunstnikud unustavad selle pahatihti.

Näitustel pole harulduseks näha maastikku poolkuuga, mis on Päikese poole pööratud oma sirge küljega; juhtub ette kuusirpigi, mis on pööratud Päikese poole oma sarvedega (joon. 33).



Joon. 33. Maastikupildil on tehtud astronoomiline viga. Milline? (Vastus tekstis.)

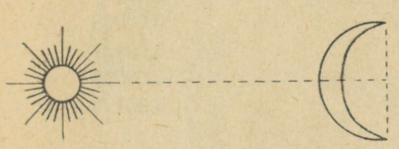


Joon. 34. Kuidas kuusirpi tuleb kujutada (*a*) ja kuidas teda ei tohi kujutada (*b*).

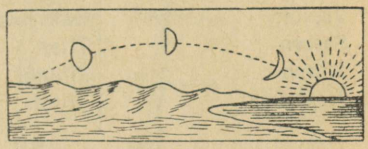
Tuleb muuseas märkida, et noorkuud õigesti joonistada ei olegi nii lihtne, nagu paistab. Kogenud kunstnikudki joonistavad kuusirbi välise ja seesmise kaare poolringide kujulistena. Muide, poolringi kuju on ainult välisel kaarel, seesmine aga kujutab endast poolellipsit, kuna see poolring (valgustatud osa piir) on nähtav perspektiivis (joon. 34, *a*).

Ei ole kerge anda kuusirbile ka õiget asendit taevas. Poolkuu ja kuusirp asetuvad Päikese suhtes sageli kaunis peavaluvalmistaval viisil. Näib, et kui Kuud valgustab Päike, siis kuusirbi tippe ühendav sirgjoon peab moo-

dustama täisnurga kiirega, mis tuleb Päikeselt selle sirgjoone keskpunkti (joon. 35). Teisiti öeldes peab Päikese keskpunkt asetsema kuusirbi tippe ühendava sirglõigu keskpunktist tõmmatud ristsirgel. Kuid see reegel kehtib vaid kitsa sirbi puhul. Joonisel 36 on näidatud kuu asend eri faasides Päikese kiirte suhtes. Tekib niisugune mulje, nagu kõverduksid Päikese kiired enne, kui jõuavad Kuuni.



Joon. 35. Kuusirbi asend Päikese suhtes.



Joon. 36. Millises asendis Päikese suhtes me näeme Kuud erisugustes fraasides.

Mõistatuse lahendus seisneb järgnevas. Kiir, mis tuleb Päikeselt Kuule, on tegelikult risti kuusirbi tippe ühendava joonega ja kujutab ruumis endast sirgjoont. Kuid meie silm ei joonista taevale seda sirget, vaid selle projektsiooni nõgusale taevavõlvile, s. t. kõverjoont. Seepärast paistabki meile, et Kuu pole taevasse «õigesti üles riputatud». Kunstnik peab neid iseärasusi tundma õppima ja oskama neid lõuendile üle kanda.

Kaksikplaneet

Kaksikplaneet — see on Maa koos Kuuga. Nendel on õigus sellele nimetusele seepärast, et meie kaaslane paistab teiste planeetide kaaslaste seas teravalt silma tähelepanuväärse suuruse ja massiga oma emaplaneedi suhtes. Päikesesüsteemis on absoluutselt suuremaid ja raskemaid kaaslasi, kuid oma emaplaneediga võrreldes on nad palju väiksemad kui meie Kuu Maa suhtes. Tõepoolest, meie Kuu läbimõõt on enam kui neljandik maakera omast, aga teiste planeetide suhteliselt kõige suurema kaaslase läbimõõt moodustab kõigest ühe kümnendiku oma planeedi läbimõõdust (Triton — Neptuuni kaaslane). Edasi, Kuu mass on $^1/_{81}$ Maa massist; samal ajal moodustab kõige raskem päikesesüsteemis eksisteeri-

vatest kaaslastest — Jupiteri III kaaslane — vähem kui ühe kümnetuhandiku oma emaplaneedi massist.

Millise osa emaplaneedi massist moodustab suurte kaaslaste mass, seda näitab järgnev tabel.

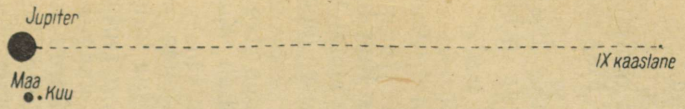
Planeet	Tema kaaslane	Mass (planeedi massi osana)
Maa	Kuu	0,0123
Jupiter	Ganümedes	0,00008
Saturn	Titan	0,00021
Uuran	Titania	0,00003
Neptuun	Triton	0,00129

Te näete siit, et meie Kuu moodustab oma massilt kõige suurema osa oma emaplaneedist.

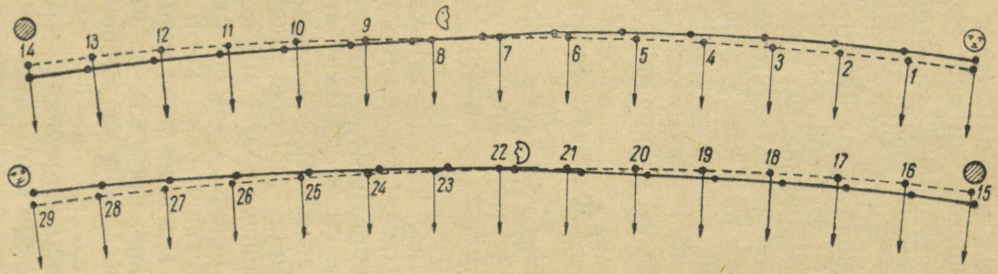
Kolmas asjaolu, mis annab süsteemile Maa—Kuu õiguse pretendeerida «kaksikplaneedi» nimetusele, see on mõlema taevakeha suur lähedus. Paljud teiste planeetide kaaslased ringlevad palju suurematel kaugustel: mõned Jupiteri kaaslased (näiteks üheksas, joon. 37) ringlevad 65 korda kaugemal.

Sellega seoses on niisugune huvitav fakt, et tee, millel kuu liigub ümber Päikese, erineb väga vähe Maa teest. See tundub uskumatuna, kui meenutada, et Kuu liigub ümber Maa peaaegu 400 000 km kaugusel. Ärgem unustagem siiski, et selle aja jooksul, kui Kuu teeb ühe ringi ümber Maa, jõuab Maa ise koos Kuuga edasi liikuda ligikaudu ühe kolmeteistkümnendiku võrra oma aastasest teekonnast, s. o. 70 000 000 km võrra. Kujutage endale ette, et Kuu ringjooneline tee — 2 500 000 km — on laiali laotatud piki vahemaad, mis on 30 korda suurem. Mis jääb järele tema ringjoonelisest kujust? Mitte midagi. Vaat mispärast Kuu tee ümber Päikese peaaegu kokku sulab Maa orbiidiga, kaldudes sellest kõrvale vaid 13 vaevaltmärgatava eendiga. Lihtsa arvestusega (millega me ei hakka siin raamatut koormama) saab tõestada, et Kuu tee on seejuures kõikjal Päikese poole pööratud oma nõgususega. Jämedalt väljendades on ta välimuse poolest sarnane kolmteistnurgaga, mille nurgad on kergelt ümardatud.

Joonisel 38 te näete Maa ja Kuu teede täpset kujutust



Joon. 37. Süsteem Maa-Kuu võrrelduna Jupiteri süsteemiga. (Taevakehade eneste mõõtmed on näidatud mõõtkavast kinni pidamata.)



Joon. 38. Kuu tee (pidev joon) ja Maa tee (punktiir) ümber Päikese ühe kuu jooksul.

ühe kuu jooksul. Punktiirjoon on Maa tee, pidev joon — Kuu tee. Nad on nii lähedal teineteisele, et nende lahus kujutamiseks tuli joonise mõõtkava võtta väga suur: Maa orbiidi läbimõõt on siin $^1/_2$ m. Kui selleks võtta 10 cm, siis oleks mõlemate teede vaheline suurim kaugus joonisel väiksem kui neid kujutavate joonte paksus. Vaadates seda joonist, te veendute oma silmaga, et Maa ja Kuu liiguvad ümber Päikese peaaegu üht ja sama teed mööda, ja et «kaksikplaneedi» nimetus on nendele astronoomide poolt täiesti õigustatult omistatud.*

Niisiis, Päikesel asuvale vaatlejale paistaks Kuu tee pisut lainelise joonena, mis peaaegu ühtib Maa orbiidiga. See ei ole mitte sugugi vastuolus sellega, et Maa suhtes liigub Kuu mööda väheldast ellipsit.

Põhjus on muidugi selles, et Maalt vaadates me ei märka Kuu kaasaliikumist Maaga mööda Maa orbiiti, kuna me ise võtame sellest osa.

Mispärast Kuu ei lange Päikesele?

Küsimus võib näida naiivsena. Milleks peaks Kuu langema Päikesele? Maa tõmbab teda ometi tugevamini kui kauge Päike ja sunnib teda loomulikult enese ümber tiirlema.

Lugejad, kes nii arvavad, üllatuvad, saades teada, et asi on hoopis vastupidi: just Päike tõmbab Kuud tugevamini, mitte aga Maa!

Et see nii on, näitavad arvutused. Võrdleme jõude, mis tõmbavad Kuud: Päikese külgetõmbejõudu ja Maa külgetõmbejõudu. Mõlemad jõud olenevad kahest asjaolust: külgetõmbava massi suurusest ja selle massi kaugusest Kuust. Päikese mass on Maa massist 330 000 korda suurem; niisama palju kordi tõmbaks Päike Kuud tugevamini kui Maa, kui kaugus Kuust oleks mõlemal juhul ühesugune. Ent Päike on Kuust umbes 400 korda kaugemal kui Maa. Külgetõmbejõud kahaneb võrdeliselt kau-

* Joonist tähelepanelikult vaadeldes võib tähele panna, et Kuu liikumine pole sellel rangelt ühtlasena kujutatud. Nii see tegelikult ongi. Kuu liigub ümber Maa mööda ellipsit, mille fookuses asub Maa, ja seepärast, vastavalt Kepleri teisele seadusele, liigub Kuu Maale ligematel teeosadel kiiremini kui kaugematel. Kuu orbiidi ekstsentrilisus on kaunis suur: 0,055.

guse ruuduga; seepärast tuleb Päikese külgetõmbejõudu vähendada 400^2 korda, s. o. 160 000 korda. Järelikult on Päikese külgetõmbejõud Maa omast tugevam $\frac{330000}{160000}$ s. o. enam kui kaks korda.

Niisiis Päike tõmbab Kuud kaks korda tugevamini kui Maa. Mispärast siis küll, tõepoolest, kuu ei torma Päikesele? Mispärast Maa siiski sunnib Kuud enese ümber tiirlema, mitte aga ei võta võimust Päikese mõju?

Kuu ei lange Päikesele selsamal põhjusel, mispärast Maagi ei lange Päikesele; Kuu tiirleb ümber Päikese koos Maaga, ja Päikese külgetõmbejõud kulub jäägitult sellele, et neid mõlemaid kehi pidevalt üle viia sirgjooneliselt teelt kõverale orbiidile, s. t. muuta sirgjooneline liikumine kõverjooneliseks. Piisab pilgu heitmisest joonisele 38, et öeldus veenduda.

Mõnel lugejal jäi võib-olla mõningane kahtlus. Kuidas see siis ikka nii on? Maa tõmbab Kuud enda poole, Päike tõmbab Kuud suurema jõuga, aga Kuu, selle asemel et langeda Päikesele, ringleb ümber Maa? See oleks tõepoolest imelik, kui Päike tõmbaks enda poole a i n u l t Kuud. Ent ta tõmbab Kuud k o o s M a a g a, kogu «kaksikplaneeti», ja niiöelda ei sega selle paari liikmete omavahelistesse siseasjadesse. Rangelt väljendades tõmbab Päike enda poole süsteemi Maa—Kuu ühist raskuskeset, see raskuskese (mida nimetatakse «barütsentriks») tiirlebki ümber Päikese viimase külgetõmbe mõjul. Barütsenter on Maa keskpunktist $^2/_3$ maakera raadiuse kaugusel Kuu poole. Maa keskpunkt ja Kuu tiirlevad ümber barütsentri, sooritades ühe ringi kuu aja jooksul.

Kuu nähtav külg ja nähtamatu külg

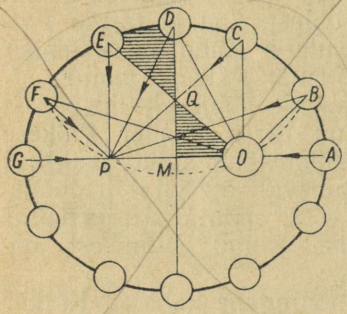
Stereoskoobiga saavutatavate efektide seas ei raba miski nõnda kui Kuu vaade. Siin näed oma silmaga, et Kuu on tõepoolest kerakujuline, sellal kui ta ehtsas taevas paistab tasasena nagu kandik.

Aga kui raske on saada taolist stereoskoopilist ülesvõtet meie kaaslasest — seda paljud ei aimagi. Selle valmistamiseks peab öise valgusallika kapriissete liikumiste iseärasustega hästi tuttav olema.

Asi seisab selles, et Kuu käib ümber Maa niimoodi, et ta on viimase poole pööratud kogu aja ühe ning sama küljega. Ümber Maa tiireldes Kuu pöörleb ka ümber

oma telje samal ajal, kusjuures mõlemad liikumised teostuvad ühe ning sama ajavahemiku vältel.

Joonisel 39 te näete ellipsit, mis peab näitlikult kujutama Kuu orbiiti. Joonisel on kuuellipsi väljavenitatust meelega suurendatud, tegelikult on Kuu orbiidi ekstsentrilisus 0,055 ehk $^1/_{18}$. Kuu orbiiti väikesel joonisel täpselt kujutada niimoodi, et silm eraldaks seda ringist, on võimatu: kui suure pooltelje pikkus oleks isegi terve meeter, siis väike pooltelg oleks temast lühem kõigest 1,5 mm; Maa oleks keskpunktist vaid 5,5 cm kaugusel. Selleks et edasisest selgitusest oleks hõlpsam aru saada, on joonisel esitatud väljavenitatum ellips.



Joon. 39. Kuidas Kuu liigub ümber Maa oma orbiiti mööda. (Üksikasjad tekstis.)

Niisiis kujutlege, et ellips joonisel 39 on Kuu tee ümber Maa. Maa asub punktis *O* — ühes ellipsi fookustest. Kepleri seadused ei kehti mitte üksnes planeetide liikumiste kohta ümber Päikese, vaid ka kaaslaste liikumiste kohta ümber emaplaneetide, näiteks Kuu tiirlemise kohta. Kepleri teise seaduse kohaselt läbib Kuu veerandi kuu jooksul sellise tee *AE*, et pindala *OABCDE* oleks võrdne $^1/_4$ ellipsi pindalaga, s. o. pindalaga *MABCD* (pindalade *OAE* ja *MAD* võrdsus leiab meie joonisel kinnitust pindalade *MOQ* ja *EQD* ligikaudse võrdsuse läbi). Niisiis veerandi kuu vältel Kuu käib läbi tee punktist *A* punktini *E*. Kuu pöörlemine aga, nagu üldse planeetide pöörlemine, erinevalt nende tiirlemisest ümber Päikese, toimub ühtlaselt: $^1/_4$ kuu kestel ta pöördub täpselt 90° võrra. Seepärast, kui Kuu on punktis *E*, joonistab Kuu raadius, mis punktis *A* oli suunatud Maa poole, 90°-lise kaare ja ei ole suunatud punkti *M* poole, vaid mingi teise punkti poole, mis on punktist *M* vasakul ega ole kaugel Kuu orbiidi teisest fookusest *P*. Seetõttu et Kuu pöörab oma näo pisut kõrvale maapealsest vaatlejast, võib viimane näha paremalt poolt kitsast ribakest tema enne nähtamatust poolest. Punktis *F* näitab Kuu maapealsele vaatlejale juba kitsamat ribakest oma tavaliselt nähtamatust kül-

jest, sest et nurk *OFP* on väiksem nurgast *OEP*. Punktis *G* — orbiidi «apogees» — võtab Kuu samasuguse asendi Maa suhtes, nagu see oli «perigees» *A*. Oma edasisel liikumisel pöördub Kuu Maast kõrvale juba vastupidisele poolele, näidates meie planeedile teist ribakest oma nähtamatust küljest: see ribake algul laieneb, pärast kitseneb, ja punktis *A* võtab Kuu endise asendi.

Me veendusime, et Kuu tee elliptilise kuju tõttu ei ole meie kaaslane Maa poole pööratud rangelt oma ühe ja sellesama poolega. Kuu pole alatiselt ühe ning sellesama küljega pööratud Maa poole, vaid oma orbiidi teise fookuse poole. Meie suhtes ta aga kõigub keskasendi ümber kaalude taoliselt; sellest tuleb ka selle kõikumise astronoomiline nimetus: «libratsioon» — ladinakeelsest sõnast «libra», mis tähendab «kaale». Libratsiooni suurust igas punktis mõõdetakse vastava nurgaga; näiteks punktis *E* on libratsioon võrdne nurgaga *OEP*. Libratsiooni suurim väärtus on 7°53′, s. t. peaaegu 8°.

Huvitav on jälgida seda, kuidas kasvab ja kahaneb libratsiooninurk Kuu edasiliikumisel mööda orbiiti. Asetame sirkli teraviku punkti *D* ja tõmbame kaare, mis läbib fookusi *O* ja *P*. See kaar lõikab orbiiti punktides *B* ja *F*. Nurgad *OBP* ja *OFP* kui piirdenurgad on võrdsed poolega kesknurgast *ODP*. Sellest järeldame, et Kuu liikumisel punktist *A* punktini *D* libratsioon kasvab algul kiiresti, punktis *B* saavutab poole maksimaalsest väärtusest ja seejärel jätkab kasvamist aeglasemalt; teel punktist *D* punktini *F* libratsioon kahaneb algul aeglaselt, pärast kiiresti. Ellipsi teisel poolel libratsioon muudab oma suurust niisamasuguse tempoga, kuid vastupidisele poolele. (Libratsiooni suurus orbiidi igas punktis on ligikaudu võrdeline Kuu kaugusega ellipsi suurteljest.)

Seda Kuu kõikumist, mida me praegu vaatlesime, nimetatakse libratsiooniks pikkuses. Meie kaaslane on allutatud veel teiselegi libratsioonile — laiuses. Kuu orbiidi-tasapind on Kuu ekvaatori-tasapinna suhtes $6\frac{1}{2}°$ all kaldu. Seepärast me näeme Maalt Kuud ühtedel juhtudel veidi lõuna poolt, teistel juhtudel — põhja poolt, heites pisut pilku Kuu «nähtamatule» poolele üle tema pooluste. See libratsioon laiuses ulatub $6\frac{1}{2}°$-ni.

Selgitame nüüd, kuidas kasutab astronoom-fotograaf Kuu kirjeldatud kergeid kõikumisi keskasendi ümber,

selleks et saada tema stereoskoopilisi ülesvõtteid. Lugeja aimab tõenäoliselt, et selleks on vaja tabada kaks niisugust Kuu asendit, mille puhul ta oleks ühes asendis pööratud teise suhtes piisava nurga võrra *. Punktides *A* ja *B*, *B* ja *C*, *C* ja *D* jne. võtab Kuu Maa suhtes sedavõrd erinevad asendid, et stereoskoopilised ülesvõtted on võimalikud. Ent siin on meie ees uus raskus: nendes asendites on vahe kuu vanuses, $1^1/_2$—2 ööpäeva, liiga suur, nii et riba kuupinnast valguse ja varju piiri kõrval tuleb ühel ülesvõttel juba varjust välja. See on stereoskoopiliste ülesvõtete puhul lubamatu (riba hakkab hiilgama nagu hõbedane). Kerkib üles raske ülesanne: tabada ühesugused Kuu faasid, mis erinevad libratsiooni (pikkuses) suuruse poolest nii, et valguse ja varju piir läbiks ühtesid ja neidsamu kuupinna detaile. Kuid sellestki pole küllalt: mõlemas asendis peavad olema veel ühesugused libratsioonid l a i u s e s.

Te näete nüüd, kui raske on saada häid stereofotosid Kuust, ja ärge imestage, kui saate teada, et tihti tehakse üks stereoskoopilise paari ülesvõte teisest mitu aastat hiljem.

Vaevalt hakkab meie lugeja valmistama stereofotosid Kuust. Nende saamise viisi ei ole siin selgitatud muidugi mitte praktiliseks otstarbeks, vaid ainult selleks, et selle tõttu vaadelda Kuu liikumise iseärasusi, mis annavad astronoomidele võimaluse näha väikest riba meie kaaslase sellest küljest, mis on vaatlejale harilikult ligipääsmatu. Tänu Kuu mõlemale libratsioonile me ei näe üldkokkuvõttes mitte poolt kogu kuupinnast, vaid 59% temast. Täiesti kättesaamatuks meie nägemisele jääb 41%. Missugune on Kuu pinna selle osa ehitus, ei tea keegi; võib vaid arvata, et ta mitte millegi poolest oluliselt ei erine nähtavast osast. On tehtud teravmeelseid katseid visandada oletuslikult mõningaid üksikasju meile ligipääsmatust poolest, pikendades Kuu mäeahelike osi ja heledaid vööte, mis tulevad Kuu nähtamatust osast nähtavasse. Taolisi oletusi pole esialgu võimalik kontrollida. Me ei ütle «esialgu» ilma aluseta: juba ammu töötatakse välja viise Kuu ümber lendamiseks erilisel lennuaparaadil, mis on võimeline Maa raskusjõudu ületama ja planeetidevahelises ruumis liikuma (vt. minu

* Stereoskoopiliste ülesvõtete saamiseks piisab Kuu pöördest 1° võrra. (Üksikasjalisemalt selle kohta vt. minu «Huvitavast füüsikast».)

raamatut «Planeetidevahelised reisid»). Selle julge ürituse teostamine ei ole praegu enam kuigi kaugel. Seni on teada üht: sageli väljendatav mõte atmosfääri ja vee olemasolust sellel Kuu nähtamatul küljel on täiesti põhjendamatu ning vastuolus füüsika seadustega: kui atmosfääri ja vett ei ole Kuu ühel küljel, siis neid ei saa olla ka teisel küljel (selle küsimuse juurde me tuleme veel tagasi).

Teine Kuu ja Kuu kuu

Ajakirjanduses ilmub aeg-ajalt teateid, et sellel või teisel vaatlejal on õnnestunud näha Maa teist kaaslast, tema teist Kuud. Olgugi et taolised avaldused ei ole kordagi kinnitust leidnud, on siiski huvitav peatuda sellel teemal.

Küsimus Maa teise kaaslase olemasolust ei ole uus. Tal on seljataga pikk ajalugu. Kes on lugenud Jules Verne'i romaani «Kahurist Kuule», see mäletab tõenäoliselt, et juba seal mainitakse teist Kuud. See on nii väike ja tema kiirus on nii suur, et Maa elanikud ei saa teda vaadelda. «Prantsuse astronoom Petit,» ütleb Jules Verne, «arvas, et see on olemas, ja määras kindlaks tema tiirlemisperioodi ümber Maa, mis on 3 tundi 20 min. Tema kaugus Maa pinnast on 8140 km.» Huvitav, et inglise ajakiri «Teadus» artiklis Jules Verne'i astronoomia kohta peab viidet Petit'le nagu Petit'd ennastki lihtsalt väljamõelduks. Mitte üheski entsüklopeedias seda astronoomi tõepoolest ei mainita. Ometi ei ole romaanikirjaniku teade välja mõeldud. Toulouse'i observatooriumi direktor Petit kaitses möödunud sajandi 50-ndatel aastatel tõesti teise Kuu — meteoriidi — olemasolu, mille tiirlemisperiood on 3 tundi 20 min. ja mis ringleb, tõsi küll, mitte 8000, vaid 5000 km kaugusel Maa pinnast. Seda arvamust jagasid tollalgi vaid üksikud astronoomid, pärastpoole unustati see aga täielikult.

Teoreetiliselt ei ole oletuses, et on olemas teine, väga väike Maa kaaslane, mitte midagi ebateaduslikku. Kuid taoline taevakeha peaks nähtav olema mitte üksnes nendel harvadel momentidel, millal ta liigub (näivalt) mööda Kuu või Päikese ketast.

Isegi sellisel juhul, kui ta tiirleb niivõrd Maa ligidal, et peab iga tiiru juures sukelduma Maa laia varju, oleks

teda võimalik hommiku- ja õhtutaevas näha ereda tähena säravat Päikese kiirtes. Kiire liikumisega ja tihedate tagasipöördumistega tõmbaks see täht endale paljude vaatlejate tähelepanu. Samuti täieliku päikesevarjutuse momentidel ei jääks teine Kuu astronoomidel kahe silma vahele.

Ühe sõnaga, kui Maal oleks tõesti teine kaaslane, siis oleks teda võimalik üsna tihti tähele panna. Siinjuures aga olgu tähendatud, et vaieldamatuid tähelepanekuid ei ole olnud mitte ühtegi.

Teise Kuu probleemi kõrval kerkis üles ka küsimus selle kohta, kas ei ole ehk meie Kuul oma väikest kaaslast — «Kuu kuud».

Kuu selletaolise kaaslase olemasolu vahetult kindlaks teha on aga väga raske. Astronoom Moulton väljendab selle kohta järgmisi kaalutlusi:

«Kui Kuu paistab täiel valgusel, siis tema või Päikese valgus ei võimalda tema naabruses eraldada väga väikest keha. Üksnes kuuvarjutuste momentidel saaks Kuu kaaslane olla Päikesest valgustatud samal ajal, kui taeva naaberalad oleksid vabad Kuu hajutatud valguse mõjust. Sel kombel võiks vaid kuuvarjutuste ajal loota ümber Kuu tiirleva väikese keha avastamist. Sedalaadi uurimusi on juba teostatud, kuid reaalseid tulemusi need ei ole andnud.»

Miks Kuul ei ole atmosfääri?

See küsimus kuulub nende hulka, mis selguvad siis, kui neid esiotsa niiöelda ümber pöörata. Enne kui rääkida sellest, miks Kuu ei pea enda ümber atmosfääri kinni, esitame küsimuse: miks säilib atmosfäär meie endi planeedi ümber? Meenutame, et õhk nagu iga teinegi gaas kujutab omavahel sidumata ja kiiresti erisugustes suundades liikuvate molekulide kaost. Nende keskmine kiirus 0° juures on $^1/_2$ km ümber sekundis (püssikuuli kiirus). Mispärast nad siis ei lenda maailmaruumi laiali? Selsamal põhjusel, miks ei lenda maailmaruumi püssikuulgi. Olles kulutanud oma liikumisenergia raskusjõu ületamiseks, langevad molekulid tagasi Maa peale. Kujutlege maapinna lähedal molekuli, mis lendab püstloodis üles kiirusega $^1/_2$ km sekundis. Kui kõrgele üles võib see lennata? Seda pole raske välja arvutada: kiirus

v, tõusu kõrgus h ja raskuskiirendus g on seotud järgmise valemiga:

$$v^2 = 2gh.$$

Asetame v asemele tema väärtuse 500 m/sek, g asemele 10 m/sek^2; saame

$$250\,000 = 20\,h,$$

kust

$$h = 12\,500 \text{ m} = 12^1/_2 \text{ km}.$$

Ent kui õhu molekulid ei saa lennata kõrgemale kui $12^1/_2$ km, kust siis saavad õhu molekulid sellest piirist kõrgemale? Tekkis ju hapnik, mis kuulub meie atmosfääri koosseisu, maapinna lähedal (süsihappegaasist taimede tegevuse läbi). Milline jõud tõstis ja hoiab neid kinni 500 ja enam kilomeetri kõrgusel, kus õhu jälgede olemasolu on kahtlusteta kindlaks tehtud? Füüsika annab siin sama vastuse, mida me kuuleksime statistikult, kui me küsiksime temalt: «Inimelu keskmine pikkus on 40 aastat; kust tulevad siis 80-aastased vanakesed?» Kogu asi seisab selles, et meie poolt teostatud arvutused kehtivad k e s k m i s e, mitte aga reaalse molekuli kohta. Keskmise molekuli kiirus on $^1/_2$ km sekundis, ent reaalsetest molekulidest liiguvad ühed aeglasemalt, teised kiiremini kui keskmine. Tõsi küll, nende molekulide protsent, mille kiirus kaldub keskmisest tunduvalt kõrvale, ei ole suur ning kahaneb kiiresti selle kõrvalekaldumise suuruse kasvamisel. Kogu molekulide hulgast, mis leiduvad antud hapniku ruumalas 0° juures, omavad vaid 20% kiiruse 400 kuni 500 m sekundis; umbes niisama palju molekule liigub kiirusega 300—400 m/sek, 17% kiirusega 200—300 m/sek, 9% kiirusega 600—700 m/sek, 8% kiirusega 700—800 m/sek, 1% kiirusega 1300—1400 m/sek. Väikesel osal (vähem kui miljondikul) molekulidest on kiirus 3500 m/sek, ent see kiirus on küllaldane selleks, et molekulid võiksid lennata koguni 600 km kõrgusele. Tõepoolest, $3500^2 = 20\,h$, kust $h = \frac{12250000}{20}$ s. o. üle 600 km.

Saab mõistetavaks hapniku osakeste viibimine sadade kilomeetrite kõrgusel maapinnast: see tuleneb gaaside füüsikalistest omadustest. Hapniku, lämmastiku, veeauru ja süsihappegaasi molekulidel ei ole siiski selliseid kiirusi, mis lubaksid nendel maakeralt hoopis lahkuda.

Selleks on tarvis kiirust, mis on vähemalt 11 km sekundis, aga sellised kiirused on madalate temperatuuride juures vaid üksikutel nimetatud gaaside molekulidel, seepärast hoiabki Maa oma atmosfäärkatet nii kindlasti kinni. On välja arvutatud, et Maa atmosfääri kõige kergemagi gaasi — vesiniku — tagavarast poole kaotamiseks peab mööduma aastate hulk, mis avaldub 25 numbriga. Miljonid aastad ei too mingit muutust Maa atmosfääri koostisse ja massi.

Selleks et selgitada nüüd, mispärast Kuu ei saa enda ümber kinni pidada selletaolist atmosfääri, ei jää enam palju öelda. Raskusväli on Kuul kuus korda nõrgem kui Maal; sellele vastavalt on seal ka raskusjõu ületamiseks vajalik kiirus väiksem ja on kõigest 2360 m/sek. Kuna aga hapniku ja lämmastiku molekulide kiirus võib mõõdukal temperatuuril seda suurust ületada, siis on arusaadav, et Kuu peaks oma atmosfääri pidevalt kaotama, kui see temal tekiks. Kui lendavad ära kõige kiiremad molekulide hulgast, siis omandavad kriitilise kiiruse teised molekulid (niisugune on järeldus gaasiosakeste kiiruste jaotumise seadusest), ja maailmaruumi peavad tagasipöördumatult lipsama ikka uued ja uued atmosfäärkatte osakesed. Küllaldase ajavahemiku möödumisel, mis on tühine maailmaehitise ulatuses, lahkub kogu atmosfäär niivõrd nõrga külgetõmbevõimega taevakeha pinnalt.

Saab matemaatiliselt tõestada, et kui molekulide keskmine kiirus planeedi atmosfääris on isegi kolm korda väiksem piirkiirusest (s. t. on Kuu jaoks 2360 : 3 = 790 m/sek), siis peab niisugune atmosfäär poole peale kahanema mõne nädala jooksul. (Taevakeha atmosfäär võib stabiilselt säilida vaid sel tingimusel, et selle molekulide keskmine kiirus on väiksem kui üks viiendik piirkiirusest.)

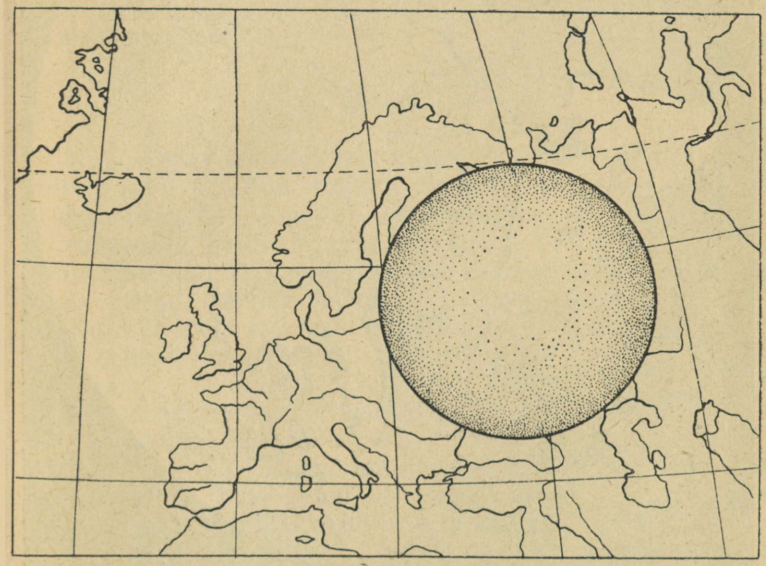
On avaldatud mõtteid — õigemini unistusi —, et aja jooksul, kui maapealne inimkond külastab Kuud ning alistab selle, ümbritseb ta Kuu kunstliku atmosfääriga ja teeb ta sel kombel elamiskõlblikuks. Peale öeldut peab lugejale selge olema taolise ürituse teostamatus. Atmosfääri puudumine meie kaaslasel ei ole juhus ega looduse kapriis, vaid füüsika seaduste seaduspärane järeldus.

Samuti on arusaadav, et põhjused, mille tõttu atmosfääri

olemasolu on võimatu Kuul, peavad tingima selle puudumise üldse kõigil taevakehadel, millel on nõrk raskusväli: asteroididel ja enamikul planeetide kaaslastest. *

Kuumaailma mõõtmed

Sellest räägivad muidugi täieliku selgusega arvulised andmed: Kuu diameetri suurus (3500 km), pindala ja ruumala suurus. Ent arvud, mis on asendamatud arvutuste

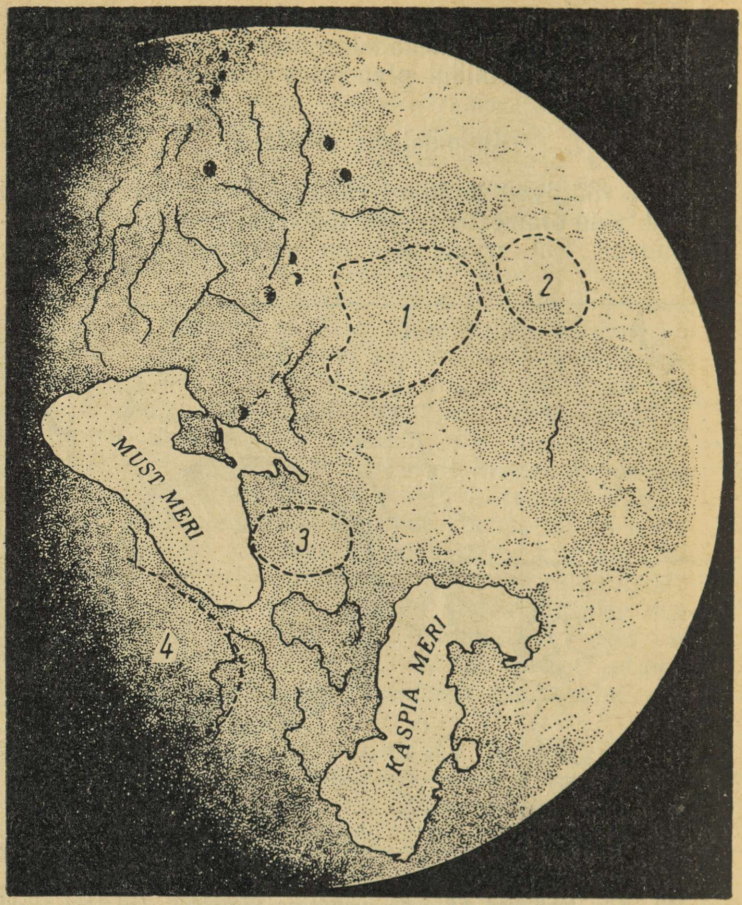


Joon. 40. Kuu mõõtmed Euroopa mandriga võrreldes. (Ei tohi siiski järeldada, et kuukera pindala on Euroopa pindalast väiksem.)

juures, on võimetud andma mõõtmetest seda näitlikku ettekujutust, mida nõuab meie kujutlus. Selleks on kasulik pöörduda konkreetsete kõrvutamiste poole.

Võrdleme kuumandrit (Kuu on ju katkematu manner) maakera mandritega (joon. 40). See ütleb meile rohkem kui abstraktne väide, et kuukera kogupindala on 14 korda

* 1948. a. avastas Moskva astronoom J. N. Lipski atmosfääri jälgede olemasolu Kuul. Kuu atmosfääri kogu mass ei ole suurem ühest sajatuhandikust Maa atmosfäärist. (*Toim. märkus.*)



Joon. 41. Maa mered võrrelduna Kuu meredega. Must ja Kaspia meri, viidud üle Kuu peale, oleksid seal suuremad kõigist Kuu meredest. (Numbritega on märgitud: *1* — Pilvede meri, *2* — Niiskuse meri, *3* — Aurude meri, *4* — Selguse meri.)

väiksem kui maakera pindala. Ruutkilomeetrite arvu järgi on meie kaaslase pindala vaid pisut väiksem kui mõlema Ameerika pindala kokku. Kuu see osa aga, mis on pööratud Maa poole ja on meie vaatlustele kättesaadav, on peaaegu täpselt võrdne Lõuna-Ameerika pindalaga.

Selleks et teha kujukamateks Kuu «merede» mõõtmeid, võrreldes Maa merede omadega, on siin (joon. 41) Kuu kaardile paigutatud samas mõõtkavas Musta ja Kaspia mere kontuurid. Kohe on näha, et Kuu «mered» ei ole eriti suured, kuigi nad võtavad enda alla tunduva osa kettast. Selguse meri näiteks (170 000 km^2) on ligikaudu 2^1/$_2$ korda Kaspia merest väiksem.

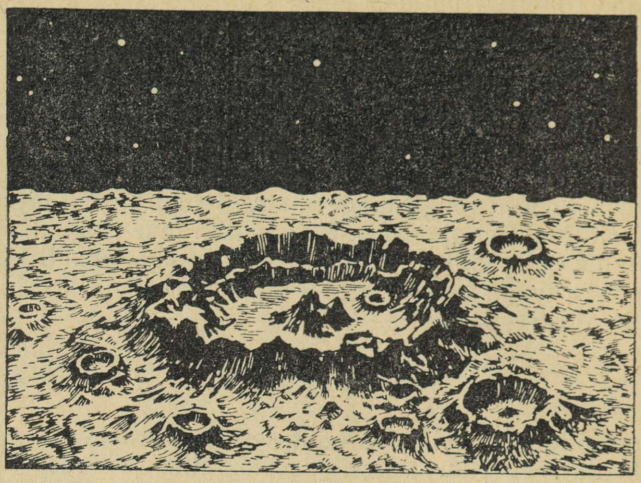
Seevastu Kuu rõngasmägede seas leidub tõelisi gigante, milliseid Maal ei ole. Näiteks Grimaldi mäe ringvall ümbritseb maa-ala, mille pindala on suurem kui Baikali järvel. Selle mäe sisse võiks tervenisti mahtuda väike riik, näiteks Belgia või Šveits.

Kuumaastik

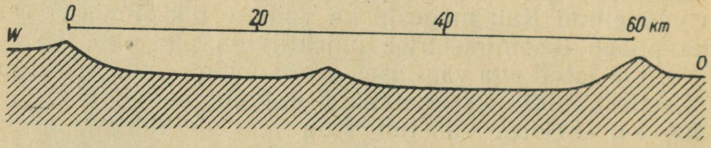
Kuu pinna fotosid reprodutseeritakse raamatutes niivõrd tihti, et Kuu reljeefi iseloomulike iseärasuste — rõngasmägede (joon. 42) ehk «tsirkide» — vaade on tuttav tõenäoliselt igaühele meie lugejatest. Võimalik, et mõned on vaadelnud Kuu mägesid ka väikese pikksilmaga; selleks piisab 3-sentimeetrise objektiiviga pikksilmast.

Kuid ei fotod ega vaatlused teleskoobiga anna ettekujutust sellest, missugusena näiks Kuu pind vaatlejale K u u l e n e s e l. Seistes vahetult Kuu mägede kõrval, näeks vaatleja neid teises perspektiivis kui teleskoobiga. Üks asi on vaadelda asja suurest kõrgusest ja hoopis teine — lähedal kõrvalt. Näitame mõne näite varal, milles ilmneb see erinevus. Eratosthenese mägi paistab Maalt vaadatuna rõngakujulise vallina, mille sees on mäetipp. Teleskoobis ta joonistub reljeefselt ning teravalt, tänu selgepiirilistele, laiali valgumata varjudele. Kuid heitke pilk tema profiilile (joon. 43): te näete, et võrreldes tsirgi määratu suure läbimõõduga — 60 km — on valli ja selle sees asuva koonuse kõrgus väga väike; veerude liuskus varjab veel enam nende kõrgust.

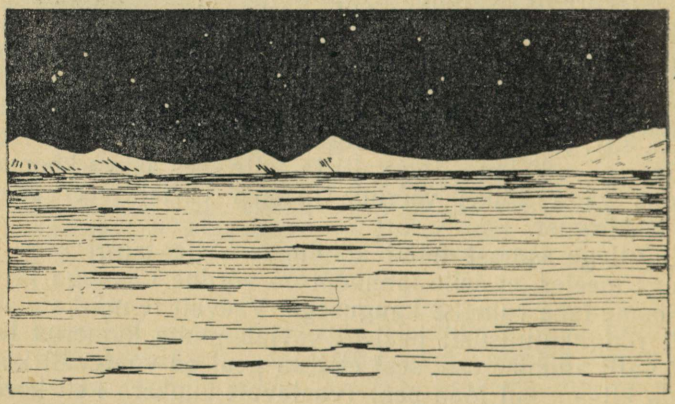
Kujutlege ennast nüüd kõndimas selle tsirgi sees ja pidage meeles, et selle läbimõõt on võrdne Laadoga järve ja Soome lahe vahelise kaugusega. Vaevalt te märkate siis valli rõngakujulisust; pealegi varjab pinna kumerus teie eest valli alumise osa, sest et Kuu peal on vaateväli kaks korda kitsam kui Maa peal (vastavalt kuukera neli korda väiksemale diameetrile). Maa peal ei saa keskmise kasvuga inimene, seistes tasasel maastikul, näha enda ümber



Joon. 42. Kuu tüüpilised rõngasmäed.



Joon. 43. Suure rõngasmäe profiil.



Joon. 44. Millist pilti näeks vaatleja, kes asuks suure rõngasmäe keskpunktis Kuul.

kaugemale kui 5 km. See tuleneb horisondi kauguse valemist. *

$$D = \sqrt{2Rh},$$

kus D on kaugus kilomeetrites, h — silma kõrgus kilomeetrites, R — planeedi raadius kilomeetrites.

Asetades sellesse andmed Maa jaoks ja Kuu jaoks, saame teada, et horisondi kaugus on keskmise kasvuga inimese jaoks

Maa peal . . . . . 4,8 km,
Kuu peal . . . . . 2,5 km.

Missugune pilt avaneks vaatlejale Kuu suure tsirgi sees, seda näitab joonis 44. (Maastik on kujutatud teise suure tsirgi — Arhimedese tsirgi järgi.) Kas pole tõsi: avar tasandik kinkude ahelaga vaatepiiril on vähe sarnane sellega, mida endale sõnade «Kuu tsirk» juures tavaliselt ette kujutatakse?

Sattudes teisele poole valli, tsirgist väljapoole, ei näeks vaatleja samuti seda, mida ta ootab. Rõngasmäe väline nõlv (vrd. joon. 43) tõuseb niivõrd veerjalt, et ta teekäijale üldse mäena ei näi ja, mis peaasi, ta ei saa veenduda, et tema poolt nähtav kinkude ahel on rõngasmägi, millel on ümmargune nõgu. Selleks tuleb minna üle tema harja, kuid ka seal, nagu me juba selgitasime, ei oota kuualpiniste mitte midagi tähelepanuväärset.

Peale määratu suurte rõngasmägede leidub Kuul, tõsi küll, ka hulga väikseid tsirke, mida on hõlpus pilguga haarata koguni vahetus läheduses seistes. Nende kõrgus aga on tühine; vaevalt üllatab vaatlejat siin midagi ebatavalist. Seevastu Kuu mäeahelikud, mis kannavad maapealsete mägede nimesid: Alpid, Kaukasus, Apenniinid jne., võistlevad maapealsetega kõrguses ja ulatuvad 7—8 km-ni. Võrdlemisi väikesel Kuul näevad nad välja üsna aukartustäratavad.

Atmosfääri puudumine Kuul ja sellega seotud varjude teravus tekitavad pikksilmaga vaatlemisel huvitava illusiooni: väikseimadki pinnakonarused tugevnevad ja näivad väga reljeefsetena. Pange poolik hernetera kumerusega ülespoole. Kas ta on suur? Aga vaadake, millise pika varju

* Horisondi kauguse väljaarvutamise kohta vt. minu «Huvitavast geomeetriast» peatükki «Kus taevas ühtub maaga».

Joon. 45. Poolik hernetera heidab kõrvalt valgustamisel pika varju.



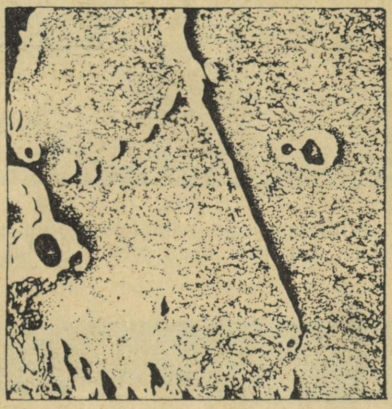
Joon. 46. Pico mägi paistab teleskoobis järsu ning teravana.



Joon. 47. Kuupinnal asuvale vaatlejale paistaks Pico mägi lamedana.

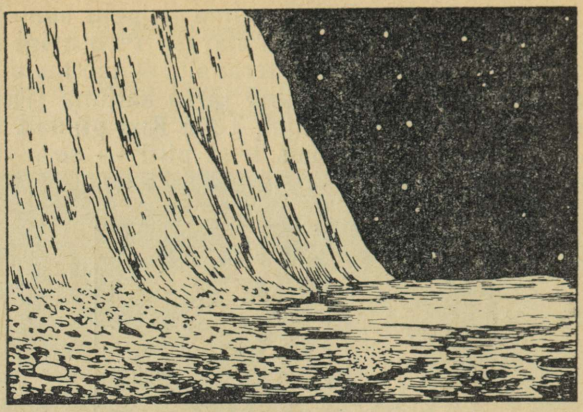
ta heidab (joon. 45). Külgvalgustuse puhul on vari Kuu peal 20 korda suurem selle keha kõrgusest, mis heidab selle varju, ja see osutas astronoomidele hea teene: tänu pikkadele varjudele saab Kuul teleskoobiga tähele panna

30 m kõrgusi objekte. Ent seesama asjaolu sunnib meid üleliia suurendama kuupinna konarusi. Pico mägi näiteks joonistub teleskoobis niivõrd teravalt, et tahtmatult kujutad teda endale ette terava ning järsu kaljuna (joon. 46). Nii teda kujutatigi endisel ajal. Teda Kuu pinnalt vaadeldes me näeksime aga hoopis teist pilti — seda, mis on kujutatud joonisel 47.



Joon. 48. Niinimetatud «Sirge müür» Kuul (vaade teleskoobis).

Seevastu Kuu reljeefi teisi iseärasusi me, ümberpöördult, alahindame. Teleskoobiga me paneme Kuu pinnal tähele peeni, vaevaltmärgatavaid pragusid, ja meile näib, et need ei saa kuumaastikus olulist osa mängida. Meie kaaslase pinnale üle viiduna me näeksime aga nendes kohtades oma jalgade ees sügavat mustendavat kuristikku, mis laiub kaugele horisondi taha. Veel üks näide. Kuul on olemas niinimetatud «Sirge müür» — püstloodne astang, mis lõikab läbi ühe tema tasandikest. Seda seina kaardil nähes (joon. 48) me unustame, et ta on 300 m kõrge; seina jalamil viibides me oleksime rabatud tema grandioossusest. Joonisel 49 on kunstnik püüdnud kujutada seda püstloodset seina, nähtuna altpoolt: selle lõpp kaob ära kuhugi horisondi taha: ta ulatub ju 100 km kaugusele! Täpselt samuti peavad ka peened praod, mis on tugeva teleskoobi abil Kuu pinnal eraldatavad, kujutama natuuris hiiglasuuri kuristikke (joon. 50).



Joon. 49. Millisena peaks näima «Sirge müür» vaatlejale, kes asub tema jalami ligidal.



Joon. 50. Üks Kuu «pragudest», vaadelduna vahetust lähedusest.

Kuu taevas

Must taevavõlv

Kui Maa elanik võiks sattuda Kuule, siis köidaksid tema tähelepanu enne kõike muud kolm ebatavalist asjaolu. Kohe torkaks silma päevase taeva kummaline värvus

Kuu peal: tavalise helesinise kupli asemel laotuks meie kohal täiesti must taevavõlv, mis on — Päikese eredalt särades! — üle külvatud hulga tähtedega, mis paistavad selgelt välja, kuid üldse ei vilgu. Selle nähtuse põhjus seisneb atmosfääri puudumises Kuul.

«Selge ja puhta taeva helesinine võlv,» ütleb Flammarion temale omases maalilises keeles, «õrn koidupuna, ülev ehakuma, kõrbete hurmav ilu, põldude ja aasade ähmane kaugus, ja teie, järvede peegelveed, kes te iidsest ajast peegeldate eneses kauget lasuurset taevast ning mahutate tervet lõpmatust oma sügavustes, — teie olemasolu ning kogu teie kaunidus sõltub ainuüksi sellest kergest kattest, mis laotub maakera kohal. Ilma selleta ei oleks olemas mitte ühtegi nendest piltidest, mitte ühtegi nendest toredatest värvidest. Lasuursinise taeva asemel ümbritseks teid piiritu must ruum; Päikese majesteetlike tõusude ja loojangute asemel vahelduksid päevad järsku, ilma üleminekuteta öödega ning ööd päevadega. Õrna poolvalguse asemel, mis valitseb kõikjal, kuhu Päikese pimestavad kiired ei lange otseselt, oleks ere valgus vaid nendes kohtades, mida päevane valgusallikas otseselt särama paneb, kõigis muudes kohtades aga valitseks tume vari.»

Piisab atmosfääri mõningasest hõrenemisest, selleks et taeva helesinine värvus märgatavalt tumeneks. Traagiliselt hukkunud nõukogude stratostaadi «Osoaviahim» meeskond nägi 21 km kõrgusel enese kohal peaaegu musta taevast. Looduse valgustamise fantastiline pilt, mida on kujutatud eespooltoodud katkendis, teostub täielikult Kuu peal: must taevas, koidu ja eha puudumine, valgustatud kohtade silmipimestav eredus ja varjude niisama järsk, pooltoonideta tumedus.

Maa Kuu taevas

Teiseks vaatamisväärsuseks Kuul on taevas rippuv määratu suur Maa ketas. Reisijale paistab kummalisena, et seesama maakera, mis äralennul Kuule oli *alla* jäetud, on siin äkki *üles* sattunud.

Universumis ei ole kõigi maailmade jaoks ühtainust ülemist ja alumist osa, ja teid ei pea imestama panema, et, jätnud Maa allapoole, te näeksite teda Kuul viibides üleval.

Kuu taevas rippuv Maa ketas on hiiglasuur: tema läbimõõt on umbes neli korda suurem meile tuttava kuuketta läbimõõdust Maa taevas. See on kolmas rabav fakt, mis ootab Kuule reisijat. Kui meie maastikud on kuuvalgetel öödel küllalt hästi valgustatud, siis kuupealsed ööd kuukettast 14 korda suurema täismaa kiirtes peavad olema ebatavaliselt valged. Taevakeha heledus ei olene üksnes tema diameetrist, vaid ka tema pinna peegeldamisvõimest. Selles suhtes ületab maapind kuupinna kuuekordselt *; seepärast peab täismaa paiste valgustama Kuud 90 korda tugevami kui täiskuu valgustab Maad. «Maavalgetel öödel» oleks Kuu peal võimalik peent trükki lugeda. Kuu pinnase valgustamine Maa poolt on niivõrd ere, et lubab meil 400 000 km kauguselt eristada kuukera öist osa ähmase helenduse näol seespool kitsast sirpi; see kannab Kuu «tuhkvalguse» nimetust. Kujutlege, et 90 täiskuud valavad taevast alla oma valgust, ja võtke veel arvesse, et meie kaaslasel puudub atmosfäär, mis neelab osa valgust, ja te saate teatava ettekujutuse muinasjutulisest pildist, mida pakuvad keset ööd täismaa säraga üle valatud kuumaastikud.

Kas kuupealne vaatleja saaks maakettal eraldada mandrite ja ookeanide piirjooni? On levinud eksiarvamus, nagu kujutaks Maa Kuu taevas midagi kooligloobuse taolist. Nii teda ka kunstnikud kujutavad, kui neil tuleb joonistada maakera maailmaruumis: mandrite kontuuridega, lumimütsiga polaaraladel ja muude selliste üksikasjadega. Kõik see tuleb kanda fantaasia valdkonda. Maakeral ei saa väljastpoolt vaatlemisel selliseid detaile eraldada. Meie atmosfäär ise hajutab tugevasti päikese kiiri, rääkimata juba pilvedest, mis harilikult katavad kinni poole maakera pinnast; seepärast peab Maa paistma niisama eredana ja pilgule niisama läbitungimatuna nagu Veenus. Seda küsimust uurinud Pulkovo astronoom G. A. Tihhov kirjutab:

---

*. Kuu pinnas ei ole järelikult hoopiski mitte valge, nagu tavaliselt arvatakse, vaid pigem tume. See ei ole vastuolus selle faktiga, et ta hiilgab valge valgusega. «Päikesevalgus, isegi mustalt esemelt peegeldatud, jääb valgeks. Kui Kuu oleks rüütatud kõige mustemasse sametisse, ikkagi ilutseks ta taevas hõbedase kettana,» kirjutab Tyndall oma raamatus valguse kohta. Kuu pinnase võime hajutada teda valgustavaid päikesekiiri on läbistikku ühesugune tumedate vulkaaniliste kivimite hajutamisvõimega.

«Vaadates Maad ruumist, me näeksime tugevalt valkjashalli taevakarva ketast, ja vaevalt et me eraldaksime mingisuguseid pinna enda üksikasju. Hiiglasuure osa Maale langevast päikesevalgusest jõuavad atmosfäär ja kõik selle lisandid hajutada ruumis enne kui see pääseb Maa enda pinnani. See osa aga, mis peegeldatakse pinna enda poolt tagasi, jõuab jällegi tugevasti nõrgeneda uue hajumise tõttu atmosfääris.»

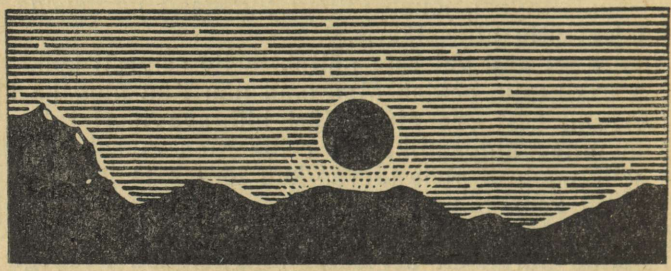
Niisiis sel ajal kui Kuu näitab meile selgesti kõiki oma pinna üksikasju, peidab Maa oma näo Kuu ning ka kogu universumi eest ära atmosfääri hiilgava loori taha.

Kuu õine valgusallikas ei erine Maa omast aga üksnes selle poolest. Meie taevas kuu tõuseb ja loojub, käies oma teed koos tähisvõlviga. Maa Kuu taevas niiviisi ei liigu. Ta ei tõuse seal ega looju, ei võta osa tähtede kooskõlastatud äärmiselt aeglasest rongkäigust. Peaaegu liikumatult ripub ta taevas, asudes Kuu iga punkti jaoks kindlas asukohas, sel ajal kui tähed aeglaselt t e m a t a g a l i u g l e v a d. See on järeldus meie poolt juba vaadeldud Kuu liikumise iseärasusest, mis seisneb selles, et Kuu on pööratud Maa poole alati oma pinna ühe ning sellesama osaga. Kuupealse vaatleja jaoks ripub Maa peaaegu liikumatult taevavõlvil. Kui Maa seisab mingil Kuu kraatril seniidis, siis ta ei lahku iialgi oma seniitasendist. Kui ta mingist punktist on nähtav horisondil, jääb ta igavesti selle koha horisondile. Üksnes Kuu libratsioonid, millest me juba vestlesime, rikuvad veidi seda liikumatust. Tähistaevas sooritab maaketta taga oma aeglast, $27^1/_3$ meie ööpäeva kestvat pöörlemist, Päike käib ringi ümber taeva $29^1/_2$ ööpäevaga, planeedid sooritavad samasuguseid liikumisi, ja vaid Maa üksi on mustal taeval peaaegu liikumatult paigal.

Ent jäädes ühele kohale, pöörleb Maa kiiresti, 24 tunni vältel, ümber oma telje, ja kui meie atmosfäär oleks läbipaistev, võiks Maa olla sobivaimaks taevakellaks tulevastele planeetidevaheliste laevade reisijatele. Peale selle on Maal niisamasugused faasid, nagu neid näitab Kuu meie taevas. Järelikult ei sära meie Maa Kuu taevas alati täiskettana: ta ilmub nähtavale kord poolringina, kord enam või vähem kitsa sirbina, kord ebatäieliku ringina, vastavalt sellele, milline osa Päikesest valgustatud Maa poolest on pööratud Kuu poole. Joonestanud üles Päikese, Maa ja Kuu vastastikuse asetuse, te veen-

dute hõlpsasti, et Maa ja Kuu peavad teineteisele vastupidiseid faase näitama.

Kui meil on kuuloomine, peab vaatleja Kuu peal nägema Maa täisketast — «täismaad»; seevastu siis, kui meil on täiskuu, on Kuu peal «maaloomine» (joon. 51).



Joon. 51. «Maaloomine» Kuu taevas. Maa musta ketast ümbritseb ereda äärisena Maa helendav atmosfäär.

Kui me näeme noorkuu kitsast sirpi, saaks Kuu pealt imetleda kahanevat Maad, kusjuures täiskettast on puudu just selline sirp, millist näitab meile sel momendil Kuu. Muuseas, Maa faasid ei ole nii teravalt piiritletud kui Kuu omad: Maa atmosfäär hajutab valguse piiri laiali ja loob selle järk-järgulise ülemineku päevalt ööle ning ümberpöördult, mida me Maa peal tähele paneme hämarike näol.

Maa faaside teine erinevus Kuu omadest seisneb järgmises. Maa peal me ei näe Kuud kunagi otse tema loomise momendil. Kuigi ta seejuures on harilikult Päikesest kõrgemal või madalamal (vahel 5° võrra, s. t. 10 oma läbimõõdu võrra), nii et kuukera kitsas Päikesest valgustatud serv võiks olla nähtav, on ta ometi kättesaamatu meie nägemisele: Päikese helk neelab noorkuu hõbedase niidi tagasihoidliku paiste. Me märkame noorkuud harilikult alles kahe ööpäeva möödudes, kui ta jõuab eemalduda küllaldase kauguseni Päikesest, ja vaid harvadel juhtudel (kevadel) ühe ööpäeva möödudes. Seda aga ei juhtu «maaloomise» vaatlemisel Kuult: seal ei ole atmosfääri, mis hajutaks päikesekiiri ja looks päevase valgusallika ümber särava oreooli. Tähed ja planeedid ei kao seal Päikese kiirtes, vaid paistavad taevas sel-

gelt välja selle vahetus naabruses. Seepärast, kui Maa ei ole otse Päikese ees (s. t. mitte varjutuse momentidel), vaid pisut kõrgemal või madalamal sellest, siis ta on alati nähtav meie kaaslase mustas, tähtedega ülekülvatud taevas õhukese sirbina, mille sarved on pööratud

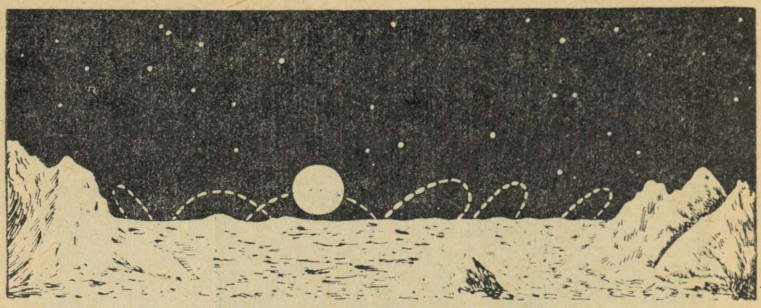


Joon. 52. «Noormaa» Kuu taevas. Valge kettake maasirbi all on Päike.

Päikesest eemale (joon. 52). Maa eemaldumisel Päikesest vasakule poole sirp justkui veereb paremale.

Nähtust, mis vastab praegu kirjeldatule, võib näha, vaadeldes Kuud väikese pikksilmaga: kuna Kuu ja Päikese keskpunktid ei asu ühel sirgel vaatleja silmaga, siis jääb kuukettal puudu kitsas sirp, mis tumeda ribana libiseb valgustatud ketta serva juures vasakule Kuu eemaldumisel paremale. Ent Maa ja Kuu näitavad alati teineteisega vastupidiseid faase; seepärast peaks kuupealne vaatleja kirjeldatud momendil nägema «noormaa» kitsast sirpi.

Me märkisime juba möödaminnes, et Kuu libratsioonid esinevad seetõttu, et Maa ei ole Kuu taevas täiesti liikumatu: ta kõigub keskasendi ümber põhja-lõuna sihis 14° võrra ja lääne-ida sihis 16° võrra. Kuu nende punktide jaoks, kus Maa on nähtav täiesti horisondil, peab meie planeet seepärast paistma loojuvana ja peatselt seejärel uuesti tõusvana, tehes kummalisi kõveraid (joon. 53). Maa selline omapärane tõusmine ja loojumine horisondi ühes kohas, käimata ümber kogu taeva, võib kesta palju maiseid ööpäevi.



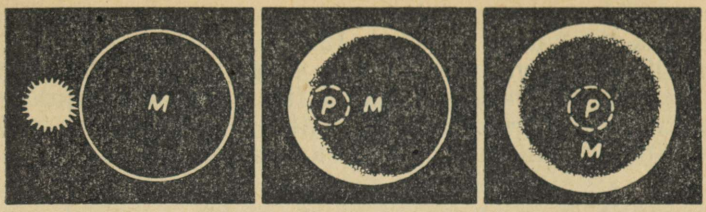
Joon. 53. Maa aeglased liikumised Kuu horisondi ligidal libratsiooni tagajärjel. Punktiirjooned on maaketta keskpunkti teed.

Varjutused Kuul

Täiendame praegu visandatud Kuu taeva pilti nende taeva-vaatepiltide kirjeldusega, mida nimetatakse varjutusteks. Kuu peal esineb kaht liiki varjutusi: päikesevarjutusi ja «maavarjutusi». Esimesed ei ole sarnased meile tuntud päikesevarjutustega, kuid on omamoodi äärmiselt efektsed. Nad toimuvad Kuu peal nendel momentidel, kui Maa peal on kuuvarjutused, sest et siis asetseb Maa sellel joonel, mis ühendab Päikese ja Kuu keskpunkte. Meie kaaslane sukeldub nendel momentidel maakera poolt heidetava varju sisse. Kes on juhtunud Kuud nägema sellistel momentidel, see teab, et Kuu ei jää valgusest täiesti ilma ega kao silmist; ta on nähtav harilikult kirsipunastes kiirtes, mis tungivad Maa varju koonusesse. Kui me siirduksime sellel momendil Kuu pinnale ja vaataksime sealt Maa peale, siis me mõistaksime selgesti punase valguse põhjust: Kuu taevas paistab maakera, asudes ereda, olgugi palju väiksema Päikese ees, musta kettana, mis on ümbritsetud oma atmosfääri purpurpunase äärisega. See ääris valgustabki varju sukeldunud Kuud punaka valgusega (joon. 54).

Päikesevarjutused ei kesta Kuu peal mitte mõningaid minuteid nagu Maa peal, vaid üle 4 tunni — niisama kaua nagu meie kuuvarjutused, ainult mitte Maa pealt, vaid Kuu pealt vaadelduna.

Mis puutub «maavarjutustesse», siis need on nii mannetud, et nad vaevalt väärivad varjutuse nime. Nad toi-



Joon. 54. Päikesevarjutuse käik Kuu peal: Päike (*P*) läheb järk-järgult maaketta (*M*) taha, mis liikumatult ripub Kuu taevas.

muvad nendel momentidel, kui Maa peal on nähtavad päikesevarjutused. Maa suurel kettal näeksid kuupealsed vaatlejad siis väikest liikuvat musta laigukest — neid maakera pinna õnnelikke piirkondi, kust saab imetleda päikesevarjutust.

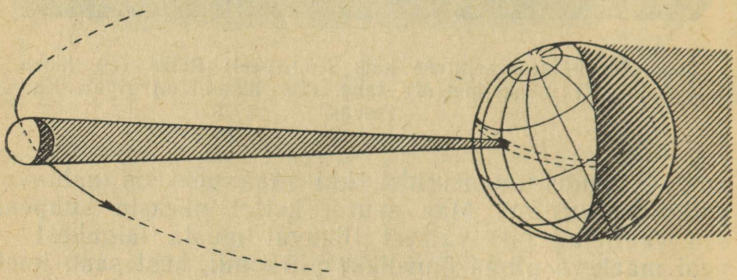
Tuleb tähendada, et selliseid varjutusi, nagu seda on meie päikesevarjutused, ei ole üldse mitte mingisuguses teises planeetide süsteemi kohas võimalik vaadelda. Selle erakordse vaatepildi eest võlgneme me tänu juhuslikule asjaolule: Kuu, mis varjab meie eest Päikese, on meile Päikesest lähemal täpselt nii mitu korda, kui mitu korda Kuu läbimõõt on Päikese omast väiksem, — see on kokkulangemine, mida ei kordu mitte ühelgi teisel planeedil.

Milleks astronoomid vaatlevad varjutusi?

Tänu praegu tähendatud juhuslikkusele ulatub varju pikk koonus, mida meie kaaslane alati enda järel veab, just maakera pinnani (joon. 55). Õigupoolest on Kuu varjukoonuse keskmine pikkus väiksem kui keskmine kaugus Kuu ja Maa vahel, ja kui me tegemist teeksime ainult keskmiste väärtustega, siis me jõuaksime järelduseni, et täielikke päikesevarjutusi ei tule meil iialgi ette. Nad toimuvad tegelikkuses seetõttu, et Kuu liigub ümber Maa mööda ellipsit ja on orbiidi ühtedes osades 42 200 km Maa pinnale lähemal kui teistes: Kuu kaugus muutub 356 900 km-st 399 100 km-ni.

Libisedes mööda maakera pinda, joonestab Kuu varju ots sellele «päikesevarjutuse nähtavuse vööndi». See vöönd ei ole laiem kui 300 km, nii et asustatud kohtade

arv, mida autasustatakse päikesevarjutuse vaatepildiga, on iga kord üsna piiratud. Kui sellele juurde lisada, et täielik päikesevarjutus kestab vaid minuteid (mitte üle kaheksa), siis saab selgeks, et täielik päikesevarjutus on erakordselt haruldane vaatepilt. Maakera igas antud punktis toimub ta üks kord kahes-kolmes sajandis.



Joon. 55. Kuu varju koonuse ots libiseb mööda maapinda; tema poolt kaetud kohtades on vaadeldav päikesevarjutus.

Õpetlased peavad päikesevarjutustele seepärast sõna tõsises mõttes jahti, korraldades eriekspeditsioone nendesse, teinekord nende jaoks väga kaugetesse maakera kohtadesse, kust seda nähtust saab vaadelda. 1936. a. päikesevarjutus (19. juunil) oli täieliku varjutusena nähtav ainult Nõukogude Liidu piirides, ja selle kaheminutilise vaatlemise pärast sõitis meile 70 välismaa õpetlast kümnest eri riigist. Seejuures nelja ekspeditsiooni vaev läks asjata kaotsi sompus ilma tõttu. Nõukogude astronoomide tööde ulatus selle varjutuse vaatlemisel oli erakordselt suur. Nõukogude ekspeditsioone oli täieliku varjutuse vööndisse saadetud 30 ümber.

1941. a. organiseeris Nõukogude valitsus sõjale vaatamata rea ekspeditsioone, kes asusid täieliku varjutuse vööndis Laadoga järvest Alma-Atani. 1947. a. sõitis aga Nõukogude ekspeditsioon Brasiiliasse 20. mai täieliku varjutuse vaatlemiseks. Eriti suure ulatuse võtsid NSV Liidus 1952. a. 25. veebruari ja 1954. a. 30. juuni täielike päikesevarjutuste vaatlused.

Olgugi et kuuvarjutused toimuvad poolteist korda harvemini kui päikesevarjutused, on nad palju sagedamini v a a d e l d a v a d. See astronoomiline paradoks seletub väga lihtsalt.

Päikesevarjutust saab vaadelda meie planeedil vaid piiratud tsoonis, mille jaoks Päike varjab ennast Kuuga; selle kitsa vööndi piirides on ta ühtede punktide jaoks täielik, teiste jaoks — osaline (s. t. Päike varjub vaid osaliselt). Päikesevarjutuse alguse moment on samuti erisugune vööndi eri punktide jaoks, mitte seepärast, et on olemas erinevus ajaarvamises, vaid seepärast, et Kuu vari libiseb mööda maakera pinda ja erinevad punktid kattuvad temaga eri ajal.

Hoopis teisiti kulgeb kuuvarjutus. See on vaadeldav ühekorraga kogu sellel maakera poolel, kus Kuu sel ajal on nähtav, s. t. on horisondi kohal. Kuuvarjutuse järjestikused faasid algavad maakera pinna kõigi punktide jaoks ühel ning sellelsamal momendil; vahe on tingitud vaid ajaarvamise erinevusest.

Seepärast ei olegi astronoomil vaja kuuvarjutustele «jahti pidada»: need tulevad ise tema juurde. Kuid selleks, et «kinni püüda» päikesevarjutust, tuleb sooritada teinekord väga kaugeid rännakuid. Astronoomid korraldavad ekspeditsioone troopilistele saartele, kaugele läände või itta ainult selleks, et mõne minuti jooksul vaadelda päikeseketta kattumist Kuu musta ringiga.

Kas on mõtet niivõrd põgusate vaatluste pärast korraldada kalliksminevaid ekspeditsioone? Kas tõesti ei saa teostada neidsamu vaatlusi, ootamata Päikese juhuslikku kattumist Kuuga? Mispärast astronoomid ei teosta päikesevarjutusi kunstlikult, varjates teleskoobis Päikese kujutise läbipaistmatu ringiga? Näib, et nii peaks olema võimalik tülinata vaadelda neid Päikese piirkondi, mis astronoome nii väga huvitavad varjutuste ajal.

Selline kunstlik päikesevarjutus ei saa anda siiski seda, mida pannakse tähele Päikese varjumisel Kuuga. Asi on selles, et Päikese kiired, enne kui nad satuvad meie silma, läbivad Maa atmosfääri ning hajutatakse siin õhuosakeste poolt. Sel põhjusel taevas paistabki meile päeval heleda sinise võlvina, mitte aga mustana, tähtedega ülekülvatuna, nagu ta meile atmosfääri puudumisel avaneks päevalgi. Katnud Päikese ringiga kinni, kuid jäädes õhuookeani põhja, me küll kaitseme silma päevase valgusallika otseste kiirte eest, kuid atmosfäär meie kohal on endist viisi üle ujutatud päikesevalgusega ja jätkab kiirte hajutamist, mattes tähed varju. Seda ei juhtu, kui varjav ekraan asub väljaspool atmosfääri piire. Kuu on just sel-

line ekraan, mis asub meist tuhat korda kaugemal kui atmosfääri äärmine piir. Päikese kiired peetakse selle ekraani poolt kinni enne seda, kui nad tungivad Maa atmosfääri, ja valguse hajumist varjutatud vööndis selle tõttu ei toimu. Tõsi küll, mitte absoluutselt: varju piirkonda tungivad siiski mõned kiired, mida hajutavad ümbritsevad heledad piirkonnad, ja seepärast ei ole taevas täieliku päikesevarjutuse momendil kunagi nii must nagu kesköö!: tähtedest on nähtavad vaid kõige heledamad.

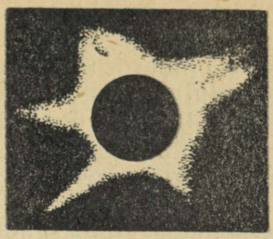
Missuguseid ülesandeid seavad astronoomid endale täieliku päikesevarjutuse vaatlemisel? Märgime ära peamised nendest.

Esimene on spektrijoonte niinimetatud «ümberpööramise» vaatlemine Päikese väliskihis. Päikese spektri jooned, mis on harilikel tingimustel tumedad heledal spektriribal, muutuvad mõneks sekundiks heledaiks tumedal foonil pärast Päikese täieliku kattumise momenti Kuu kettaga: neeldumisspekter muutub kiirgusspektriks. See on niinimetatud «välgatusspekter». Olgugi et seda nähtust mis annab väärtuslikku materjali Päikese väliskihi loomuse üle otsustamiseks, saab teatud tingimustel vaadelda ka mitte üksnes varjutuse ajal, ilmub ta varjutuste ajal nähtavale niivõrd selgelt, et astronoomid ei taha selletaolist juhust kasutamata jätta.

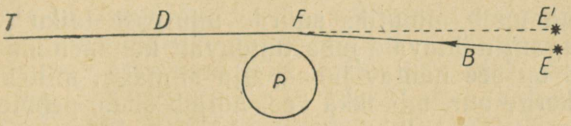
Teine ülesanne on P ä i k e s e k r o o n i uurimine. Kroon on kõige suurepärasem täieliku päikesevarjutuse momentidel tähelepandavatest nähtustest: Kuu täiesti musta ketta ümber, mis on ääristatud Päikese väliskihi leegitaoliste eenditega («protuberantsidega»), hiilgab pärlendav oreool, mis on eri varjutuste ajal erisuguste mõõtmete ja kujuga (joon. 56). Selle helenduse pikad kiired on tihti mitu korda suuremad Päikese läbimõõdust, ent heledus moodustab harilikult vaid poole täiskuu heledusest.

1936. a. varjutuse ajal oli Päikese kroon erakordse heledusega, täiskuust heledam, mida juhtub harva. Krooni pikad, mõnevõrra laiali valgunud kiired sirutusid Päikese kolme ja enam diameetri kaugusele, kogu kroon esines viieharulise tähena, mille keskkoht oli kaetud Kuu tumeda kettaga.

Päikese krooni olemus on senini veel lõplikult välja selgitamata. Varjutuste ajal astronoomid fotografeerivad krooni, mõõdavad tema heledust, uurivad tema spektrit.



Joon. 56. Täieliku päikesevarjutuse momendil lööb Kuu musta ketta ümber lõõmama «Päikese kroon».



Joon. 57. Üks üldise relatiivsusteooria järeldustest — valguskiirte kõrvalekaldumine Päikese gravitatsioonijõu mõjul. Relatiivsusteooria kohaselt näeb punktis *T* asuv maapealne vaatleja tähte punktis *E'* sirge *TDFE'* suunas, samal ajal kui täht tegelikult asetseb punktis *E* ning saadab oma kiiri mööda kõverdunud teed *EBFDT*. Päikese puudumisel suunduks valguskiir tähelt *E* Maale *T* mööda sirget *ET*.

Kõik see aitab kaasa tema füüsilise ehituse tundmaõppimisele.

Kolmas ülesanne, mis on üles kerkinud alles viimastel aastakümnetel, seisneb ühe üldise relatiivsusteooria järelduse kontrollimises. Vastavalt relatiivsusteooriale satuvad tähtede kiired Päikesest möödudes selle võimsa külgetõmbe mõju alla ja kalduvad kõrvale, mis peab ilmsiks tulema tähtede näivas paigaltnihkumises päikeseketta lähedal (joon. 57). Selle järelduse kontrollimine on võimalik vaid täieliku päikesevarjutuse momentidel.

Mõõtmised 1919., 1922., 1926. ja 1936. a. varjutuste ajal ei andnud, rangelt väljendades, otsustavaid tulemusi ja küsimus relatiivsusteooria nimetatud järelduse katselisest kinnitamisest jääb senini lahtiseks. *

* Kõrvalekaldumise fakt ise on leidnud kinnitust, kuid täielikku kvantitatiivset kooskõla teooriaga ei ole konstateeritud. Prof. A. A. Mihhailovi vaatlused on viinud vajaduseni vaadata mõnes suhtes uuesti läbi selle nähtuse teooriat ennast.

Niisugused on põhieesmärgid, mille pärast astronoomid jätavad maha oma observatooriumid ning sõidavad kaugetesse, mõnikord üsna ebakülalislahketesse kohtadesse päikesevarjutusi vaatlema.

Mis puutub täieliku päikesevarjutuse pilti endasse, siis leidub meie ilukirjanduses selle haruldase loodusnähtuse suurepärane kirjeldus (V. G. Korolenko «Varjutusel»; kirjeldus käib 1887. a. augustis toimunud varjutuse kohta; vaatlus toimus Volga kaldal, Jurjevetsi linnas). Toome väljavõtte Korolenko jutustusest ebaoluliste vahelejättudega:

«Päike upub minutiks suurde udusesse laiku ja tuleb pilve tagant nähtavale juba tunduvalt kahanenuna...

Nüüd on see nähtav juba palja silmaga, milleks aitab kaasa kerge aur, mis ikka veel hõljub õhus, pehmendades silmipimestavat helki.

Vaikus. Kuskil on kuulda närvilist, rasket hingamist...

Möödub pool tundi. Päev särab peaaegu ikka niisama, pilved katavad kinni ja lasevad uuesti nähtavale päikest, mis nüüd kõrguses ujub sirbi kujul.

Noorte hulgas valitseb muretu elevus ning uudishimu. Vanamehed ohkavad, vanaeided ohivad kuidagi hüsteeriliselt, keegi aga koguni karjatab ja oigab justkui hambavalus.

Päev hakkab märgatavalt kahvatuma. Inimeste näod võtavad heitunud varjundi, inimkujude varjud lebavad maa peal, kahvatud, ebaselged. Allapoole minev aurulaev ujub mööda mingisuguse viirastusena. Tema piirjooned on muutunud kergemaks, on kaotanud värvide selguse. Valguse hulk ilmsesti kahaneb, ent kuna ei ole õhtu tihenenud varje, ei ole atmosfääri alumistelt kihtidelt tagasi peegeldunud valguse mängu, siis näib see hämarus ebaharilikuna ning kummalisena. Maastik justkui valgub milleski laiali; rohi kaotab roheluse, mäed justkui jäävad ilma oma raskest tihkusest.

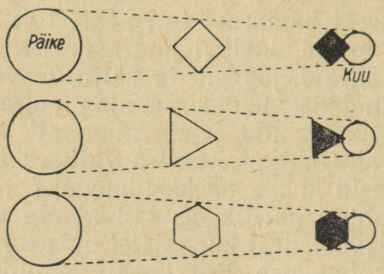
Siiski seni, kuni jääb alles päikese õhuke sirbikujuline äärekene, valitseb ikka veel tugevasti kahvatuks muutunud päeva mulje, ja mulle näis, et jutud pimedusest varjutuse ajal on liialdatud. «Kas tõesti,» tuli mulle mõttesse, «see veel järelejääv tühine päikesesädemeke, mis hiilgab nagu viimne unustatud küünal hiiglasuures maailmas, nii palju tähendab?... Kas tõesti peab järsku saabuma öö, kui ta kustub?»

Ent nüüd see säde kadus. Ta välgatas veel kuidagi puhanguliselt, justkui ennast jõupingutusega lahti rebides tumeda kattevarju tagant, kuldse pritsmena ja kustus. Ja koos sellega langes maa peale tihe pimedus. Ma tabasin hetke, millal keset hämarust tuli peale täisvari. Ta ilmus nähtavale lõunast ja, justkui hiiglasuur vaip, lendas kiiresti mööda mägesid, jõgesid ja välju, lehvinud üle kogu taevalaotuse, mähkis meid sisse ning sulgus ühe silmapilgu jooksul põhjas. Ma seisin nüüd all, kaldaleetel, ja heitsin pilgu rahvahulgale. Selles valitses hauavaikus... Inimkujud sulasid kokku üheks tumedaks massiks...

Ent see ei olnud harilik öö. Oli nõnda valge, et silm otsis tahtmatult hõbedast kuupaistet, mis tungib läbi tavalise öö sinise pimeduse. Ent kuskil ei olnud paistet, ei olnud sina. Näis, nagu oleks ülevalt maa kohale laiali pudenenud peen, silmaga eraldamatu tuhk, või justkui ripuks õhus peenim ja tihe võrk. Aga seal, kuskil kõrval, ülemistes kihtides on tunda valgustatud õhukaugust, mis paistab läbi meie pimedusse, sulatades ühte varjud ja jättes pimeduse ilma tema vormist ning tihedusest. Ja kogu segaminiläinud looduse kohal jooksevad imepärase panoraamina pilved, nende vahel aga toimub haarav võitlus... Ümmargune tume vaenulik keha on ennast ereda päikese külge kinni imenud nagu ämblik, ja nad kihutavad koos pilvedetaguses kõrguses. Mingisugune hiilgus, mida tuleb muutlike helklustena tumeda kilbi tagant välja, annab vaatepildile liikumist ning elu, ja pilved tugevdavad illusiooni veelgi oma äreva käratu jooksuga.»

Kuuvarjutused ei paku astronoomidele sellist erakordset huvi, nagu see on seotud päikesevarjutustega. Meie esivanemad nägid kuuvarjutustes sobivat juhust veenduda Maa kerakujulisuses. Õpetlik on meenutada seda osa, mida mängis see tõestus Magalhãesi ümber maailma purjetamise loos. Kui madrused peale pikka kurnavat reisi mööda Vaikse ookeani lagedaid vesi sattusid meeleheitesse, jõudnud otsusele, et nad on jäädavalt eemaldunud kindlast maast vete avarustele, millel ei tule otsa, siis üksi Magalhães ei kaotanud julgust. «Olgugi et kirik püsivalt kinnitas pühakirja alusel, et Maa on vetega ümbritsetud suur tasandik,» jutustab suure meresõitja teekaaslane, «ammutas Magalhães kindlust järgmisest kaalutlusest: kuuvarjutustel on Maa poolt heidetav vari ümmargune, aga missugune on vari, niisugune peab olema ka

teda heitev asi...» Vanadest astronoomia raamatutest leiame jooniseidki, mis selgitavad Kuule langeva varju kuju olenevust Maa kujust (joon. 58).



Joon. 58. Vanaaegne joonis, mis selgitab mõtet, et Maa varju kuju järgi Kuu kettal saab otsustada Maa kuju üle.

Praegu me ei tunne enam vajadust selletaoliste tõestuste järele. See eest annavad kuuvarjutused võimaluse otsustada Maa atmosfääri ülemiste kihtide ehituse üle Kuu heleduse ja värvuse järgi. Nagu teada, ei kao Kuu Maa varjus jäljetult, vaid jääb nähtavaks päikesekiirtes, mis painduvad varjukoonuse sisse. Kuu valgustustugevus nendel momentidel ja tema värvivarjundid pakuvad astronoomidele suurt huvi ja, nagu kindlaks tehtud, on üllatavas seoses Päikese laikude arvuga. Peale selle kasutatakse kuuvarjutusnähtusi viimasel ajal selleks, et mõõta kuupinna jahtumise kiirust, kui ta jääb Päikese soojusest ilma (me tuleme selle juurde edaspidi veel tagasi).

Mispärast varjutused korduvad 18 aasta pärast?

Ammu enne meie ajaarvamist panid Babüloonia taevatundjad tähele, et varjutuste — nii päikese- kui ka kuuvarjutuste — rida kordub iga 18 aasta ja 10 päeva tagant. Seda perioodi nimetati «saaroseks». Seda kasutades ennustati muiste varjutuste algust, kuid ei teatud, millest on tingitud nõnda korrapärane perioodilisus ja mispärast «saarosel» on just niisugune, mitte aga teistsugune kestus. Varjutuste perioodilisuse põhjendus leiti alles palju hiljem Kuu liikumise hoolika tundmaõppimise tulemusena.

Kui pikk on aeg, mille jooksul Kuu teeb oma orbiidil ühe ringi? Vastus sellele küsimusele võib olla erinev, olenevalt sellest, millisel momendil lugeda lõppenuks Kuu ring ümber Maa. Astronoomid eristavad viit liiki kuusid, millest meid huvitab praegu ainult kaks:

1. Niinimetatud «sünoodiline» kuu, s. o. ajavahemik, mille vältel Kuu sooritab oma orbiidil täisringi, kui jälgida seda liikumist Päikeselt. See on ajaperiood, mis möödub Kuu kahe ühesuguse faasi vahel, näiteks kuuloomisest kuuloomiseni. See on 29,5306 ööpäeva.

2. Niinimetatud «drakooniline» kuu, s. o. ajavahemik, mille möödumisel Kuu pöördub tagasi oma orbiidi samasse «sõlme» (sõlm on Kuu orbiidi lõikepunkt Maa orbiidi-tasapinnaga). Sellise kuu pikkus on 27,2122 ööpäeva.

Kerge on taibata, et varjutused toimuvad vaid nendel momentidel, millal Kuu on ühes oma sõlmedest, olles täiskuu või kuuloomise faasis: siis asub tema keskpunkt ühel sirgel Maa ja Päikese keskpunktidega. On ilmne, et kui täna toimus varjutus, siis peab ta uuesti saabuma niisuguse ajavahemiku järel, mis sisaldab täisarvu sünoodilisi ja drakoonilisi kuusid: siis korduvad tingimused, mille puhul toimuvad varjutused.

Kuidas leida taolisi ajavahemikke? Selleks tuleb lahendada võrrand

$$29{,}5306\,x = 27{,}2122\,y,$$

kus x ja y on täisarvud. Esitanud selle võrdena

$$\frac{x}{y} = \frac{272\,122}{295\,306},$$

me näeme, et selle võrrandi täpsed lahendid on niisugused:

$$x = 272\,122, \qquad y = 295\,306.$$

Tuleb välja hiiglasuur ajaperiood, kümneid tuhandeid aastaid pikk, mis on praktiliselt kasutu. Muistsed astronoomid leppisid ligikaudse lahendusega. Kõige sobivama vahendi lähendite leidmiseks taolistel juhtudel annavad ahelmurrud. Arendame murru

$$\frac{295\,306}{272\,122}$$

ahelmurruks. Seda tehakse järgmiselt. Eraldame täisosa, saame

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1\frac{23\,184}{272\,122}.$$

Viimases murrus jagame lugeja ja nimetaja lugejaga:

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1 + \cfrac{1}{11\,\frac{17\,098}{23\,184}}.$$

Murru $\frac{17\,098}{23\,184}$ lugeja ja nimetaja jagame lugejaga, ja nii talitame ka edaspidi.

Lõppkokkuvõttes saame:

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1 + \cfrac{1}{11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{4 + \cfrac{1}{4 + \cfrac{1}{17 + \cfrac{1}{1 + \frac{1}{7}}}}}}}}}.$$

Sellest murrust, võttes tema esimesed lülid ja jättes ülejäänud kõrvale, saame sellised järjestikused lahendid:

$$\frac{12}{11},\ \frac{13}{12},\ \frac{38}{35},\ \frac{51}{47},\ \frac{242}{223},\ \frac{1019}{939}\ \text{jne.}$$

Viies murd selles reas annab juba piisava täpsuse. Kui peatuda sellel, s. o. võtta $x = 223$ ja $y = 242$, siis varjutuste kordumise perioodiks tuleb 223 sünoodilist ehk 242 drakoonilist kuud. See teeb välja $6585^1/_3$ ööpäeva, s. t. 18 aastat 11,3 ööpäeva (või 10,3 * ööpäeva).

Selline on saarose päritolu. Teades, kuidas ta tekkis, võime me endale aru anda ka selle kohta, kui täpselt saab tema abil varjutusi ennustada. Me näeme, et lugedes saarost võrdseks 18 aasta ja 10 ööpäevaga me jätame ära 0,3 ööpäeva. See peab avalduma selles, et varjutused, mis on ette nähtud sellise kärbitud perioodi järgi, algavad t e i s e l k e l l a a j a l kui eelmine kord (umbes 8 tundi hiljem), ja alles sellise perioodi kasutamisel, mis on võrdne k o l m e k o r d s e täpse saarosega, korduvad varjutused peaaegu samadel päeva momentidel. Peale selle saaros ei

* Vastavalt sellele, kas sellesse perioodi tuleb 4 või 5 lisapäeva-aastat.

võta arvesse k a u g u s e muutumisi Maast Kuuni ja Päikesest Maani, muutumisi, millel on oma perioodilisus; nendest kaugustest oleneb, kas päikesevarjutus on täielik või mitte. Seepärast annab saaros võimaluse ennustada vaid seda, et teatud päeval peab toimuma varjutus; on see aga täielik, osaline või rõngakujuline, ja samuti kas seda saab vaadelda nendessamades kohtades kui eelminegi kord, — seda ei saa kinnitada.

Lõpuks juhtub ka nii, et tähtsusetu osaline päikesevarjutus kahandab oma faasi 18 aasta pärast nullini, s. t. ei ole üldse täheldatav; seevastu teinekord aga muutuvad nähtavaks väikesed osalised päikesevarjutused, mida varem ei olnud täheldatud.

Meie päevil astronoomid ei kasuta saarost. Maa kaaslase kapriisseid liikumisi on nii hästi tundma õpitud, et varjutused arvutatakse praegu ette kuni sekundi täpsusega. Kui ennustatud varjutus ei toimuks, oleksid kaasaegsed õpetlased valmis oletama ükskõik mida, ainult mitte arvestuste ekslikkust. Seda on õnnestunult tabanud Jules Verne, kes romaanis «Karusnahkade maa» jutustab astronoomist, kes läks polaarreisile päikesevarjutuse vaatlemiseks. Ennustusele vaatamata see ei toimunud. Millise järelduse tegi sellest astronoom? Ta teatas kaaslastele, et jääväli, millel nad asuvad, ei ole manner, vaid ujuv jääpank, mis on merehoovusest kantud väljapoole varjutusvööndit. See väide osutus peatselt tõeks. See on heaks näiteks sügavast usust teaduse jõusse!

Kas see on võimalik?

Pealtnägijad jutustavad, et kuuvarjutuse ajal oli nendel juhus näha ühel pool taevast horisondil Päikese ketast ning samaaegselt teisel pool Kuu tumenenud ketast.

Selliseid nähtusi pandi tähele ka 1936. aastal — osalise kuuvarjutuse päeval 4. juulil. «4. juuli õhtul kell 20.31 tõusis Kuu, ja kell 20.46 loojus Päike, ning Kuu tõusmise momendil toimus kuuvarjutus, olgugi et Kuu ja Päike olid samaaegselt nähtavad horisondi kohal. Ma imestasin selle üle väga, kuna valguskiired levivad ometi sirgjooneliselt,» kirjutas mulle üks selle raamatu lugejatest.

Pilt on tõepoolest mõistatuslik: kuigi, hoolimata Tšehhovi neiu veendumusest, läbi tahmatud klaasi ei ole võimalik «näha joont, mis ühendab Päikese ja Kuu kesk-

punkte», on aga täiesti võimalik tõmmata seda mõttes Maast mööda sellise asetuse puhul. Kas varjutus saab alata, kui Maa ei varja Kuud Päikese eest? Kas võib pealtnägija niisugust tunnistust uskuda?

Tegelikult ei ole selletaolises tähelepanekus siiski mitte midagi ebatõenäolist. See, et Päike ja tumenenud Kuu on taevas näha samaaegselt, on tingitud valguskiirte kõverdumisest Maa atmosfääris. Tänu niisugusele kõverdumisele, mida nimetatakse «atmosfääriliseks refraktsiooniks», paistab iga taevakeha meile k õ r g e m a l oma tõelisest asendist (lk. 36, joon. 15). Kui me näeme Päikest või Kuud päris horisondi ligidal, on nad geomeetriliselt juba horisondi t a g a. Seepärast ei ole mitte midagi võimatut selles, et Päikese ketas ja tumenenud Kuu on mõlemad horisondi kohal nähtavad samal ajal.

«Harilikult», ütleb selle kohta Flammarion, «osutatakse varjutustele aastail 1666, 1668 ja 1750, millal see kummaline erilisus tuli kõige teravamalt nähtavale. Ometigi ei ole tarvidust nii kaugele tagasi minna. 15. veebruaril 1877. a. tõusis Kuu Pariisis kell 5.29, Päike loojus kell 5.39, aga täisvari oli muide juba alanud. 4. detsembril 1880. a. toimus täielik kuuvarjutus Pariisis: sel päeval Kuu tõusis kell 4, aga Päike loojus kell 4.02, ja see oli peaaegu varjutuse keskel, mis kestis kella 3.03-st kella 4.33-ni. Kui seda ei panda palju sagedamini tähele, siis vaid tähelepanijate puudumise tõttu. Selleks et näha Kuud täisvarjus enne Päikese loojangut või pärast selle tõusu, tuleb vaid välja valida niisugune koht maakeral, kus Kuu asuks varjutuse keskpaiku horisondil.»

Mida kõik veel varjutuste kohta ei tea

K ü s i m u s e d

1. Kui kaua võivad kesta päikesevarjutused ja kui kaua kuuvarjutused?
2. Kui palju võib kõiki varjutusi kokku toimuda ühe aasta vältel?
3. Kas tuleb ette päikesevarjutusteta aastaid? Aga kuuvarjutusteta aastaid?
4. Millal tuleb lähim täielik päikesevarjutus, mis on nähtav NSV Liidus?
5. Kummast küljest nihkub varjutuse puhul Päikese ette Kuu must ketas — paremalt või vasakult?

6. Kummast äärest algab kuuvarjutus — paremast või vasakust?

7. Mispärast on valguslaigud lehestiku varjus päikesevarjutuse ajal sirbikujulised (joon. 59)?



Joon. 59. Valguslaigud puu lehestiku varjus on päikesevarjutuse osalise faasi ajal sirbikujulised.

8. Missugune vahe on varjutuse ajal nähtava päikesesirbi kuju ja hariliku kuusirbi kuju vahel?

9. Mispärast vaadatakse päikesevarjutust läbi tahmatud klaasi?

Vastused

1. Päikesevarjutuse täisvarju kõige suurem kestus on $7^1/_2$ min. (ekvaatoril; suurematel laiustel on see väiksem). Varjutuse kõik faasid kokku võivad kesta kuni $4^1/_2$ tundi (ekvaatoril).

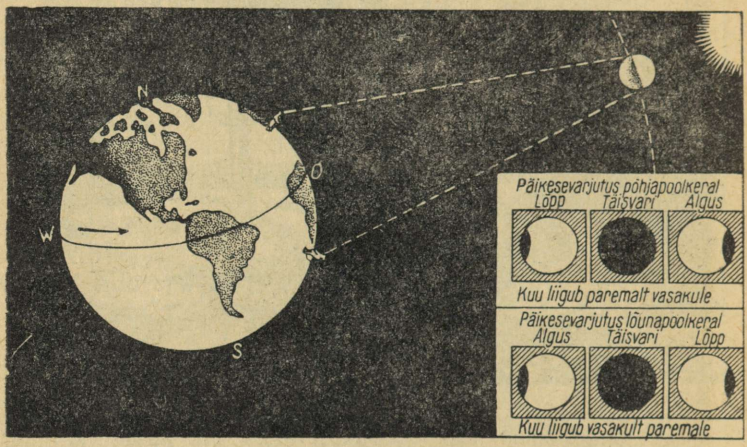
Kuuvarjutuse kõigi faaside kogukestus ulatub 4 tunnini; Kuu täielik tumenemine ei kesta kauem kui 1 tund 50 min.

2. Kõigi varjutuste (nii päikese- kui kuuvarjutuste) arv aasta vältel ei saa olla suurem kui 7 ja väiksem kui 2. (1935. a. oli 7 varjutust: 5 päikesevarjutust ja 2 kuuvarjutust.)

3. Päikesevarjutusteta ei möödu ühtki aastat: igal aastal toimub vähemalt 2 päikesevarjutust. Kuu-

varjutusteta aastaid tuleb ette kaunis tihti, umbes iga 5 aasta sees.

4. Lähim täielik päikesevarjutus, mis on nähtav NSV Liidus, toimub 15. veebruaril 1961. a. Täisvarju vöönd läheb läbi Krimmi, Stalingradi ja Lääne-Siberi.



Joon. 60. Mispärast vaatleja jaoks Maa põhjapoolkeral Kuu nihkub varjutuse ajal Päikese ette paremalt poolt, lõunapoolkeral asuva vaatleja jaoks aga vasakult poolt?

5. Maa põhjapoolkeral nihkub Kuu ketas Päikese ette paremalt vasakule. Kuu ja Päikese esimest kokkupuudet tuleb alati oodata paremalt poolt. Lõunapoolkeral — vasakult poolt (joon. 60).

6. Põhjapoolkeral tuleb Kuu maakera varju sisse oma vasaku servaga, lõunapoolkeral — paremaga.

7. Valguslaigud lehestiku varjus ei ole midagi muud, kui Päikese kujutised. Varjutuse ajal on Päikesel sirbi kuju ja samasugune kuju peab olema ka tema kujutisel lehestiku varjus (joon. 59).

8. Kuusirp on piiratud väljastpoolt poolringiga, seestpoolt — poolellipsiga. Päikesesirp on piiratud kahe sama raadiusega ringikaarega (vt. lk. 60, «Kuu faaside mõistatused»).

9. Päikest, olgugi et ta on Kuust osaliselt varjatud, ei saa vaadata kaitsmata silmaga. Päikesekiired põletavad

ära silma võrkkesta kõige tundlikuma osa, nõrgendades tunduvalt nägemisteravust pikaks ajaks, mõnikord aga ka kogu eluks.

Juba XIII saj. algul märkis Novgorodi kroonikakirjutaja: «Sellestsinasest märgist Suures Novgorodis pidid mõned inimesed silmanägemisest ilma jääma». Põletust on siiski kerge vältida, kui valmis muretseda paksult tahmatud klaas. Seda tuleb tahmata küünlal nõnda paksult, et Päikese ketas paistaks läbi sellise klaasi teravalt piiritletud ringina, kiirteta ning oreoolita; mugavuse mõttes kaetakse tahmatud pool teise, puhta klaasiga ja kleebitakse servadest paberiga üle. Kuna pole võimalik ette näha, missugused on Päikese nähtavuse tingimused varjutuse tundidel, siis on kasulik ette valmistada mitu klaasi erineva tumedusastmega.

Võib tarvitada ka värvilisi klaase, kui panna kokku kaks eri värvi klaasi (soovitav on võtta täiendusvärvused). Harilikud tumedad kaitseprillid on selleks otstarbeks nõrgad. Lõpuks on üsna sobivad Päikese vaatlemiseks ka fotonegatiivid, millel leidub vastava tihedusega tumedaid kohti. *

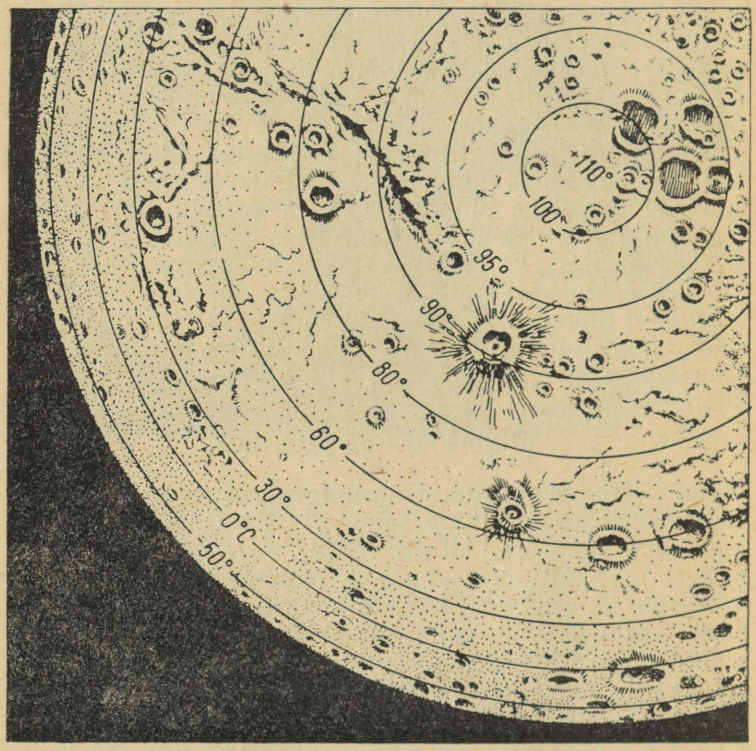
Milline on Kuu peal ilm?

Õieti öelda ei ole Kuu peal mingisugust ilma, selle sõna tavalises mõttes. Milline saab olla ilm seal, kus täiesti puuduvad atmosfäär, pilved, veeaur, sademed, tuul? Ainus, millest saab juttu olla — see on pinnase temperatuur.

Niisiis, kuivõrd on soojendatud Kuu pinnas? Astronoomide käsutuses on nüüd seadis, mis annab võimaluse mõõta mitte üksnes kaugete taevakehade, vaid ka nende eri osade temperatuuri. Seadise ehitus põhineb termo elektrilisel nähtusel: juhtmes, mis on kokku joodetud kahest eri liiki metallist, tekib elektrivool, kui üks jootekoht on teisest soojem; tekkiva voolu tugevus oleneb temperatuuride vahest ja võimaldab mõõta neelatud soojuse hulka.

* Nendele, kes soovivad üksikasjalisemalt tutvuda sellega, kuidas kulgeb täielik päikesevarjutus ja milliseid vaatlusi teostavad astronoomid varjutuste ajal, võib soovitada raamatut «Päikesevarjutused ja nende vatlemine», mis on koostatud rühma eriteadlaste poolt prof. A. A. Mihhailovi toimetusel. Raamat on ette nähtud astronoomia amatööridele, õpetajatele ja vanemate klasside õpilastele. Populaarsemas stiilis on kirjutatud V. T. Ter-Oganezovi raamat «Päikesevarjutused», Gostehizdat, 1954 («Populaarteaduslik raamatukogu»).

Seadise tundlikkus on harukordne. Mikroskoopiliste mõõtmete puhul (kui seadise peaosa ei ole suurem kui 0,2 mm ja kaalub 0,1 mg) ta reageerib koguni 13. suurusjärgu tähtede soojendavale mõjule, mis tõstab temperatuuri ühe kümnemiljondiku kraadi võrra.



Joon. 61. Temperatuur Kuu peal ulatub nähtava ketta keskpunktis kuni +110° ja langeb äärte suunas kiiresti kuni —50° ja madalamale.

Need tähed on teleskoobita nähtamatud; nad helendavad 600 korda nõrgemini kui palja silmaga nähtavuse piiril viibivad tähed. Kinni püüda niivõrd tühist soojushulka on sama, mis avastada küünla soojust mitme kilomeetri kauguselt.

Omades sellist, peaaegu imeväärset mõõteriista, juhtisid astronoomid selle Kuu teleskoopilise kujutise eri piirkondadesse, mõõtsid tema poolt saadava soojuse ja hindasid selle põhjal Kuu eri osade temperatuuri (täpsusega kuni 10°).

Esitame tulemused (joon. 61): täiskuu ketta keskel on temperatuur üle 100°; siin Kuu pinnale kallatud vesi hakkaks keema normaalsegi rõhu all. «Kuu peal meil ei oleks vaja endale lõunat valmistada pliidi peal,» kirjutab üks astronoom, «selle aset võiks täita iga ligem kalju.» Ketta keskkohast alates kahaneb temperatuur ühtlaselt kõigis suundades, kuid veel 2700 km kaugusel keskpunktist ta ei ole alla 80°. Seejärel toimub temperatuuri langemine kiiremini, ja valgustatud ketta ääre lähedal valitseb —50°-ne pakane. Veel külmem on Kuu pimedal, Päikesest eemale pööratud küljel, kus pakane saavutab —160°.

Eespool on mainitud, et varjutuste ajal, kui kuukera sukeldub maakera varju, jahtub päikesevalgusest ilma jäänud Kuu pinnas kiiresti. Selle jahtumise suurust on mõõdetud: ühel juhul tehti kindlaks, et temperatuur langes varjutuse jooksul +70°-lt —117°-ni, s. t. peaaegu 200° võrra kõigest $1^1/_2$—2 tunni kestel. Muide, Maa peal langeb temperatuur taolistel tingimustel, s. o. päikesevarjutuse puhul, vaid kahe, kõige enam kolme kraadi võrra. See vahe tuleb kanda Maa atmosfääri arvele, mis on Päikese nähtavatele kiirtele võrdlemisi läbipaistev ning peab kinni soojendatud pinnase nähtamatuid «soojakiiri».

See, et Kuu pinnas nõnda kiiresti kaotab enda poolt kogutud sooja, näitab samaaegselt nii Kuu pinnase väikest soojamahutavust kui ka tema halba soojajuhtivust, mille tõttu tema soojendamisel jõuab koguneda vaid väike soojatagavara.





KOLMAS PEATÜKK

PLANEEDID

Planeedid päevavalgel

Kas saab päeval, päikese eredas säras, näha planeete? Teleskoobiga — kahtlemata: astronoomid teostavad planeetide vaatlusi sageli päeval, eraldades neid koguni keskmise tugevusega pikksilmas, tõsi küll, mitte nõnda selgelt kui öösel. Pikksilmaga, mille objektiivi diameeter on 10 cm võib päeval Jupiteri mitte üksnes näha, vaid saab temal eraldada ka iseloomulikke vööte. Merkuuri vaatlusi on päeval võib-olla sobivamgi teostada — siis seisab planeet kõrgel horisondi kohal, pärast Päikese loojumist aga on Merkuur nähtav niivõrd madalal taevas, et Maa atmosfäär moonutab teleskoopilist kujutist tunduvalt.

Soodsatel tingimustel võib mõningaid planeete päeval näha ka palja silmaga.

Eriti sageli õnnestub päevases taevas näha planeetidest kõige heledamat, Veenust, muidugi tema kõige suurema heleduse ajal. Tuntud on Arago jutustus Napoleon I kohta, kes ükskord paraadsõidu ajal mööda Pariisi tänavaid oli solvatud sellest, et rahvahulk, kes oli üllatatud Veenuse nähtavale ilmumisest keskpäeval, osutas rohkem tähelepanu sellele planeedile kui tema kõrgele isikule.

Suurte linnade tänavatelt on Veenus päevastel tundidel koguni sagedamini nähtav kui lahtistest kohtadest: kõrged majad varjavad Päikest ja kaitsevad sellega silma tema

otseste kiirte pimestava mõju eest. Veenuse nähtavuse juhtumeid päeval on ära märkinud ka vene kroonikud. Nii ütleb Novgorodi kroonika, et 1331. aastal päeva ajal «ilmutas end taeva peal märk, hele täht kiriku kohal üleval». See täht oli (D. O. Svjatski ja M. A. Viljevi uurimuste järgi) Veenus.

Kõige soodsamad ajad Veenuse nägemiseks päeva ajal korduvad iga 8 aasta järel. Tähelepanelikel taevavaatlejatel on olnud tõenäoliselt juhust näha päeval palja silmaga mitte üksnes Veenust, vaid ka Jupiteri ja koguni Merkuuri.

Siin on kohane peatuda planeetide suhtelise heleduse küsimusel. Mitteeriteadlaste ringis tekivad mõnikord kahtlused: milline planeet saavutab suurema heleduse — Veenus, Jupiter või Marss? Muidugi, kui nad säraksid samaaegselt ja asetseksid kõrvuti, ei tekiks selletaolist küsimust. Ent kui neid taevas eri ajal lahus näed, siis ei ole kerge otsustada, milline nendest on heledam. Planeedid reastuvad nende heleduse järjekorras nii:

Veenus Marss Jupiter	Siiriusest mõned korrad heledamad	Merkuur Saturn	Siiriusest nõrgemad, kuid esimese suurusjärgu tähtedest heledamad

Me tuleme selle teema juurde veel tagasi järgmises peatükis, kui me tutvume taevakehade heleduse arvulise hindamisega.

Planeediaabits

Päikese, Kuu ja planeetide tähistamiseks tarvitavad kaasaegsed astronoomid üsna muistse päritoluga märke (joon. 62). Nende välimus nõuab seletusi, muidugi peale Kuu märgi, mis on iseendast arusaadav. Merkuuri märk on müütilise jumala Mercuriuse, selle planeedi kaitsejumala valitsuskepi lihtsustatud kujutis. Veenuse märgiks on käsipeegli — jumalanna Veenusele omase naiselikkuse ja ilu sümboli — kujutis. Sõjajumala poolt kaitstava Marsi sümboliks on valitud oda, mis on kaetud kilbiga — sõjamehe atribuudid. Jupiteri märk ei ole midagi muud kui Jupiteri kreekapärase nime — Zeus — algustäht (Z — käekirja šriftis). Saturni märk on Flammarioni tõlgenduse järgi «ajavikati» — saatusejumala traditsioonilise atribuudi — moonutatud kujutis.

Loetletud märke tarvitatakse IX sajandist saadik. Uurani märk on muidugi mõista hilisema päritoluga: see planeet avastati alles XVIII saj. lõpul. Tema märk — ring tähega H — peab meile meelde tuletama W. Herschelit, kes avastas Uurani. Neptuuni märk (planeet avastati 1846. a.) annab andami mütoloogiale merejumala kolmikhargi kujutisega. Viimase planeedi, Pluuto märk on iseendast mõistetav.

Kuu ☾
Merkuur ☿
Veenus ♀
Marss ♂
Jupiter ♃
Saturn ♄
Uuran ♅
Neptuun ♆
Pluuto ♇
Päike ☉
Maa ♁

Joon. 62. Päikese, Kuu ja planeetide tingmärgid.

Sellele planeediaabitsale tuleb veel juurde lisada selle planeedi märk, millel me elame, ja samuti meie süsteemi keskse taevakeha — Päikese — märk. See viimane märk on kõige iidsem, sest ta oli egiptlaste juures tarvitusel juba tuhandeid aastaid tagasi.

Paljudele näib tõenäoliselt kummalisena, et lääneriikide astronoomid tähistavad nendesamade planeediaabitsa märkidega nädalapäevi, ja nimelt:

pühapäeva	— Päikese	märgiga
esmaspäeva	— Kuu	„
teisipäeva	— Marsi	„
kolmapäeva	— Merkuuri	„
neljapäeva	— Jupiteri	„
reedet	— Veenuse	„
laupäeva	— Saturni	„

See ootamatu ligindamine muutub loomulikuks, kui me kõrvutame planeetide märke nädalapäevade ladina- või prantsuskeelsete nimetustega, mis on säilitanud oma seose planeetide nimedega (prantsuse keeles on esmaspäev — lundi — Kuu päev, teisipäev — mardi — Marsi päev jne.). Kuid me ei hakka siin süvenema sellesse huvipakkuvasse valdkonda, mis kuulub enam filoloogiasse ja kultuuriajalukku kui astronoomiasse.

Vanasti tarvitasid alkeemikud planeediaabitsat metallide tähistamiseks, ja nimelt:

Päikese	märki	kulla	jaoks
Kuu	„	hõbeda	„
Merkuuri	„	elavhõbeda	„
Veenuse	„	vase	„

Marsi	märki	raua	jaoks
Jupiteri	„	tina	„
Saturni	„	plii	„

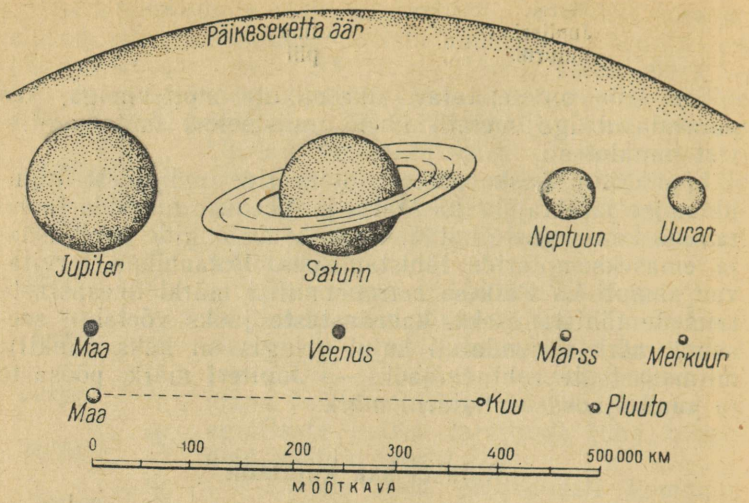
See seos on seletatav alkeemikute mõtteviisiga, kes pühendasid iga metalli ühele muistsetest mütoloogilistest jumalatest.

Lõpuks on keskaegsetest planeetide märkidest lugupidamise järelkajaks ka Marsi ja Veenuse märkide tarvitamine kaasaegsete botaanikute ja zooloogide poolt isas- ja emaseksemplaride tähistamiseks. Botaanikud tarvitavad samuti ka Päikese astronoomilist märki üheaastaste taimede tähistamiseks, kaheaastaste jaoks võetakse seesama märk teisendatud kujul (ringis on kaks punkti), mitmeaastaste rohtude jaoks — Jupiteri märk, põõsaste ja puude jaoks — Saturni märk.

Mida ei saa kujutada

Nende asjade hulka, mida ei saa kuidagi moodi paberil kujutada, kuulub meie päikesesüsteemi täpne plaan. See, mida astronoomia raamatutes esitatakse päikesesüsteemi plaani nime all, on vaid planeetide t e e d e, mitte aga päikesesüsteemi joonis: planeete endid pole sellisel joonisel võimalik kujutada, kaldumata mõõtkavast jämedalt kõrvale. Planeedid on neid lahutavate kaugustega võrreldes nii kaduvväikesed, et koguni mõnevõrragi õiget kujutlust endale sellest vahekorrast luua on raske. Me kergendame kujutlusvõime tööd, kui pöördume planeetide süsteemi vähendatud kujutuse poole. Siis saab selgeks ka see, mispärast päikesesüsteemi ei ole võimalik esitada mitte mingisugusel joonisel. Kõik, mida me oleme joonisel võimelised tegema, see on planeetide ja Päikese suhteliste mõõtmete näitamine (joon. 63).

Valime maakera jaoks kõige tagasihoidlikuma suuruse — nööpnõela pea: kujutagu Maad kuulike, mille läbimõõt on umbes 1 mm. Täpsemalt öeldes, me võtame mõõtkavaks umbkaudu 15 000 km 1 mm kohta ehk 1 : 15 000 000 000. Kuu tuleb $^1/_4$-millimeetrise diameetriga terakese näol paigutada 3 cm kaugusele nööpnõela peast. Palli või kroketikuuli suurune (10 cm) Päike peab seisma 10 m kaugusel Maast. Pall, mis asetseb ruumika toa ühes nurgas, ja nööpnõela pea teises nurgas — see vastabki suurusvahekordadele maailmaruumis Päikese ja Maa



Joon. 63. Planeetide ja Päikese suhtelised mõõtmed. Päikeseketta diameeter on selles mõõtkavas 19 cm.

vahel. Te näete, et siin on tõepoolest palju enam tühjust kui ainet. Tõsi küll, Päikese ja Maa vahel on kaks planeeti — Merkuur ja Veenus —, kuid need on vähe kohased ruumi täitmiseks; meie tuppa tuleb lisaks vaid kaks terakest: $^1/_3$-millimeetrise läbimõõduga (Merkuur) 4 m kaugusel pallist-Päikesest ja teine — nööpnõela pea suurune (Veenus) — 7 m kaugusel pallist.

Ent veel tuleb aineterakesi Maast teisele poole. 16 m kaugusel pallist-Päikesest ringleb Marss — terake $^1/_2$ -millimeetrise läbimõõduga. Iga 15 aasta järel liginevad mõlemad terakesed, Maa ja Marss, 4 m kaugusele teineteisest; nii näeb siin välja lühim vahemaa kahe maailma vahel. Marsil on kaks kaaslast, kuid võimatu on neid kujutada meie mudelil: kokkulepitud mõõtkavas tuleks nendele anda bakterite mõõtmed! Peaaegu niisama tühised mõõtmed peavad meie mudelil olema a s t e r o i d i d e l — väikestel planeetidel, mida on teada juba üle poolteise tuhande ning mis tiirlevad Marsi ja Jupiteri vahel. Nende keskmine kaugus Päikesest on meie mudelil 28 m. Kõige suuremad nendest on (mudelil) juuksekarva paksused ($^1/_{20}$ mm), väikseimad aga — bakteri suurused.

Hiiglane-Jupiter esineb meil pähklisuuruse kuulina (1 cm) 52 m kaugusel pallist-Päikesest. Tema ümber tiirlevad 3, 4, 7 ja 12 cm kaugusel kõige suuremad tema 12 kaaslasest. Nende suurte kuude mõõtmed on $^1/_2$ mm ümber, ülejäänud esinevad mudelil jällegi bakteritena. Kõige kaugem tema kaaslastest (IX) tuleks paigutada 2 m kaugusele pähklist-Jupiterist. Järelikult on kogu Jupiteri süsteemi läbimõõduks meil 4 m. Seda on väga palju, võrreldes süsteemiga Maa-Kuu (läbimõõt 6 cm), ent kaunis vähe, kui kõrvutada sellised mõõtmed Jupiteri orbiidi läbimõõduga (104 m) meie mudelil.

Juba nüüd on ilmne, kuivõrd lootusetud on katsed mahutada päikesesüsteemi plaani ühele joonisele. See võimatus saab järgnevas veelgi käegakatsutavamaks. Planeet Saturn tuleks paigutada pallist-Päikesest 100 m kaugusele 8-millimeetrilise läbimõõduga pähklikese näol. Saturni kuulsad rõngad laiusega 4 mm ja paksusega $^1/_{250}$ mm asuvad 1 mm kaugusel pähklikese pinnast. 9 kaaslast on planeedi ümber $^1/_2$ m ulatuses laiali pillatud terakestena, mille diameeter on $^1/_{10}$ mm ja vähem.

Tühikud, mis eraldavad planeete, suurenevad progressiivselt lähenemisel süsteemi äärealale. Uuran on meie mudelil 196 m Päikesest eemal, see on 3-millimeetrilise läbimõõduga herneterake 5 kaaslase-tolmukübemega, mis on kesksest terakesest kuni 4 cm kaugusele laiali pillatud.

300 m kaugusel kesksest kroketikuulist käib pikaldaselt oma teed planeet, mida veel hiljuti loeti viimaseks meie süsteemis, — Neptuun: hernetera kahe kaaslasega (Tritoni ja Nereiidiga), mis on temast 3 ja 70 cm kaugusel.

Veel kaugemal tiirleb väike planeet Pluuto, mille kaugus meetrites meie mudelil väljendub arvuna 400, ja mille läbimõõt on umbes pool Maa omast.

Kuid ka selle viimase planeedi orbiiti ei saa lugeda meie päikesesüsteemi piiriks. Peale planeetide kuuluvad sellesse ju komeedidki, millest paljud liiguvad mööda kinnisi teid ümber Päikese. Nende «karvaste tähtede» (sõna «komeet» algtähendus) seas on rida niisuguseid, mille tiirlemisperiood ulatub 800 aastani. Need on: 372. a. e. m. a. komeet, komeedid aastaist 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, 1882 (kaks komeeti) ja 1887. Nendest igaühe tee kujutaks mudelil väljavenitatud ellipsit, mille üks ots, lähim (perihheel), asub kõigest 12 mm kaugusel Päikesest, kaugeim ots (afeel) aga 1700 m kaugusel temast, neli korda kau-

gemal kui Pluuto. Kui arvestada päikesesüsteemi mõõtmeid nende komeetide järgi, siis kasvab meie mudel $3^1/_2$ km-ni läbimõõdus ja võtab enda alla 9 km²-se pindala, kusjuures Maa, ärge unustage, on nööpnõelapea suurune! Sellel 9 km²-l paikneb niisugune inventar:

1 kroketikuul,
2 pähklit,
2 hernetera,
2 nööpnõelapead,
3 väiksemat terakest.

Komeetide ainet — olgu nad nõnda rohkearvulised kui tahes — arvesse ei võeta: nende mass on nõnda väike, et neid on õigustatult nimetatud «nähtavaks eimiskiks».

Niisiis, meie planeetide süsteem ei lase ennast kujutada joonisel õiges mõõtkavas.

Miks Merkuuril ei ole atmosfääri?

Missugust seost saab olla atmosfääri olemasolu vahel planeedil ja planeedi täispöörde kestuse vahel ümber telje? Paistab, et mitte mingisugust. Ja ometigi me veendume Päikesele lähima planeedi Merkuuri varal, et teatavatel juhtudel on selline seos olemas.

Raskusjõu poolest oma pinnal võiks Merkuur kinni pidada samasuguse koostisega atmosfääri, nagu seda on Maa oma, kuigi mitte nõnda tihedat.

Kiirus, mis on vajalik Merkuuri külgetõmbe täielikuks ületamiseks tema pinnal, on 4900 m/sek, aga seda kiirust ei saavuta madalatel temperatuuridel kõige kiiremadki meie atmosfääri molekulidest. * Sellest hoolimata puudub Merkuuril atmosfäär. Põhjuseks on see, et ta liigub ümber Päikese sedamoodi, nagu Kuu liigub ümber Maa, s. t. on emataevakeha poole pööratud alati oma ühe ning sellesama küljega. Orbiidi läbimise aeg (88 ööpäeva) on võrdne täispöörde teostamise ajaga ümber telje. Seepärast kestab Merkuuri ühel küljel — sellel, mis on alati Päikese poole pööratud — lakkamatult päev ning püsib igavene suvi; teisel küljel aga, mis on Päikesest eemale pööratud, valitseb lakkamatu öö ja igavene talv. Kerge on endale ette kujutada, milline palavus peab valitsema planeedi päevasel küljel: Päike on siin $2^1/_2$ korda ligemal kui Maa

* Vt. II ptk., lk. 70 («Miks Kuul ei ole atmosfääri?»).

peal, ja tema kiirte kõrvetustugevus peab kasvama $2^1/_2 \times 2^1/_2$ korda, s. o. $6^1/_4$ korda. Öisele küljele seevastu ei ole miljonite aastate kestel tunginud mitte ühtki Päikese kiirt, ja seal peab valitsema pakane, mis on ligidane maailmaruumi külmusele * (—264° C ümber), sest et päevase külje soojus ei saa tungida läbi planeedi massiivse kogu. Päevase ja öise külje piiril on aga olemas 23° laiune vöönd, kuhu Päike vaatab sisse libratsiooni ** tagajärjel vaid ajutiselt.

Mis peab siis juhtuma planeedi atmosfääriga sellistel ebatavalistel kliimatingimustel? On ilmne, et öisel poolel atmosfäär tiheneb koleda külma mõjul vedelikuks ning külmub. Atmosfäärirõhu järsu langemise tõttu tungib sinna planeedi päevase külje gaasilises olekus olev kate ning tahkub omakorda. Lõppkokkuvõttes peab kogu atmosfäär tahkes olekus kokku kogunema planeedi öisele küljele, õigemini — tema sellesse ossa, kuhu Päike üldse ei heida oma pilku. Sel kombel on atmosfääri puudumine Merkuuril füüsika seaduste vältimatuks järelduseks.

Nendelsamadel kaalutlustel, mille järgi atmosfääri olemasolu Merkuuril on võimatu, peame me tagasi lükkama ka sageli väljendataya oletuse, nagu oleks Kuu nähtamatul küljel atmosfäär. Võib täie kindlusega väita, et kui Kuu ühel küljel ei ole atmosfääri, siis ei saa seda olla ka vastasküljel. Selles punktis läheb tõest lahku Wellsi fantastiline romaan «Esimesed inimesed Kuul». Kirjanik oletab, et Kuul on õhk, mis pideva 14-ööpäevase öö kestel jõuab tiheneda ning külmuda, aga päeva saabudes läheb uuesti üle gaasilisse olekusse, moodustades atmosfääri. Midagi selletaolist ei saa siiski sündida. «Kui,» kirjutas selle kohta prof. O. D. Hvolson, «Kuu pimedal küljel õhk külmub, siis peab peaaegu kogu õhk üle

---

* Kokkuleppelise väljendusega «maailmaruumi temperatuur» mõistavad füüsikud seda temperatuuri, mida ruumis näitaks mustaks värvitud termomeeter, mis on varjatud Päikese kiirte eest. See temperatuur on natuke kõrgem absoluutsest nullpunktist (—273°C) tähtede kiirguse soojendava mõju tõttu. Vt. J. I Perelmani raamatut «Kas te tunnete füüsikat?».

** Libratsioonide kohta vt. ülevaatest «Kuu nähtav külg ja nähtamatu külg» (II ptk., lk. 65). Merkuuri libratsioonide kohta pikkuses on maksev seesama ligikaudne reegel, millele allub Kuu: Merkuur ei ole alaliselt ühe ning sellesama küljega pööratud Päikese poole, vaid oma kaunis väljavenitatud orbiidi teise fookuse poole.

minema valgelt küljelt pimedale ning seal niisamuti külmuma. Päikesekiirte mõjul peab tahke õhk muutuma gaasiks, mis sedamaid siirdub pimedale küljele ning seal tahkub... Peab toimuma õhu pidev destillatsioon, ja mitte kuskil ega mitte kunagi ei saa ta saavutada natukenegi märgatavat elastsust.»

Kui Merkuuri ja Kuu puhul võib tõestatuks pidada atmosfääri puudumist, siis Veenuse puhul, süsteemi Päikesest arvates teise planeedi puhul on täiesti kahtlematu atmosfääri olemasolu.

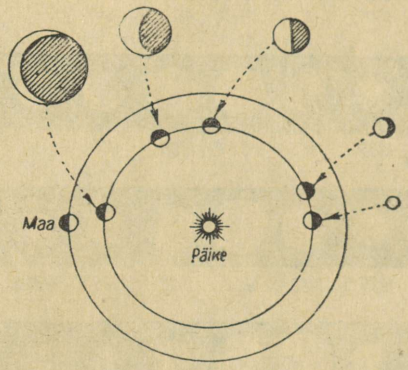
Kindlaks on tehtud isegi, et Veenuse atmosfääris, täpsemalt — s t r a t o s f ä ä r i s, on palju süsihappegaasi — kümme tuhat korda rohkem kui Maa atmosfääris.

Veenuse faasid

Tuntud matemaatik Gauss jutustab, et ta ükskord tegi oma emale ettepaneku vaadata astronoomilise pikksilmaga Veenust, mis heledalt säras õhtutaevas. Matemaatik mõtles ema üllatada ootamatusega, sest et pikksilmas on Veenus nähtav sirbikujulisena. Üllatuda tuli siiski temal endal: asetanud silma okulaari juurde, ei avaldanud naine mingisugust hämmastust planeedi väljanägemise üle, vaid päris ainult järele, miks sirp on pikksilmas pahupidi pööratud... Gauss ei teadnud tolle ajani aimatagi, et tema ema eraldab Veenuse faase koguni palja silmaga. Sellist teravat nägemist tuleb ette väga harva; pikksilma leiutamiseni ei olnud seepärast veel keegi arvanud, et Veenusel on faasid, mis on Kuu omadega sarnased.

Veenuse faaside iseärasuseks on see, et planeedi läbimõõt ei ole eri faasides ühesugune: kitsas sirp on diameetrilt märksa suurem kui täisketas (joon. 64). Põhjuseks on selle planeedi erinev kaugus meist eri faaside ajal. Veenuse keskmine kaugus Päikesest on 108 miljonit km, Maal — 150 miljonit km. Kerge on taibata, et nende planeetide lühim vahemaa on võrdne vahega 150—108, s. t. on 42 miljonit km, ja pikim — summaga 150 + 108, s. t. on 258 miljonit km. Järelikult Veenuse kaugus meist muutub nendes piirides. Maa lähimas naabruses olles on Veenus meie poole pööratud valgustamata küljega, ja seetõttu on tema kõige suurem faas täiesti nähtamatu. Eemaldudes sellest «veenuseloomise» asendist, võtab pla-

neet sirbi kuju, mille diameeter on seda väiksem, mida laiem on sirp. Kõige suuremat heledust ei saavuta Veenus ei siis, kui ta on nähtav täiskettana, ega ka siis, kui tema diameeter on suurim, vaid teatavas vahepealses faa-



Joon. 64. Veenuse faasid, nagu nad on teleskoobis nähtavad. Veenusel on eri faasides erinev näiv diameeter tema ja Maa vahelise kauguse muutumise tagajärjel.

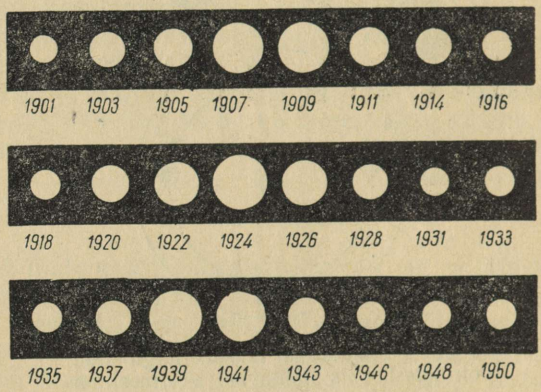
sis. Veenuse täisketas on nähtav 10″ vaatenurga all, suurim sirp — 64″ nurga all. Suurima heleduse saavutab planeet kolme kümnepäevaku pärast peale «veenuseloomist», kui tema nurkdiameeter on 40″ ja sirbi nurklaius 10″. Siis ta paistab Siiriusest, kogu taeva kõige heledamast tähest, 13 korda heledamalt.

Suured vastasseisud

See, et Marsi suurima heleduse ning suurima Maale liginemise ajad korduvad umbes iga 15 aasta järel, on paljudele teada.

Väga populaarne on ka nende aegade astronoomiline nimetus: Marsi suured vastasseisud. Mälestusväärsed on punase planeedi viimaste «suurte vastasseisude» aastad — 1924, 1939 (joon. 65) ja 1956. Kuid vähesed teavad, miks see sündmus kordub nimelt 15 aasta pärast. Muide, siia kuuluv «matemaatika» on päris lihtne.

Maa sooritab täistiiru oma orbiidil $365\frac{1}{4}$ ööpäevaga, Marss — 687 ööpäevaga. Kui mõlemad planeedid tulid kunagi lühima vahemaa peale kokku, siis peavad nad uuesti kokku juhtuma sellise ajavahemiku järel, mis sisaldab nii Maa kui ka Marsi aastaid täisarvu.



Joon. 65. Marsi näiva diameetri muutumine eri vastasseisude ajal XX sajandil. Aastatel 1909, 1924 ja 1939 olid suured vastasseisud.

Teiste sõnadega tuleb täisarvudes lahendada võrrand

$$365\frac{1}{4}\,x = 687\,y$$

ehk

$$x = 1{,}88\,y,$$

kust

$$\frac{x}{y} = 1{,}88 = \frac{47}{25}.$$

Arendades viimase murru ahelmurruks, saame

$$\frac{47}{25} = 1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{7 + \frac{1}{3}}}.$$

Võttes esimesed kolm lüli, saame lähendi

$$1 + \cfrac{1}{1 + \frac{1}{7}} = \frac{15}{8}$$

ja järeldame, et 15 Maa aastat on võrdsed 8 Marsi aastaga; seega Marsi suurima liginemise epohhid peavad korduma iga 15 aasta järel. (Me lihtsustasime ülesannet mõnevõrra, võttes mõlema tiirlemisperioodi suhteks 1,88 täpsema 1,8809 asemel.)

Selsamal viisil saab leida ka Jupiteri suurima läheduse kordumise perioodi. Jupiteri aasta on 11,86 Maa aastat (täpsemalt 11,8622). Arendame selle murdarvu ahelmurruks:

$$11{,}86 = 11\frac{43}{50} = 11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{6 + \frac{1}{7}}}.$$

Esimesed kolm lüli annavad lähendi $\frac{83}{7}$. Järelikult Jupiteri suured vastasseisud korduvad iga 83 Maa aasta (ehk 7 Jupiteri aasta) järel. Nendel aastatel saavutab Jupiter ka suurima näiva heleduse. Jupiteri viimane suur vastasseis oli 1927. a. lõpul. Järgmine tuleb 2010. aastal. Jupiteri kaugus Maast on nendel momentidel 587 miljonit km. See on vähim kaugus, milleni meile läheneb päikesesüsteemi suurim planeet.

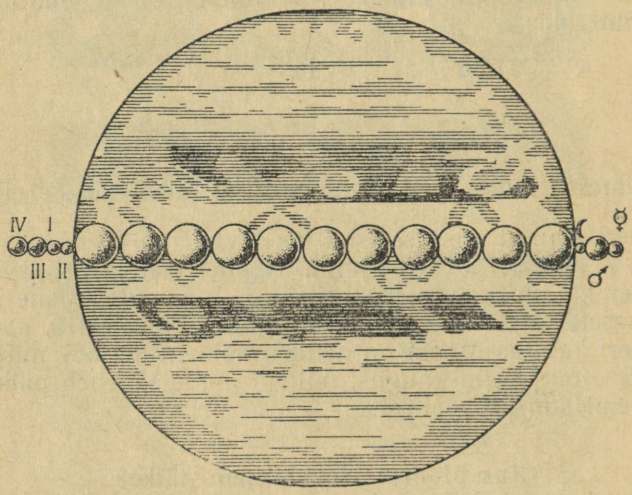
Kas planeet või väiksem päike?

Selle küsimuse võib esitada Jupiteri kohta — kõige suurema kohta meie süsteemi planeetidest. See hiid, millest saaks teha 1300 sellise ruumalaga kera nagu maakera, sunnib oma võimsa külgetõmbega enda ümber tiirlema tervet peret kaaslasi. Astronoomide poolt on Jupiteril avastatud 12 kuud; kõige suuremaid nende hulgast — neid nelja, mille juba kolm sajandit tagasi avastas Galilei — tähistatakse rooma numbritega I, II, III ja IV. Kaaslased III ja IV ei jää mõõtmetelt alla «ehtsale» planeedile — Merkuurile. Järgmises tabelis on nende kaaslaste läbimõõdud kõrvutatud Merkuuri ja Marsi diameetritega; ühtlasi on näidatud Jupiteri esimese kahe kaaslase ja samuti ka meie Kuu läbimõõdud:

	Läbimõõt
Marss	6600 km
Jupiteri IV kaaslane . . .	5150 „
„ III „ . . .	5150 „
Merkuur	4700 „

Jupiteri I kaaslane	3700 km
Kuu	3480 „
Jupiteri II kaaslane . . .	3220 „

Joonis 66 kujutab sellesama tabeli illustratsiooni. Suur ring on Jupiter; igaüks tema diameetrile reastatud ringikestest — Maa; paremal — Kuu. Jupiterist vasakul pool



Joon. 66. Jupiteri ja tema kaaslaste (vasakul) mõõtmed võrreldu na Maa (piki diameetrit), Kuu, Marsi ja Merkuuri (paremal) mõõtmetega.

olevad ringikesed on tema 4 suurimat kaaslast. Kuust paremal on Marss ja Merkuur. Seda joonist vaadeldes te peate silmas pidama, et teie ees ei ole diagramm, vaid joonis: ringide pindalade suhe ei anna õiget ettekujutust kerade r u u m a l a d e suhtest. Kerade ruumalad suhtuvad nagu nende läbimõõtude kuubid.

Kui Jupiteri diameeter on Maa diameetrist 11 korda suurem, siis tema ruumala on suurem 11^3, s. t. 1300 korda. Selle kohaselt te peategi parandama nägemismuljet joonisest 66, ja siis ilmuvad Jupiteri hiiglaslikud mõõtmed teie ette vajalikul kujul.

Mis puutub Jupiteri kui külgetõmbekeskuse võimsusse, siis see tuleb aukartustäratavalt esile nende kauguste

ülevaates, millel planeet-gigant sunnib oma kuusid enda ümber tiirlema. Siin on nende kauguste tabel.

Kaugused	Kilomeetrites	Suhteliselt
Maast Kuuni	380 000	1
Jupiterist III kaaslaseni	1 070 000	3
„ IV „	1 900 000	5
„ IX „	24 000 000	63

Te näete, et Jupiteri süsteemil on 63 korda suuremad mõõtmed kui süsteemil Maa-Kuu; nõnda kaugele laiali laotunud kaaslaste perekonda ei ole mitte ühelgi teisel planeedil.

Järelikult ei ole aluseta Jupiteri võrdlemine väikese päikesega. Tema mass on kolm korda suurem kui kõigi ülejäänud planeetide massid kokku, ja kui Päike järsku kaoks, võiks tema kohta täita Jupiter, sundides kõiki planeete, kuigi aeglasemalt, tiirlema enda kui süsteemi uue emakeha ümber.

Ka füüsiliselt ehituselt on olemas Jupiteri ja Päikese sarnasuse jooni. Tema aine keskmine tihedus — 1,35 vee suhtes — on lähedane Päikese tihedusele (1,4). Jupiteri tugev lapikus viib siiski sellise kujutluseni, et Jupiteril on tihe tuum, mis on ümbritsetud paksu jääkihi ja gigantse atmosfääriga.

Veel üsna hiljaaegu mindi Jupiteri ja Päikese võrdlemisega veel kaugemale; oletati, et see planeet ei ole kaetud kõva koorega ja on vaevalt väljunud isehelendava keha staadiumist. Praegu tuleb sellest vaatest loobuda: Jupiteri temperatuuri vahetu mõõtmine on näidanud, et see on erakordselt madal: 140°C alla nulli! Tõsi küll, jutt on Jupiteri atmosfääris ujuvate pilvekihtide temperatuurist.

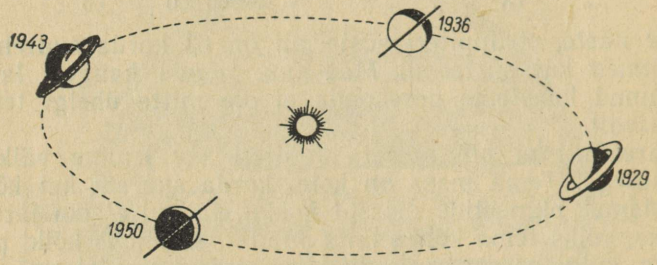
Jupiteri madal temperatuur teeb tema füüsiliste iseärasuste — tormilised nähtused atmosfääris, vööndid, laigud jms. — seletamise raskelt lahendatavaks ülesandeks. Astronoomia seisab siin suure hulga mõistatuste ees.

Hiljaaegu avastati Jupiteri (ja samuti selle naabri Saturni) atmosfääris suure hulga ammoniaagi ja metaani kaheldamatu olemasolu. *

* Veel suurem on metaani hulk kaugemate planeetide — Uurani ja eriti Neptuuni atmosfääris. 1944. a. avastati metaanist koosnev atmosfäär Saturni kõige suuremal kaaslasel Titaanil. *(Toim. märkus.)*

Saturni rõngaste kadumine

1921. a. levis meil sensatsiooniline kuulujutt: Saturn on oma rõngastest ilma jäänud! Vähe sellest — purunenud rõngaste tükid lendavad maailmaruumis Päikese suunas ja peavad tee peal tabama Maad. Nimetati koguni päeva, millal peab toimuma katastroofiline kokkupõrge...



Joon. 67. Milliseid asendeid võtavad Saturni rõngad Päikese suhtes planeedi 29-aastase ringkäigu kestel mööda orbiiti.

See lugu võib olla iseloomustavaks näiteks selle kohta, kuidas sünnivad kuulujutud. Sensatsiooni tekkimise ajendiks oli lihtsalt see asjaolu, et Saturni rõngad ei olnud nimetatud aastal lühikest aega nähtavad, «kadusid» — astronoomilise kalendri väljenduse järgi. Kuulujutt mõistis seda väljendust täht-tähelt kui füüsilist kadumist, s. t. rõngaste purunemist, ja ilustas sündmust edasiste üksikasjadega, mis on kohased ülemaailmsele katastroofile; siit on pärit rõngaste tükkide langemine Päikese poole ja möödapääsmatu kokkupõrkamine Maaga.

Kui palju kära tekitas astronoomilise kalendri süütu teade Saturni rõngaste optilisest kadumisest! Millest aga on tingitud see kadumine? Saturni rõngad on väga õhukesed; nende paksus on kaks-kolmkümmend kilomeetrit; nende laiusega võrreldes on neil paberilehe paksus. Seepärast, kui rõngad asetuvad Päikese poole servaga, ei saa nende ülemised ja alumised pinnad valgust — ja rõngad muutuvad nähtamatuks. Nähtamatud on nad ka siis, kui nad asuvad servaga maapealse vaatleja poole.

Saturni rõngad on Maa orbiidi-tasapinna suhtes 27° nurga all kaldu, kuid 29 aastat vältava täistiiru ajal mööda planeedi orbiiti asetuvad rõngad orbiidi kahes diametraalselt vastastikku asuvas punktis servaga Päikese ja maapealse vaatleja poole (joon. 67). Kahes teises punktis aga, mis asuvad esimestest 90° võrra eemal, näitavad rõngad seevastu Päikesele ja Maale oma suurimat laiust — «avanevad», nagu ütlevad astronoomid.

Astronoomilised anagrammid

Saturni rõngaste kadumine valmistas kunagi palju peavalu Galileile, kes oli lähedal planeedi selle tähelepanuväärsuse avastamisele, kuid ei teinud seda teoks just rõngaste arusaamatu kadumise tõttu. See lugu oli väga huvitav. Tol ajal valitses komme kinnitada omapärasel viisil endale prioriteet mingis avastuses. Sattunud avastusele, mis vajas edasist tõendamist, võttis õpetlane kartusest, et teda ennetavad teised, abiks anagrammi (tähtede ümberpaigutamise); ta tegi oma avastuse olemuse lühidalt teatavaks anagrammi kujul, mille tõeline tähendus oli teada vaid temale üksi. See andis õpetlastele võimaluse ruttamata kontrollida oma avastust, ja teise pretendendi ilmumise korral — tõestada oma prioriteeti. Kui ta aga lõplikult veendus esialgse oletuse õigsuses, avaldas ta oma anagrammi saladuse. Märganud oma ebatäiusliku pikksilmaga, et Saturnil on külgedel mingisugused lisandid, ruttas Galilei avaldust tegema selle avastuse kohta ning tegi teatavaks järgmise tähtede kogumi:

Smaismrmielmepoetaleumibuvnenugttaviras.

Täiesti võimatu on ära arvata, mis on selle šifri all peidus. Muidugi võib järele proovida kõiki ümberpaigutusi nendest 39 tähest ja sel kombel üles leida selle fraasi, mille koostas Galilei; selleks tuleks aga teha koletu töö. Kes tunneb ühendite teooriat, see võib avaldada siin võimalike erinevate ümberpaigutuste (permutatsioonide) üldarvu. Siin see on

$$\frac{39!}{3!5!4!4!2!2!5!3!3!2!2!}$$

See arv koosneb umbes 35 numbrist (tuletame meelde, et sekundite arv aastas koosneb «ainult» 8 numbrist!). Nüüd on mõistetav, kuivõrd hästi kindlustas Galilei oma avastuse saladuse.

Itaalia õpetlase kaasaegne Kepler temale omase võrratu kannatusega ei näinud vähe vaeva selleks, et tungida Galilei avalduse varjatud tähendusse, ja temale näis, et ta on selleni jõudnud, kui ta teatavaks tehtud tähtedest (välja jätnud kaks) oli koostanud niisuguse ladinakeelse fraasi:

Salve, umbistineum geminatum Martia proles
(Tervitus teile, kaksikud, Marsi sünnitis).

Kepler oli veendunud, et Galilei on avastanud need kaks Marsi kaaslast, mille olemasolu ta ise kahtlustas * (need tõepoolest avastatigi, kuid kaks ja pool sajandit hiljem). Ometi ei tabanud Kepleri teravmeelsus seekord märki. Kui Galilei lõpuks avas oma avalduse saladuse, osutus, et see fraas — kui jätta kaks tähte tähele panemata — on selline:

Altissimum planetam tergeminum observavi
(Kõrgeimat planeeti vaatlesin kolmekordsena).

Oma pikksilma nõrkuse tõttu ei saanud Galilei mõista Saturni sellise «kolmekordse» kuju tõelist tähendust, ja kui planeedi külgmised lisandid mõne aasta pärast täiesti kadusid, jõudis Galilei otsusele, et ta oli eksinud ja Saturnil ei ole mitte mingisuguseid lisandeid.

Saturni rõngaid avastada õnnestus alles poole sajandi pärast Huygensil. Nagu Galileigi, ei teinud ta oma avas-

* Kepler juhindus seejuures ilmselt oletatavast progressioonist planeetide kaaslaste arvus; teades, et Maal on üks kaaslane ja Jupiteril neli, pidas ta loomulikuks vahepealsel planeedil Marsil kahe kaaslase olemasolu. Taoline mõttekäik sundis ka teisi mõtlejaid arvama, et Marsil on olemas kaks kaaslast. Voltaire'il leiame astronoomilises fantaasias «Mikromegas» (1750. a.) märkuse selle kohta, et tema kujutletavad rändurid nägid Marsile liginedes «kaht kuud, mis teenisid seda planeeti ja mis senini on meie astronoomide pilgu eest varju jäänud». Veel varem kirjutatud Swifti «Gulliveri reisides» (1720. a.) leidub taoline koht: Laputamaa astronoomid «avastasid kaks kaaslast, mis tiirlevad ümber Marsi». Need huvitavad oletused said täieliku kinnituse osaliseks alles 1877. a., millal Hall avastas Marsi kahe kaaslase olemasolu tugeva teleskoobi abil.

tust kohe teatavaks, vaid peitis oletuse salakirja alla varju:

Aaaaaaaccccccdeeeeeghiiiiiiiilllllmmnnnnnnnnnn
oooooppqrrsttttttuuuuu

Kolm aastat hiljem, olles veendunud oma oletuse õigsuses, tegi Huygens avalikult teatavaks avalduse tähenduse:

Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato

(Ümbritsetud õhukese, tasase rõngaga, mis kuskil ei puutu külge ja on ekliptika suhtes kaldu).

Planeet, mis on kaugemal kui Neptuun

Selle raamatu esimeses väljaandes (1929. a.) ma kirjutasin, et viimane meile teada olev päikesesüsteemi planeet on Neptuun, mis asub Päikesest 30 korda kaugemal kui Maa. Praegu ma ei saa seda korrata, sest et 1930. a. lisas meie päikesesüsteemile juurde uue liikme — üheksanda suure planeedi, mis tiirleb ümber Päikese kaugemal kui Neptuun.

See avastus ei olnud täiesti ootamatu. Astronoomid kaldusid juba ammu mõttele, et on olemas tundmatu planeet, mis on kaugemal kui Neptuun. Natuke enam kui 100 aastat tagasi peeti päikesesüsteemi äärmiseks planeediks Uuranit. Mõningad ebakorrapärasused tema liikumises viisid mõttele, et on olemas veel kaugem planeet, mille külgetõmme tekitab Uurani kõrvalekaldumisi ettearvatud teest. Küsimuse matemaatilist uurimist inglise matemaatiku Adamsi ja prantsuse astronoomi Leverrier' poolt kroonis hiilgav avastus: planeeti, mille olemasolu oli kahtlustatud, nähti teleskoobiga. Maailm, mis oli avastatud arvutajate «suleotsaga», oli ka inimsilmaga üles leitud.

Nii avastati Neptuun. Pärastpoole selgus, et Neptuuni mõju ei selgita jäägitult kõiki ebakorrapärasusi Uurani liikumises. Siis kerkis esile mõte, et on olemas veel üks, Neptuunist kaugemal olev planeet. See tuli üles otsida, ja arvutajad hakkasid töötama selle ülesande kallal. Esitati selle mitmesuguseid lahendusvariante: üheksandat

planeeti pandi erisugustele kaugustele Päikesest ning otsitava taevakeha massile anti erinevaid väärtusi.

1930. a. (õigemini juba 1929. a. lõpul) tõi teleskoop lõpuks päikesesüsteemi äärealade pimedusest välja meie planeetide perekonna uue liikme, mis sai nimeks Pluuto. Selle avastuse tegi noor astronoom Tombaugh.

Pluuto ringleb mööda teed, mis on väga lähedal ühele nendest orbiitidest, mis olid enne ette arvutatud. Sellest hoolimata ei saa selles eriteadlaste kinnituse järgi näha arvutaja kordaminekut; orbiitide kokkulangemine ei ole antud juhul rohkem kui huvitav juhus.

Mida me teame sellest vastavastatud maailmast? Esialgu veel vähe; ta on meist nii kaugel ja Päike valgustab teda nõnda kasinalt, et tugevaimate instrumentide abil õnnestus suure vaevaga mõõta tema diameetrit. See oli 5900 km ehk 0,47 Maa diameetrit.

Pluuto liigub ümber Päikese kaunis väljavenitatud (ekstsentrilisus 0,25) orbiiti mööda, mis on märgatavalt kaldu (17°) Maa orbiidi-tasapinna suhtes, Päikesest 40 korda suuremal kaugusel kui Maa. Umbes 250 aastat kulutab planeet selleks, et läbi käia seda hiiglasuurt ringteed.

Pluuto taevast paistab Päike 1600 korda nõrgemini kui Maa omast. Päike on nähtav väikese kettana 45 nurgasekundi all, s. t. umbes sellise suurusega, nagu meie näeme Jupiteri. Huvitav on siiski kindlaks teha, kumb paistab heledamini: Kas Päike Pluutol või täiskuu Maa peal?

Osutub, et kauge Pluuto ei ole sugugi nõnda ilma jäetud päikesevalgusest, nagu võiks arvata. Täiskuu paistab meil 440 000 korda nõrgemalt kui Päike. Pluuto taevas aga on päevane valgusallikas nõrgem kui meil 1600 korda. Tähendab, päikesevalguse eredus on Pluutol $\frac{440\,000}{1\,600}$ korda, s. o. 275 korda tugevam kui täiskuu valgus Maa peal. Kui taevas on Pluutol niisama selge kui Maa peal (see on tõenäoline, sest et Pluuto on nähtavasti atmosfäärist ilma jäänud), siis on päevavalgus seal võrdne 275 täiskuu valgusega ja on korda 30 heledam kui kõige valgem öö Leningradis. Seepärast oleks ebaõige nimetada Pluutot igavese öö riigiks.

Üheksa suurt planeeti, millest me senini oleme vestelnud, ei ammenda veel kogu planeetidest elanikkonda meie päikesesüsteemis. Nad on vaid selle suuruselt kõige silmapaistvamad esindajad. Peale nende tiirleb ümber Päikese erisugustel kaugustel veel suur hulk väga palju väiksemaid planeedikesi. Neid planeetide-maailma kääbuseid nimetatakse asteroidideks (otseses tähenduses — — «tähesarnane») ehk lihtsalt «väikesteks planeetideks». Nendest kõige suurema, Cerese läbimõõt on 770 km; ta on ruumalalt Kuust palju väiksem, umbes nii mitu korda, kui mitu korda Kuu ise on Maast väiksem.

Esimene väikestest planeetidest, Ceres, avastati möödunud sajandi esimesel ööl (1. jaanuaril 1801. a.). XIX saj. jooksul avastati neid üle 400. Kõik väikesed planeedid liiguvad ümber Päikese Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Veel hiljutise ajani peeti seepärast kindlaksteh-tuks, et asteroidid on rõngana koondunud laia vahemikku kahe nimetatud planeedi orbiitide vahele.

XX sajand ja eriti kõige hilisemad aastad nihutasid asteroidide vööndi piirid laiemale. Juba möödunud sajandi lõpul (1898. a.) leitud Eros läks üle nende piiride, sest et suur osa tema teest asub seespool Marsi orbiiti. 1920. a. sattusid astronoomid asteroidi Hidalgo peale, mille tee lõikab Jupiteri orbiiti ja läheb Saturni orbiidi lähedalt mööda. Asteroid Hidalgo on tähelepanuväärne veel teiseski suhtes: kõigi tuntud planeetide seas on tal erakordselt väljavenitatud orbiit (selle ekstsentrilisus on 0,66), sellele lisaks on ta kõige tugevamini kaldu Maa orbiidi tasapinna suhtes: 43° nurga all.

Märgime muuseas, et oma nime sai see väike planeet Hidalgo y Costilla auks, kes oli kuulus kangelane Mehhiko revolutsioonilises võitluses oma sõltumatuse eest (lasti maha 1811. a.).

Veel enam laienes kääbusplaneetide tsoon 1936. a., millal avastati asteroid ekstsentrilisusega 0,78. Meie päikesesüsteemi uus liige sai nimeks Adonis. Vastavastatud väikese planeedi iseärasuseks on see, et ta oma tee kõige kaugemas punktis eemaldub Päikesest peaaegu Jupiteri kaugusele, lähimas aga läheb Merkuuri orbiidi lähedalt mööda.

Lõpuks avastati 1949. a. väike planeet Ikaros, millel on

ainulaadne orbiit. Selle ekstsentrilisus on 0,83, suurim kaugus Päikesest on kaks korda suurem Maa orbiidi raadiusest, aga vähim — umbes üks viiendik Maa ja Päikese vahelisest kaugusest. Mitte ükski tuntud planeetidest ei lähe Päikesele nii lähedale kui Ikaros.

Vastavastatud asteroidide registreerimise süsteem võib pakkuda üldist huvi, sest see on rakendatav peale astronoomia ka teistel aladel. Esiteks kirjutatakse välja väikese planeedi avastamise aasta, seejärel täht, mis tähendab avastamise kuupäeva poolkuud (aasta on jagatud 24 poolkuuks, mis on järjekorras tähistatud tähestiku tähtedega). Kuna poolkuu kestel avastatakse tihti mitu väikest planeeti, siis tähistatakse neid veel teise tähega tähestiku järjekorras. Kui 24 tähest tuleb puudu, siis korratakse neid algusest peale, kuid numbritega nende kõrval all. Näiteks 1932 EA_1 on asteroid, mis on avastatud 1932. a. märtsikuu esimesel poolel 25-ndana. Pärast äsjaavastatud planeedi orbiidi väljaarvutamist saab ta järjekorranumbri ja seejärel ka nime.

Suurest hulgast väikestest planeetidest on esialgu tõenäoliselt vaid väike osa astronoomilistele instrumentidele kättesaadav, ülejäänud libisevad jahipidajate võrkudest välja. Arvestuste järgi peab asteroidide arv päikesesüsteemis olema 40—50 tuhande piirides.

Käesoleval ajal ulatub astronoomide poolt kinnipüütud kääbusplaneetide arv üle poolteise tuhande: nendest üle saja on avastatud Simeizi observatooriumi (Krimmis, Musta mere rannal) astronoomide poolt, eeskätt agara asteroidide püüdja G. N. Neuimini jõupingutuste tulemusel. Lugeja ei pane imeks, kohates väikeste planeetide nimestikus selliseid nimesid, nagu «Vladilena» (Vladimir Iljitš Lenini auks), samuti aga ka «Morozovia» ja «Figneria» (Schlüsselburgi kangelaste auks), «Simeiza» jt. Avastatud asteroidide arvu poolest on Simeiz ühel esikohtadest maailma observatooriumide hulgas; asteroididega seotud teoreetiliste küsimuste läbitöötamise poolest on nõukogude astronoomial samuti silmapaistev koht maailma teaduses. NSV Liidu Teaduste Akadeemia Teoreetilise Astronoomia Instituut (Leningradis) teostab paljude aastate kestel suure hulga väikeste planeetide asukohtade ettearvutamist ja nende liikumiste teooria parandamist. Instituudi poolt avaldatakse igal aastal väikeste planeetide ettearvutatud

asukohad taevas (niinimetatud efemeriidid) kõigi maailma observatooriumide jaoks.

Väikeste planeetide mõõtmed on äärmiselt mitmekesised. Selliseid suuri, nagu Ceres või Pallas (diameeter 490 km), on nende hulgas vaid mõned. Umbes seitsmekümnel asteroidil on läbimõõt üle 100 km. Suuremal osal tuntud väikestest planeetidest on diameeter 20 kuni 40 km. Ent palju on ka päris «tillukesi» asteroide, mille diameeter on vaevalt 2—3 km (sõna «tilluke» on pandud jutumärkidesse, seepärast et astronoomi suus tuleb seda mõista suhteliselt). Olgugi et kaugeltki mitte kõik asteroidide rõnga liikmed ei ole avastatud, on siiski põhjust kinnitada, et kõigi avastatud ja avastamata asteroidide kogumass moodustab ligikaudu ühe tuhandiku maakera massist. Ollakse arvamusel, et senini on avastatud kõige enam 5% sellest asteroidide arvust, mis võib kaasaegsete teleskoopidega saavutatav olla.

«Võiks arvata,» kirjutas meie parim asjatundja väikeste planeetide alal G. N. Neuimin, «et kõigi asteroidide füüsilised omadused on umbkaudselt ühesugused; tegelikkuses me aga puutume kokku hämmastava mitmekesisusega. Nii näitasid juba esimese nelja asteroidi peegeldusvõime kindlaksmääramised, et Ceres ja Pallas peegeldavad valgust nii nagu Maa tumedad kivimid, Juno — nagu heledad kivimid, Vesta — valgete pilvede taoliselt. See on seda mõistatuslikum, et asteroidid ei saa oma väiksuse tõttu enda ümber atmosfääri kinni pidada; nad on viimasest kahtlemata ilma, ja kogu erinevust peegeldusvõimes tuleb kirjutada materjalide eneste arvele, millest koosneb planeedi pind.»

Mõnede väikeste planeetide juures tuleb ilmsiks heleduse kõikumine, mis annab tunnistust nende pöörlemisest ümber oma telgede ja ebakorrapärasest kujust.

Meie lähimad naabrid

Eelmises artiklis mainitud asteroid Adonis ei paista teiste seast välja üksnes oma orbiidi erakordselt suure, puhtal kujul komeedile omase väljavenitatusega. Ta on tähelepanuväärne ka selle poolest, et ta tuleb Maale väga ligidale. Oma avastamise aastal lendas Adonis Maast mööda $1^1/_2$ miljoni km kauguselt. Tõsi küll, Kuu on meile lähemal, ent Kuu on ju asteroididest järgu võrra alamal,

olgugi et ta on nendest palju suurem: ta ei ole iseseisev planeet, vaid planeedi kaaslane. Teine asteroid — Apollo — on samuti õigustatud Maale kõige lähemate planeetide nimekirjas olema. See asteroid läks oma avastamise aastal kõigest 3 miljoni km kauguselt Maast mööda. Sellist distantsi tuleb tunnistada (planeetide mõõdus) väga lühikeseks, sest et Marss ei ligine Maale enam kui 55 miljoni km kaugusele ja Veenus ei tule meile lähemale kui 40 miljonit km. Huvitav on, et Veenusele ligineb seesama asteroid veelgi rohkem: kõigest 200 000 km kaugusele — kaks korda lähemale kui Kuu Maale! Suuremat planeetide liginemist me päikesesüsteemis ei tunne.

See meie planeedist naaber on tähelepanuväärne veel sellegi poolest, et ta kuulub kõige väiksemate planeetide hulka, mis on astronoomide poolt registreeritud. Tema diameeter ei ole suurem kui 2 km, võib-olla aga on väiksemgi. 1937. a. avastati asteroid Hermes, mis võib Maale vahel peaaegu niisama lähedale tulla kui Kuu (500 000 km). Tema diameeter ei ole üle 1 km.

Selle näite varal on õpetlik järele vaadata, mida tähendab astronoomia keeles sõna «väike». Tilluke asteroid, mille ruumala on kõigest 0,52 km^3, s. o.

520 000 000 m^3,

kaalub, kui ta on graniidist, ligikaudu

1 500 000 000 t.

Sellest materjalist oleks võimalik püstitada 300 niisugust ehitist, nagu Cheopsi püramiid.

Te näete, kuivõrd omapäraselt tuleb mõista sõna «väike», kui seda tarvitab astronoom.

Jupiteri teekaaslased

1600 siiani tuntud asteroidi hulgast paistab silma oma hämmastava liikumise poolest rühm viieteistkümnest väikesest planeedist, millele on pandud Trooja sõja kangelaste nimed: Ahhilleus, Patroklos, Hektor, Nestor, Priamos, Agamemnon jne. Iga «troojalane» tiirleb ümber Päikese nii, et tema, Jupiter ja Päike asuvad igal momendil võrdkülgse kolmnurga tippudes. «Troojalasi» võib lugeda Jupiteri iselaadseteks teekaaslasteks, kes saadavad teda, jäädes suurele kaugusele: ühed on Jupiterist 60° võrra eespool, teised niisama palju temast

tagapool, ja kõik sooritavad täistiiru ümber Päikese ühe ning sama ajaga.

Selle planeetidekolmnurga tasakaal on püsiv: kui asteroid väljuks oma asendist, tooksid külgetõmbejõud tema mahajäetud kohta tagasi.

Ammu enne «troojalaste» avastamist oli selletaoline kolme külgetõmbava keha liikuva tasakaalu juhtum ette nähtud prantsuse matemaatiku Lagrange'i puhtteoreetilistes uurimustes. Ta vaatles seda juhtumit kui huvitavat matemaatikaülesannet ja arvas, et vaevalt küll kuskil universumis selletaolised vahekorrad reaalselt teostuvad. Agarad asteroidide otsingud viisid selleni, et Lagrange'i teoreetilise juhtumi jaoks leiti reaalne illustratsioon meie omaenda planeetide süsteemi piirides. Siin tuleb kujukalt ilmsiks, millist tähtsust astronoomia arengule omab nende rohkearvuliste taevakehade hoolikas tundmaõppimine, mis koondatakse ühte väikeste planeetide nime all.

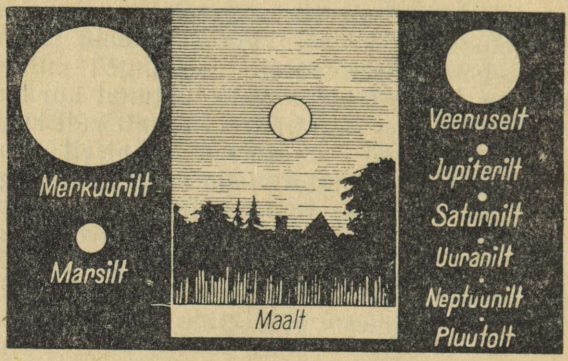
Võõrad taevad

Me oleme juba sooritanud kujuteldava lennu Kuu pinnale, selleks et heita sealt põgus pilk meie Maale ja teistele taevakehadele.

Külastame nüüd mõttes päikesesüsteemi planeete ning imetleme sealt avanevaid taevavaateid.

Alustame V e e n u s e g a. Kui atmosfäär oleks seal küllalt läbipaistev, siis me näeksime Päikese ketast, mis oleks pindalalt kaks korda suurem kui see, mis särab meie taevas (joon. 68), ja sellele vastavalt saadab Päike Veenusele kaks korda rohkem soojust ja valgust kui Maale. Veenuse öises taevas üllataks meid ebatavalise heledusega täht. See on Maa, mis särab siin palju heledamalt kui Veenus meil, olgugi et mõlema planeedi mõõtmed on peaaegu ühesugused. Kerge on taibata, mispärast see nii on. Veenus tiirleb ümber Päikese viimasele lähemal kui Maa. Seepärast me ei saa teda üldse näha tema suurima lähenduse ajal Maale: ta on meie poole pööratud valgustamata küljega. Ta peab mõnevõrra kõrvale minema, et nähtavaks muutuda, ja siis tuleb valgust ainult kitsast sirbist, mis moodustab Veenuse kettast väikese osa. Maa aga paistab Veenuse taevast suurima läheduse ajal Veenusele t ä i s k e t t a n a, nagu meil Marss vastasseisu ajal. Kokkuvõttes paistab Maa Veenuse taevast täisfaasis olles kuus

korda heledamalt kui Veenus meil oma suurima heleduse puhul, kui ainult, kordame, meie naabrinna taevas on täiesti selge. Vale oleks siiski arvata, et maavalgus, kallates ohtralt üle Veenuse öise poole, võiks põhjustada selle



Joon. 68. Päikese näivad mõõtmed Maalt ja teistelt planeetidelt vaadatuna.

«tuhkvalgust»: Veenuse valgustamine Maa poolt on oma valgustugevuselt võrdne normaalküünla valgustamisega 35 m kauguselt; seda muidugi ei piisa selleks, et sünnitada «tuhkvalguse» nähtust.

Maa paistele Veenuse taevast lisandub sageli veel meie Kuu paiste, mis ise üksinda särab siin neli korda heledamalt kui Siirius. Vaevalt küll leidub kogu päikesesüsteemis hiilgavamat objekti kui kaksiktaevakeha Maa-Kuu, mis kaunistab Veenuse taevast. Veenusel asuv vaatleja näeks suure osa ajast Maad ja Kuud lahus, teleskoobiga aga oleksid sealt eraldatavad koguni kuupinna detailid.

Teine planeet, mis eredalt särab Veenuse taevas, on Merkuur, Veenuse koidu- ja ehatäht. Muuseas, ka Maalt on Merkuur nähtav heleda tähena, mille ees Siiriuse valgus kahvatub. Veenusel paistab see planeet peaaegu kolm korda heledamalt kui Maa peal. See-eest Marss hiilgab $2^1/_2$ korda nõrgemini: pisut tuhmimalt kui meil paistab Jupiter.

Mis puutub kinnistähtedesse, siis tähtkujude ilmed on täiesti ühesugused päikesesüsteemi kõigi planeetide taevas. Merkuurilt, Jupiterilt, Saturnilt, Neptuunilt ja Pluu-

tolt me näeksime ühtesid ja neidsamu tähemustreid. Nii suur on tähtede eemalseis, võrreldes kaugustega planeetide vahel.

*

Kihutame Veenuselt ära väikesele Merkuurile, siirdume kummalisse maailma, mis on atmosfäärist ilma jäetud ega tunne päeva ja öö vaheldumist. Päike ripub siin liikumatult taevas hiiglasuure kettana, mis on kuus korda suurem (pindalalt) kui Maa peal (joon. 68). Meie planeet paistab Merkuuri taevast umbes kaks korda heledamalt kui Veenus Maa taevast. Veenus ise särab siin ebatavaliselt eredalt. Mitte ükski teine täht või planeet ei paista kuskil meie süsteemis nõnda pimestavalt, kui Veenus Merkuuri mustas pilvitus taevas.

*

Siirdume Marsile. Päike paistab siit kettana, mis on pindalalt kolm korda väiksem kui Maa pealt vaadatuna (joon. 68). Meie omaenda Maa hiilgab Marsi taevas koidu- ja ehatähena nagu meil Veenus, ent sellest tumedamalt, umbes nõnda, nagu meie näeme Jupiteri. Maa ei ole siin iialgi nähtav oma täisfaasis: marslased ei saaks korraga näha rohkem kui $^3/_4$ tema kettast. Meie Kuu paistaks Marsilt palja silmaga vaadates tähena, mis oleks niisama hele kui Siirius. Teleskoobis näitaksid nii Maa kui ka seda saatev Kuu oma faase.

Palju enam tähelepanu Marsi taevas peab endale tõmbama Marsi lähim kaaslane — Fobos: oma tühiste mõõtmete (diameeter 16 km) juures on ta Marsile niivõrd lähedal, et ta «täisfoobose» perioodil särab 25 korda heledamalt kui meil Veenus. Teine kaaslane Deimos on märksa vähem hele, ent temagi jätab varju Maa paiste Marsi taevas. Fobos on nõnda lähedal Marsile, et vaatamata tema väikestele mõõtmetele on tema faasid Marsilt hästi nähtavad. Väga terava nägemisega inimene märkaks tõenäoliselt ka Deimose faase (Deimos on Marsilt nähtav 1′ nurga all, Fobos aga umbes 6′ nurga all).

Enne kui edasi siirduda, peatume Marsi lähima kaaslase pinnal. Me näeme siit täiesti ainulaadset vaatepilti: taevas hiilgab kiiresti faase muutes hiigelketas, mis on mitu tuhat korda heledam kui meie Kuu. See on Marss.

Tema ketas võtab taeval enda alla 41°, s. o. 80 korda rohkem kui meil Kuu. Ainult Jupiteri lähima kaaslase peal võib veel vaadelda selletaolist ebaharilikku taevanähtust.

*

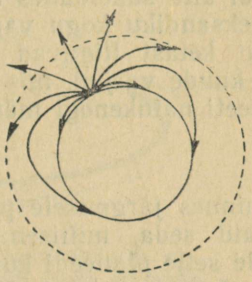
Siirdume äsjamainitud hiigelplaneedi pinnale. Kui Jupiteri taevas oleks selge, siis hiilgaks Päike selles kettana, mis oleks pindalalt 25 korda väiksem kui ta on meie taevas (joon. 68); niisama palju kordi paistab Päike seal ka tumedamalt. Lühike viietunnine päev vaheldub kiiresti ööga; tähtede foonil hakkame otsima tuttavaid planeete. Me leiame nad, ent kuidas on nad siin muutunud! Merkuur kaob Päikese kiirtes täiesti; Veenust ja Maad saab teleskoobiga vaadelda vaid videviku ajal — nad loojuvad koos Päikesega.* Marss on vaevumärgatav. See-eest Saturn võistleb heleduselt edukalt Siiriusega.

Silmapaistva koha Jupiteri taevas võtavad enda alla tema kuud: kaaslased I ja II on umbes niisama heledad kui Maa Veenuse taevas, III on kolm korda heledam kui Maa Veenuselt vaadatuna, IV ja V — mõned korrad heledamad kui Siirius. Mis puutub nende mõõtmetesse, siis on esimese nelja kaaslase näivad läbimõõdud suuremad kui Päikese näiv läbimõõt. Esimesed kolm kaaslast sukelduvad iga tiiru juures Jupiteri varju sisse, nii et täisketta faasis nad ei ole iialgi nähtavad. Selles maailmas tuleb ette ka täielikke päikesevarjutusi, ent nende nähtavuse piirkond hõlmab vaid kitsa vööndi Jupiteri pinnal.

Muide, vaevalt on Jupiteri atmosfäär niisama läbipaistev kui meil Maa peal: selleks on ta seal liiga paks ja tihe. Atmosfääri suur tihedus võib tekitada Jupiteril täiesti iselaadseid optilisi nähtusi, mis on seotud valguskiirte murdumisega. Maa peal on valguskiirte murdumine atmosfääris tähtsusetu ja kutsub esile vaid taevakehade kõrgemale tõusmise (optilise) taevas (vt. lk. 36). Atmosfääri suure paksuse ja tiheduse tõttu on aga Jupiteril võimalikud palju silmatorkavamad optilised nähtused. Kiired, mis lähtuvad pinna punktist (joon. 69) väga kaldu, ei lahku atmosfäärist üldse, vaid painduvad planeedi pinnale nagu raadiolained Maa atmosfääris. Vaat-

* Maa paistab Jupiteri taevas kaheksanda suuruse tähena.

leja, kes asub selles punktis, võib näha midagi täiesti ebaharilikku. Talle näib, et ta seisab hiiglasuure karika põhjas. Karika sees on laiali laotatud peaaegu kogu hiiglasuure planeedi pind, mille piirjooned on karika servade ligidal tugevasti kokku surutud. Ja karika kohal laiub



Joon. 69. Valguskiirte võimalik kõverdumine Jupiteri atmosfääris. (Selle nähtuse järelduste kohta vt. tekstist.)



Joon. 70. Jupiter, vaadelduna oma kolmandalt kaaslaselt.

taevas — mitte pool taevast, nagu meil, vaid peaaegu kogu taevas, ainult karika servade juures udune ja piirjoontes laiali valgunud. Päevane valgusallikas ei lahku iialgi sellelt kummaliselt taevalt, nii et kesköist Päikest võib näha planeedi igast punktist. Kas niisugused ebaharilikud tingimused on Jupiteril tegelikult olemas — seda senini kindlasti öelda muidugi ei saa.

Ebaharilikult efektset vaatepilti pakub Jupiter ise, vaadatuna oma lähematelt kaaslastelt (joon. 70). Näiteks

viiendalt (kõige ligemalt) kaaslaselt vaadatuna on planeedi hiigelketas läbimõõdult peaaegu 90 korda suurem kui meie Kuu * ja särab kõigest kuus-seitse korda nõrgemini kui Päike. Kui ta puudutab oma alumise servaga horisonti, ulatub tema ülemine serv keset taevavõlvi. Horisondi alla sukeldudes aga võtab see ketas enda alla ühe kaheksandiku kogu vaatepiirist. Mööda seda kiiresti pöörlevat ketast liiguvad aeg-ajalt tumedad ringid — Jupiteri kuude varjud, mis on muidugi võimetud gigantset planeeti natukenegi märgatavalt «varjutama».

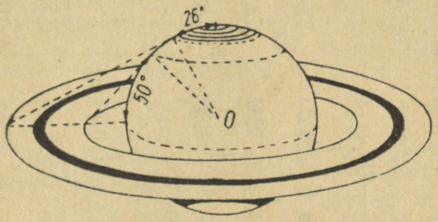
*

Üle minnes järgmisele planeedile, S a t u r n i l e, jälgime vaid seda, millisena paistavad Saturnil olevale vaatlejale selle planeedi kuulsad rõngad. Kõigepealt osutub, et rõngad ei ole nähtavad mitte kõigist Saturni pinna punktidest. Poolustest kuni 64. paralleelini paiknevad need kohad, kus rõngad ei ole üldse nähtavad. Nende polaaralade piirilt võib näha vaid kõige välimise rõnga välisserva (joon. 71). 64. paralleelist 50. paralleeli poole rõngaste nähtavuse tingimused paranevad, nähtav on järjest suurem osa nendest, ja 50. paralleelil võib vaatleja imetleda rõngaste kogulaiust, mis paistavad siin suurima nurga all — 12°. Planeedi ekvaatorile lähemale nad ahenevad vaatleja jaoks, kuigi tõusevad kõrgemale horisondi kohale. Saturni ekvaatoril endal võib rõngaid täheldada väga ahta triibuna, mis lõikab taevavõlvi läbi läänest itta ning läheb läbi seniidi.

Öeldu ei anna veel täielikku ettekujutust rõngaste nähtavuse tingimustest. Tuleb meeles pidada, et valgustatud on alati vaid rõngaste üks külg, teine jääb varju. See valgustatud osa on nähtav ainult Saturni sellelt poolelt, mille poole ta on pööratud. Saturni pikast aastast poole jooksul võib rõngaid näha ainult planeedi ühelt poolelt (ülejäänud ajal nad on nähtavad teiselt poolelt), ja ka siis peaasjalikult vaid päeval. Nendel vähestel tundidel, millal rõngad on nähtavad öösel, on nad planeedi varjust osaliselt varjutatud. Lõpuks veel üks huvitav üksikasi: ekvatoriaalrajoonid on rea Maa aastate jooksul rõngaste poolt varjatud.

* Jupiteri nurkdiameeter, nagu see on nähtav sellelt kaaslaselt, on üle 44°.

Kõige muinasjutulisem taevavaade on kahtlemata see, mis avaneks vaatlejale Saturni ühelt lähimalt kaaslaselt. See planeet oma rõngastega, eriti mittetäielikus faasis, kui Saturn on nähtav sirbi kujul, kujutab vaatepilti, mida



Joon. 71. Kuidas määrata Saturni rõngaste nähtavust planeedi pinna eri punktide jaoks. Planeedi polaarpiirkonnas kuni 64. paralleelini ei ole rõngad üldse nähtavad.

ei saa näha mitte ühestki teisest meie planeetide perekonna kohast. Taevast paistab selgesti hiiglasuur sirp, mis on läbi lõigatud servast nähtavate rõngaste ahta triibuga, ja nende ümber — rühm Saturni rõngaid samuti sirpide näol ainult palju väiksemate mõõtmetega.

* .

Järgnev tabel näitab — alanevas järjekorras — eri taevakehade võrdlevat heledust teiste planeetide taevas:

1. Veenus Merkuurilt
2. Maa Veenuselt
3. Maa Merkuurilt
4. *Veenus Maalt*
5. Veenus Marsilt
6. Jupiter Marsilt
7. *Marss Maalt*
8. Merkuur Veenuselt
9. Maa Marsilt
10. *Jupiter Maalt*
11. Jupiter Veenuselt
12. Jupiter Merkuurilt
13. Saturn Jupiterilt

Me tõstsime esile nr-d 4, 7 ja 10 — planeetide ilme M a a l t vaadatuna, sest et nende heledus, mis on meile tuttav, saab tugipunktiks olla taevakehade nähtavuse hindamisel teistel planeetidel. Siin on eriti kujukalt näha, et meie omaenda planeet Maa võtab heleduselt endale ühe esikohtadest Päikesele ligemate planeetide taevas: koguni

Planeetide süsteem arvudes

Mõõtmed. Mass. Tihedus. Kaaslased

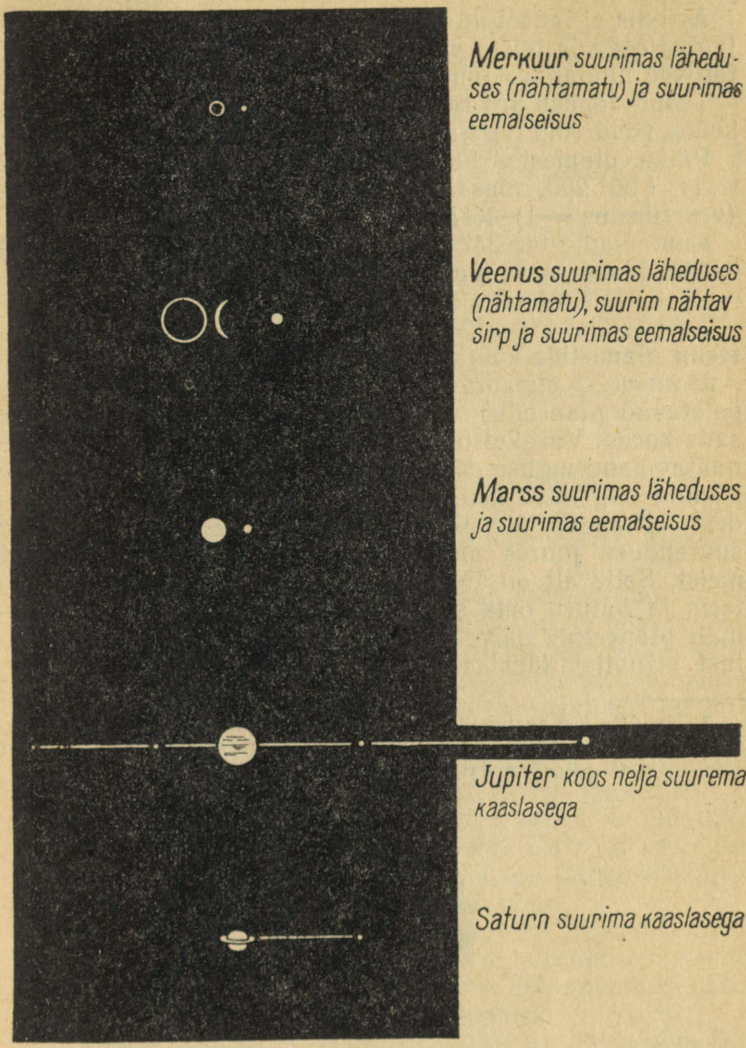
Planeedi nimi	Keskmine läbimõõt			Ruumala (Maa = 1)	Mass (Maa = 1)	Tihedus		Kaaslaste arv
	näiv sekundites	tõeline				Maa = 1	Vesi = 1	
		km	Maa = 1					
Merkuur	13—4,7	4 700	0,37	0,050	0,054	1,00	5,5	—
Veenus	64—10	12 400	0,97	0,90	0,814	0,92	5,1	—
Maa	—	12 757	1	1,00	1,000	1,00	5,52	1
Marss	25—3,5	6 600	0,52	0,14	0,107	0,74	4,1	2
Jupiter	50—30,5	142 000	11,2	1 295	318,4	0,24	1,35	12
Saturn	20,5—15	120 000	9,5	745	95,2	0,13	0,71	9
Uuran	4,2—3,4	51 000	4,0	63	14,6	0,23	1,30	5
Neptuun	2,4—2,2	55 000	4,3	78	17,3	0,22	1,20	2
Pluuto	0,2?	5 900	0,47	0,1	?	?	?	?

Kaugus. Tiirlemine. Pöörlemine. Raskusjõud

Planeedi nimi	Keskmine kaugus		Orbiidi ekstsentrilisus	Täistiiru kestus ümber Päikese Maa aastates	Keskmine kiirus orbiidil (km/sek)	Pöörlemisperiood ümber telje	Ekvaatori kaldenurk orbiidi-tasapinna suhtes	Raskusjõu tugevus (Maa=1)
	astronoomilistes ühikutes	miljonites km-tes						
Merkuur	0,387	57,9	0,21	0,24	47,8	88 p.	?	0,26
Veenus	0,723	108,1	0,007	0,62	35	30 p. ?	?	0,90
Maa	1,000	149,5	0,017	1	29,76	23 t. 56 min.	23°27′	1
Marss	1,524	227,8	0,093	1,88	24	24 t. 37 min.	25°10′	0,37
Jupiter	5,203	777,8	0,048	11,86	13	9 t. 55 min.	3°01′	2,64
Saturn	9,539	1426,1	0,056	29,46	9,6	10 t. 14 min.	26°45′	1,13
Uuran	19,191	2869,1	0,047	84,02	6,8	10 t. 48 min.	98°00′	0,84
Neptuun	30,071	4495,7	0,009	164,8	5,4	15 t. 48 min.	29°36′	1,14
Pluuto	39,458	5899,1	0,25	247,7	4,7	?	?	?



Joon. 72. Kuidas on näha Kuu ja planeedid teleskoobis, mis suurenvad Kuu ja planeetide kettad välja sellistena, nagu



dab 100 korda. Joonist tuleb hoida 25 cm kaugusel silmast, siis näeneid näeb silm ülalnimetatud suurendusega teleskoobis.

Merkuuri taevas hiilgab ta tugevamini kui meil Veenus ja Jupiter.

Artiklis «Planeetide tähesuurus» (IV ptk.) me pöördume tagasi Maa ja teiste planeetide heleduse täpsema, kvantitatiivse hindamise juurde.

Toome lõpuks ära rea arvulisi andmeid päikesesüsteemi kohta. Neid võib lugejale teatmete saamiseks tarvis minna.

Päike: diameeter 1 390 600 km, ruumala (Maa ruumala = 1) 1 301 200, mass (Maa mass = 1) 333 434, tihedus (vee tihedus = 1) 1,41.

Kuu: diameeter 3473 km, ruumala (Maa ruumala = 1) 0,0203, mass (Maa mass = 1) 0,0123, tihedus (vee tihedus = 1) 3,34. Keskmine kaugus Maast 384 400 km.

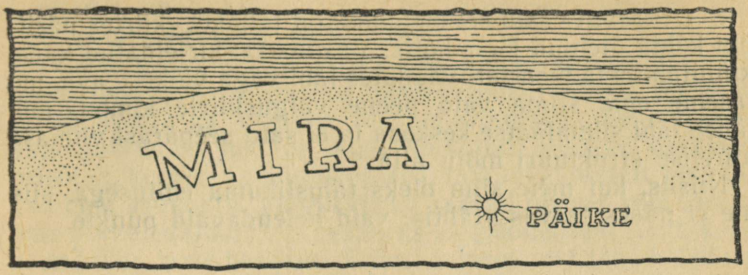
Tabelis lk. 134—135 on esitatud andmeid päikesesüsteemi planeetide kohta.

Joonisel 72 on antud näitlik kujutlus sellest, millistena paistavad planeedid väikeses teleskoobis, mis suurendab sada korda. Vasakul on võrdluseks antud Kuu, nagu ta on nähtav samasuguse suurenduse puhul (joonist tuleb hoida parima nägemise kaugusel, s. o. 25 cm kaugusel silmadest). Paremal üleval on kujutatud Merkuur nimetatud suurenduse juures oma vähimal ja suurimal kaugusel meist. Selle all on Veenus, seejärel Marss, Jupiteri süsteem ja Saturn oma suurima kaaslasega. (Üksikasjalisemalt planeetide näivate mõõtmete kohta vt. minu raamatust «Huvitav füüsika» II, IX ptk.) *

---

* Nendele, kes soovivad iseseisvalt täiendada oma teadmisi päikesesüsteemi kohta, võib soovitada prof. S. N. Blažko üksikasjalist «Üldist astronoomiat», Gostehizdat, 1947 (v. k.).





NELJAS PEATÜKK

TÄHED

Mispärast tähed näivad tähtedena?

Vaadates tähti palja silmaga, me näeme neid kiirgavatena.

Tähtede kiirgava ilme põhjus peitub meie silmas, silmaläätse, millel ei ole mitte ühtlane ehitus nagu heal klaasil, vaid kiuline, ebaküllaldases läbipaistvuses. Selle kohta ütleb Helmholtz (kõnes «Nägemisteooria edusammud»):

«Silmaga saadavate valguspunktide kujutised on ebaõigelt kiirgavad. Selle põhjus asub silmaläätses, mille kiud on asetatud kiirtekujuliselt kuues suunas. Need kiired, mis näivad meile lähtuvat helendavatest punktidest — näiteks tähtedest, kaugetest tulukestest —, ei ole muud kui silmaläätse kiirelise ehituse väljendus. Kuivõrd see silma puudus on üldine, on näha sellest, et iga kiirgavat kujundit nimetatakse harilikult tähekujuliseks.»

Moodus meie silmaläätse selle puuduse mõjust vabanemiseks ja tähtede nägemiseks kiirteta, pöördumata seejuures teleskoobilt abi otsima, on olemas. Selle mooduse juhatas juba 400 aastat tagasi kätte Leonardo da Vinci.

«Vaata,» kirjutas ta, «tähti ilma kiirteta. Seda võib saavutada, vaadeldes neid läbi väikese ava, mis on tehtud peene nõela otsaga ja mis on pandud otse silma juurde. Sa näed tähti nõnda väikestena, et miski muu ei saa paista väiksemana.»

See ei räägi vastu sellele, mida on tähtede «kiirte» päritolu kohta ütelnud Helmholtz. Vastuoksa, kirjeldatud katse kinnitab tema teooriat: vaadates läbi väga väikese ava, me laseme oma silma vaid peene valguskiirte kimbu, mis läheb läbi silmaläätse keskosa ja ei satu seepärast viimase kiirelise struktuuri mõju alla. *

Niisiis, kui meie silm oleks täiuslikuma ehitusega, siis me ei näeks taevas «tähti», vaid helendavaid punkte.

Miks tähed vilguvad, planeedid aga hiilgavad rahulikult?

Kinnistähe ja «rändtähe», s. t. planeedi ** vahel on palja silmaga väga kerge vahet teha isegi taevakaarti tundmata. Planeedid hiilgavad r a h u l i k k u valgust, tähed aga v i l g u v a d järelejätmatult, just nagu välgahtavad, värelevad, muudavad heledust, ja heledad tähed madalal horisondi kohal veel sillerdavad lakkamatult mitmesugustes värvides. «See valgus,» ütleb Flammarion, «kord ere, kord nõrk, vahelduv, kord valge, kord roheline, kord punane, sädelev kui selge teemant — see elustab tähekõrbi, mõjustades tähtedes nägema justkui silmi, mis vaatavad maa peale.» Eriti tugevasti ja värviküllaselt vilguvad tähed pakastel öödel ja tuulise ilmaga, samuti peale vihma, kui taevas on kiiresti selgeks läinud.*** Horisondi kohal seisvad tähed vilguvad märgatavamalt kui need, mis kiirgavad kõrgel taevas; valged tähed — tugevamini kui kollakad või punakad.

Nii nagu kiirgaminegi, ei ole vilkumine tähtedele enestele omane omadus; selle annab nendele Maa atmosfäär, mille tähtede kiired peavad läbima, enne kui satuvad silma. Tõusnud kõrgemale rahutust gaasilisest kattest, mille läbi me näeme universumit, me ei märkaks tähtede vilkumist: nad hiilgavad seal rahulikku pidevat valgust.

Vilkumise põhjuseks on seesama, mis paneb värelema

---

* Rääkides tähtede «kiirtest», me ei pea siin silmas seda kiirt, mis sirutub meie poole tähelt, kui me vaatame seda pilutatud silmaga: see nähtus on tingitud valguse difraktsioonist silmaripsmetel.

** Kreeka keelest tulnud sõna «planeet» tähendab «rändavat tähte».

*** Suvel on tugev vilkumine vihma lähenemise tundemärgiks, sest et ta näitab tsükloni lähedust. Vihma eel helgivad tähed peaasjalikult s i n i s e värvusega, põua eel — r o h e l i s e g a (Hanevski, «Valgusnähtused atmosfääris»).

kauged esemed, kui maapind on kuumadel päevadel Päikese poolt tugevasti soojendatud.

Tähevalgusel ei tule läbida siis ühtset keskkonda, vaid gaasikihte, mis on erineva temperatuuri, erineva tiheduse ja järelikult ka erineva murdmisvõimega. Selletaolises atmosfääris on justkui laiali külvatud arvukad optilised prismad, kumer- ja nõgusläätsed, mis lakkamatult muudavad oma asukohta. Valguskiired saavad nendes rohkearvuliste kõrvalekaldumiste osaliseks sirgjoonelisest teest, kord koondudes, kord hajudes. Sellest tulenevadki tähe heleduse sagedased muutused. Kuna aga valguse murdumisega kaasneb värvuste hajumine, siis on heleduse kõikumiste kõrval tähele pandavad ka värvingu muutused.

«On olemas moodused,» kirjutab Pulkovo astronoom G. A. Tihhov, kes on uurinud vilkumisnähtust, «mis võimaldavad loendada vilkuva tähe värvimuutuse arvu teatud aja jooksul. Osutub, et need muutused toimuvad erakordselt kiiresti, ja nende arv kõigub eri juhtudel mõnest kümnest kuni saja ja enamani sekundis. Selles saab veenduda järgmisel lihtsal viisil. Võtke binokkel ja vaadake sellega heledat tähte, pannes binokli objektiivipoolse otsa kiiresti ringjooneliselt liikuma. Siis näete te tähe asemel rõngast, mis koosneb paljudest üksikutest eri värvi tähtedest. Äglasema vilkumise või binokli väga kiire liikumise puhul laguneb see rõngas tähtede asemel eri värvi kaarteks suure või väikese pikkusega.»

Jääb selgitada, mispärast planeedid erinevalt tähtedest ei vilgu, vaid hiilgavad ühtlaselt, rahulikult. Planeedid on meile väga palju lähemal kui tähed; nad ei paista silmale seepärast punktina, vaid helendava kettakesena, olgugi niivõrd väikeste nurkmõõtmetega, et nende pimestava helenduse tõttu need nurkmõõtmed on peaaegu tunnetamatud.

Sellise ketta iga üksik punkt vilgub, kuid eri punktide heleduse ja värvuse muutused toimuvad üksteisest sõltumatult eri ajamomentidel, ja seepärast täiendavad üksteist; ühe punkti heleduse nõrgenemine langeb ühte teise heleduse tugevnemisega, nii et planeedi üldine valgustugevus jääb muutumatuks. Sellest tulebki planeetide rahulik, vilkumiseta sära.

Tähendab, planeedid paistavad meile vilkumatutena seetõttu, et nad vilguvad korraga paljudes punktides, ent eri ajamomentidel.

Kas päeval on tähti näha?

Päeval asuvad meie peade kohal need tähtkujud, mis pool aastat tagasi olid nähtavad öösel ja kuue kuu pärast uuesti kaunistavad öist taevast. Maa valgustatud atmosfäär takistab meil nende nägemist, sest et õhuosakesed hajutavad päikesekiiri suuremal hulgal, kui tähed meile saadavad. *

Lihtsa katsega saab kujukalt selgitada seda tähtede kadumist päevavalgel. Pappkarbi külgseina torgatakse mõned augukesed, mis paiknevad mingi tähtkuju taoliselt, ja kleebitakse väljastpoolt üle valge paberilehega. Karp paigutatakse pimedasse tuppa ja valgustatakse seestpoolt: läbitorgitud seinal tulevad siis selgesti esile seestpoolt valgustatud augukesed — need on tähed öises taevas. Ent tarvitseb vaid, katkestamata seestpoolt valgustamist, süüdata toas küllalt hele lamp, ja kunstlikud tähed paberilehel kaovad jäljetult: «päevavalgus» kustutab tähed.

Tihti võib lugeda, et sügavate šahtide ja kaevude, kõrgete korstnate jms. põhjast võib tähti eraldada päevalgi. See levinud veendumus, mida hoiti alal viidetega autoriteetsetele nimedele, võeti alles hiljaaegu kriitilise kontrollimise alla ja ta ei leidnud kinnitust.

Õieti ei ole ükski sellest kirjutanud autoritest — Aristotelesest muinasajal John Herschelini XIX sajandil — näinud tähti taolistel tingimustel ise. Kõik viitavad kolmandate isikute tõendustele. Kuivõrd vähe usaldatavad on siiski «oma silmaga nägijate» tõendused, seda näitab järgmine huvitav lugu. Ühes Ameerika ajakirjas ilmus artikkel, mis tembeldas tähtede päevase nähtavuse kaevude põhjast muinasjutuks. See arvamus lükati energiliselt tagasi ühe farmeri kirjas, milles ta kinnitas, et nägi ise päeval Kapellat ja Algolit 20-meetrilisest silotornist. Kontrollimisel aga selgus, et sellel laiusel, kus asub vaatleja farm, ei ole ei see ega teine täht nimetatud aastaajal

---

* Vaadeldes taevast kõrgelt mäelt, s. t. olles kõrgemal atmosfääri kõige tihedamast ning tolmusemast osast, võib näha kõige heledamaid tähti ka päevastel tundidel. Nii on Ararati tipult (5 km kõrge) esimese suuruse tähed hästi eraldatavad kell 2 päeval; taevas on seal tumesinine. (Imelikul kombel märkis stratostaadi «Osoaviahim 1» meeskond siiski, olles 21 km kõrgusel, et tähti ei ole mingisuguseid, olgugi et taevas on seal «mustjasvioletne», vastavalt Fedossejenko ja Vassenko märkmetele.)

seniidis ega saanud järelikult nähtav olla torni sügavusest.

Teoreetliselt ei ole selleks alust, et šaht või kaev võiks aidata päeval tähti näha. Nagu me juba rääkisime, ei ole päeval tähti näha seepärast, et nad upuvad taeva valgusesse. See tingimus ei muutu silma jaoks, mis asub šahti põhjas. Langeb ära vaid külgvalgus šahti ulatuses, ent kiired, mida levitavad kõik šahti avast kõrgemal oleva õhukihi osakesed, peavad endistviisi segama tähtede nägemist.

Tähtsust omab antud juhul ainult see, et kaevu seinad varjavad silma eredate päikesekiirte eest; see võib hõlbustada ainult heledate planeetide, mitte aga tähtede vaatlemist.

Teleskoobis ei ole tähed päeval nähtavad hoopiski mitte seepärast, nagu paljud arvavad, et neid vaadatakse «toru põhjast», vaid seepärast, et kiirte murdumine klaasides või peegeldumine peeglitelt nõrgendab vaadeldava taevapiirkonna heledust, sellal kui tähe enda (mis on punktikujuline) heledus seevastu tugevneb. Teleskoobiga, millel on objektiiv diameetriga 7 cm, võib päeval näha esimese ja koguni teise suuruse tähti. Ent kaevude, šahtide ja korstnate kohta pole öeldu rakendatav.

Teine asi on heledad p l a n e e d i d: Veenus, Jupiter, Marss vastasseisus olles. Need paistavad tähtedest palju heledamalt, ja võivad seepärast olla soodsatel tingimustel päevaseski taevas nähtavad (selle kohta vt. alajaotusest «Planeedid päevavalgel» lk. 104).

Mis on tähesuurus?

Esimese ja mitte-esimese suuruse tähtede olemasolust teavad needki inimesed, kes on üsna kaugel astronoomiast: need väljendused on üldtarvitatavad. Kuid tähtedest, mis on esimesest suurusest heledamad: null- ja koguni negatiivse suurusega, on nad vaevalt kuulnud; neile näib ebaloogilisena, et negatiivse suurusega tähtede hulka kuuluvad kõige heledamad taevakehad, ja et meie Päike on «miinus 27. suuruse täht». Teised näevad selles võibolla koguni negatiivse arvu mõiste moonutamist. Meil aga on siin just kujukas näide negatiivsete arvude õpetuse järjekindlast elluviimisest.

Peatume üksikasjalisemalt tähtede liigitamisel suu-

ruste järgi. Vaevalt küll on vaja meelde tuletada seda, et sõna «suurus» all ei mõisteta sel juhul tähe geomeetrilisi mõõtmeid, vaid tema näivat heledust. Juba muiste eraldati kõige heledamad tähed, mis enne teisi süttisid õhtutaevas, ja kanti esimese suuruse tähtede hulka. Nendele järgnesid teise, kolmanda jne. suuruse tähed kuni kuuenda suuruse tähtedeni, mis on palja silmaga vaevalt eraldatavad. Niisugune subjektiivne tähtede jaotus nende heleduse järgi ei saanud rahuldada uue aja astronoome. Töötati välja kindlamad alused tähtede liigitamiseks heleduse järgi. Need seisnevad järgmises. On leitud, et kõige heledamad tähed on läbistikku (need tähed ei ole heleduselt ühesugused) heledamad kõige nõrgematest tähtedest, mis on veel palja silmaga nähtavad, täpselt 100 korda.

Tähtede heleduse skaala on kindlaks määratud nii, et kahe kõrvuti olevate suurustega tähe heleduse suhe jääb muutumatuks. Tähistades selle «valgussuhte» tähega n, saame:

2. suuruse tähed on 1. suuruse tähtedest nõrgemad n korda
3. „ „ „ 2. „ „ „ n „
4. „ „ „ 3. „ „ „ n „ jne.

Kui aga võrrelda kõigi muude suuruste tähtede heledust esimese suuruse tähtede heledusega, siis saame:

3. suuruse tähed on 1. suuruse tähtedest nõrgemad n^2 korda
4. „ „ „ 1. „ „ „ n^3 „
5. „ „ „ 1. „ „ „ n^4 „
6. „ „ „ 1. „ „ „ n^5 „

Vaatluste põhjal on leitud, et $n^5 = 100$. Valgussuhte n väärtust on nüüd kerge leida (logaritmide abil):

$$n = \sqrt[5]{100} = 2{,}5.\ *$$

Niisiis iga järgmise tähesuuruse tähed paistavad $2^1/_2$ korda nõrgemalt eelmise tähesuuruse tähtedest.

Tähealgebra

Vaatleme natuke üksikasjalisemalt kõige heledamate tähtede rühma. Me märkisime juba, et nende tähtede heledus ei ole ühesugune: ühed paistavad keskmisest mõned

* Valgussuhte täpsem väärtus on 2,512.

korrad heledamalt, teised — tuhmimalt (nende heleduse keskmine järk on selline, mis ületab 100 korda palja silmaga vaevalt eraldatavate tähtede heleduse).

Leiame ise heleduse tähistuse nendele tähtedele, mis on $2^1/_2$ korda heledamad keskmisest esimese suuruse tähest. Milline number on ühe ees? Number 0. Järelikult tuleb niisugused tähed kanda «nullsuurusega» tähtede hulka. Aga kuhu tuleb kanda tähed, mis ei ole esimese suuruse tähtedest heledamad mitte $2^1/_2$, vaid ainult poolteist või kaks korda? Nende koht on 1 ja 0 vahel, s. t. sellise taevakeha tähesuurus avaldub positiivse murdarvuna; öeldakse: «0,9. suuruse täht», «0,6. suuruse täht» jms. Niisugused tähed on esimese suuruse tähest h e l e d a m a d.

Nüüd saab mõistetavaks ka negatiivsete arvude sissetoomise vajadus tähtede heleduse tähistamiseks. Kuna on olemas tähti, mis valgustugevuselt ü l e t a v a d nullsuuruse, siis nende heledus tuleb ilmselt avaldada arvudega, mis seisavad teisel pool nulli — negatiivsete arvudega. Sellest tulenevad niisugused heleduse määrangud, nagu «miinus 1», «miinus 2», «miinus 1,6», «miinus 0,9» jms.

Astronoomia praktikas määratakse tähtede «suurus» kindlaks eriliste seadiste — fotomeetrite — abil: taevakeha heledust võrreldakse mingi kindla tähe, mille valgustugevus on teada, heledusega, või siis seadises oleva «kunstliku tähega».

Kogu taeva kõige heledama tähe Siiriuse tähesuurus on «miinus 1,6». Täht Kanopus (nähtav ainult lõunalaiustel) omab tähesuuruse «miinus 0,9». Taeva põhjapoolkera tähtedest kõige heledam, Veega, on 0,1. suuruse täht; Kapella ja Arktuurus on 0,2., Rigel 0,3., Procyon 0,5., Altair 0,9. suuruse täht. (Tuleb meeles pidada, et 0,5. suuruse tähed on h e l e d a m a d kui 0,9 suuruse tähed jms.) Toome ära taeva kõige heledamate tähtede loetelu koos nende tähesuuruse märkimisega (sulgudes on näidatud tähtkuju nimi):

Siirius (α Suures Penis) . . .	—1,6
Kanopus (α Argo Laevas)	—0,9
α Kentauris	0,1
Veega (α Lüüras)	0,1
Kapella (α Veomehes)	0,2
Arktuurus (α Karjases) . . .	0,2
Rigel (β Orionis)	0,3
Procyon (α Väikeses Penis)	0,5

Achernar (α Eridanuses) . .	0,6
β Kentauris	0,9
Betelgeuse (α Orionis)	0,9
Altair (α Kotkas)	0,9
α Lõuna Ristis	1,1
Aldebaran (α Sõnnis)	1,1
Pollux (β Kaksikutes)	1,2
Spica (α Neitsis)	1,2
Antares (α Skorpionis) . . .	1,2
Fomalhaut (α Lõuna Kalades) .	1,3
Deneb (α Luiges)	1,3
Regulus (α Lõvis)	1,3

Seda loetelu vaadates me näeme, et täpselt esimese suuruse tähti ei ole üldse olemas: 0,9. suuruse tähtedelt viib nimestik meid üle 1,1. suuruse, 1,2. suuruse jne. tähtedele, minnes mööda suurusest 1,0 (esimesest). Esimese suuruse täht on järelikult ainult heleduse tinglik standard, ent taevas teda ei ole.

Ei tule arvata, et tähtede jaotus tähesuuruste järgi on tingitud tähtede eneste füüsilistest omadustest. See tuleneb meie nägemise iseärasustest ja on järelduseks kõigile meeleorganitele ühisest «Weber-Fechneri psühhofüsioloogilisest seadusest». Nägemisele rakendatult kõlab see seadus järgmiselt: kui valgusallika valgustugevus muutub geomeetrilises progressioonis, siis heleduse aisting muutub aritmeetilises progressioonis. (Huvitav, et häälte ja mürade intensiivsuse hindamist teostatakse füüsikute poolt sellesama põhimõtte järgi nagu tähtede heleduse mõõtmistki; üksikasju selle kohta leiab lugeja minu «Huvitavas füüsikas» ja «Huvitavas algebras».)

Olles tutvunud heleduse astronoomilise skaalaga, tegeleme mõningate õpetlike arvutustega. Arvutame näiteks välja, mitu kolmanda suuruse tähte paistavad ühtekokku niisamuti kui üks esimese suuruse täht. Me teame, et kolmanda suuruse täht on esimese suuruse tähest nõrgem $2{,}5^2$, s. o. 6,3 korda; tähendab, asendamiseks läheb vaja 6,3 sellist tähte. Neljanda suuruse tähti tuleks võtta ühe esimese suuruse tähe asendamiseks 15,8 jne. Taoliste arvutuste teel * on leitud allpooltoodava tabeli arvud.

Ühe esimese suuruse tähe asendamiseks on tarvis järgmine hulk teiste suuruste tähti:

---

* Arvutusi hõlbustab asjaolu, et valgussuhte logaritm avaldub väga lihtsalt: ta on 0,4.

2. suurus	2,5	7. suurus	250
3. „	6,3	10. „	4000
4. „	16	11. „	10 000
5. „	40	16. „	1 000 000
6. „	100		

Seitsmendast suurusest alates me astume juba nende tähtede maailma, mis pole paljale silmale kättesaadavad. 16. suuruse tähed on eraldatavad vaid väga tugevates teleskoopides; selleks et neid oleks võimalik näha palja silmaga, peaks loomuliku nägemise tundlikkus kasvama 10 000 korda, siis me näeksime neid sellistena, nagu me praegu näeme kuuenda suuruse tähekesi.

Eespooltoodud tabelis ei saanud muidugi endale kohta leida «esimese-eelse» suuruse tähed. Teeme läbi arvutused ka nendest mõnede jaoks. 0,5. suuruse täht (Procyon) on heledam esimese suuruse tähest $2{,}5^{0{,}5}$ korda, s. o. poolteist korda. Miinus 0,9. suuruse täht (Kanopus) on esimese suuruse tähest heledam $2{,}5^{1{,}9}$ korda, s. o. 5,8 korda, ja miinus 1,6. suuruse täht (Siirius) $2{,}5^{2{,}6}$ korda, s. o. 11 korda.

Lõpuks veel üks huvitav arvutus: mitu esimese suuruse tähte võiksid asendada kogu tähistaeva valguse (mis on nähtav palja silmaga)?

Eeldame, et esimese suuruse tähti on ühel taevapoolkeral 10. Tähele on pandud, et järgmise klassi tähtede arv on ligikaudu kolm korda suurem eelmise tähtede arvust, nende heledus aga 2,5 korda väiksem. Otsitav tähtede arv on seepärast võrdne järgmise jada liikmete summaga:

$$10 + (10 \cdot 3 \cdot \tfrac{1}{2{,}5}) + (10 \cdot 3^2 \cdot \tfrac{1}{2{,}5^2}) + \ldots + (10 \cdot 3^5 \cdot \tfrac{1}{2{,}5^5}).$$

Saame

$$\frac{10 \cdot \left(\frac{3}{2{,}5}\right)^6 - 10}{\frac{3}{2{,}5} - 1} = 95.$$

Niisiis, ühe poolkera kõigi palja silmaga nähtavate tähtede summaarne heledus on võrdne umbes saja esimese suuruse tähega (ehk ühe miinus neljanda suuruse tähega).

Kui aga taolist arvutust korrata, võttes arvesse mitte üksnes palja silmaga nähtavad tähed, vaid ka kõik need, mis on kättesaadavad kaasaegsele teleskoobile, siis selgub, et nende summaarne valgus on samaväärne 1100 esimese suuruse tähe säraga (ehk ühe miinus 6,6. suuruse tähe omaga).

Silm ja teleskoop

Võrdleme tähtede teleskoopilist vaatlemist nende vaatlemisega palja silma abil.

Võtame inimese silmatera läbimõõduks öistel vaatlustel keskmiselt 7 mm. Teleskoop objektiivi läbimõõduga 5 cm laseb $\left(\frac{50}{7}\right)^2$ korda, s. o. ligikaudu 50 korda rohkem kiiri läbi kui silmatera, läbimõõduga 50 cm aga 5000 korda. Nii palju tugevdab teleskoop temaga vaadeldavate tähtede heledust! (Öeldu kehtib ainult t ä h t e d e kohta, ei kehti aga planeetide kohta, millel on märgatav ketas. Planeetide puhul tuleb kujutise heleduse arvutamisel arvesse võtta ka teleskoobi optiline suurendus).

Seda teades te saate välja arvutada, milline peab olema teleskoobi objektiivi läbimõõt, selleks et temaga oleksid nähtavad ühe või teise suuruse tähed; selle juures on aga vaja teada, millise suuruseni on tähti näha teleskoobis, mille objektiiv on mingi kindla suurusega. Oletame näiteks, et te teate, et teleskoobiga, mille avause diameeter on 64 cm, saab eraldada tähti kuni 15. suuruseni (viimane kaasa arvatud). Millist objektiivi on vaja omada, selleks et näha järgmise, 16. suuruse tähti? Koostame võrde:

$$\frac{x^2}{64^2} = 2{,}5,$$

kus x on objektiivi otsitav diameeter. Saame

$$x = 64\sqrt{2{,}5} \approx 100 \text{ cm}.$$

Vaja läheb teleskoopi, mille objektiivi läbimõõt on terve meeter. Üldse on teleskoobi nägemisteravuse suurendamiseks ühe tähesuuruse võrra tarvilik tema objektiivi diameetrit suurendada $\sqrt{2{,}5}$ korda, s. o. 1,6 korda.

Päikese ja Kuu tähesuurus

Jätkame oma algebralist ekskursiooni taevakehadele. Selles skaalas, mida tarvitatakse tähtede heleduse hindamiseks, võivad peale kinnistähtede endale koha leida teisedki taevakehad — planeedid, Päike, Kuu. Planeetide heledusest me vestleme eraldi; siin aga juhatame kätte Päikese ja Kuu tähesuuruse. Päikese tähesuurus avaldub arvuga m i i n u s 26,8, täiskuu * oma aga on m i i n u s

* Esimeses ja viimases veerandis on Kuu tähesuurus m i i n u s 9.

12,6. Miks mõlemad arvud on negatiivsed, see on lugejale tõenäoliselt arusaadav pärast kõike varemöeldut. Ent võib-olla viib teda hämmeldusse mitte küllalt suur vahe Päikese ja Kuu tähesuuruste vahel: esimene on «kõigest kaks korda suurem teisest».

Ärgem unustagem siiski, et tähesuuruse tähistus on õieti teatav logaritm (alusel 2,5). Ja nagu arve võrreldes ei tohi teineteisega jagada nende logaritme, nii ei ole ka tähesuurusi omavahel võrreldes mingit mõtet jagada üht arvu teisega. Milline on õige võrdlemise tulemus, seda näitab järgnev arvutus.

Kui Päikese tähesuurus on «m i i n u s 26,8», siis see tähendab, et Päike on esimese suuruse tähest heledam

$$2{,}5^{27{,}8} \text{ korda}$$

Kuu aga on esimese suuruse tähest heledam

$$2{,}5^{13{,}6} \text{ korda.}$$

Tähendab Päikese heledus on täiskuu heledusest suurem

$$\frac{2{,}5^{27{,}8}}{2{,}5^{13{,}6}} = 2{,}5^{14{,}2} \text{ korda.}$$

Arvutanud välja selle väärtuse (logaritmide tabelite abil), saame 447 000. Niisugune on Päikese ja Kuu heleduste õige vahekord: päevane valgusallikas valgustab Maad selge ilmaga 447 000 korda tugevamini kui täiskuu pilvitul ööl.

Pidades soojuse hulka, mida heidab Kuu, võrdeliseks selle poolt hajutatava valguse hulgaga — ja see on tõenäoliselt tõele lähedal —, tuleb tunnistada, et Kuu saadab meile ka sooja 447 000 korda vähem kui Päike. On teada, et iga ruutsentimeeter Maa atmosfääri piiril saab Päikeselt umbes 2 väikest kalorit sooja 1 minutis. Tähendab, Kuu ei saada Maa 1 cm^2-le igas minutis rohkem kui ühe 225 000-ndiku väikest kalorit (s. t. ta võib soojendada 1 *g* vett 1 minuti jooksul ühe 225 000-ndiku kraadi võrra). Siit on näha, kuivõrd põhjendamata on kõik katsed omistada kuuvalgusele mingisugust mõju Maa ilmastikule. *

Laialt levinud veendumus, et pilved hajuvad tihti täiskuu kiirte mõjul, on jäme eksitus, mis on tingitud sellest,

---

* Küsimust selle kohta, kas Kuu saab ilmastikule mõju avaldada oma külgetõmbega, vaadeldakse raamatu lõpus (vt. «Kuu ja ilmastik»).

et pilvede kadumine öisel ajal (olles tingitud muudest põhjustest) muutub nähtavaks vaid kuuvalgel.

Jätame nüüd Kuu ning arvutame välja, mitu korda on Päike heledam kogu taeva kõige säravamast tähest — Siiriusest. Arutledes niisamuti kui ennegi, saame nende heleduse suhte:

$$\frac{2{,}5^{27{,}8}}{2{,}5^{2{,}6}} = 2{,}5^{25{,}2} = 10\,000\,000\,000,$$

s. t. Päike on Siiriusest heledam 10 miljardit korda.

Väga huvitav on ka järgmine arvutus: mitu korda on täiskuu poolt antav valgus heledam kogu tähistaeva koguvalgusest, s. o. kõigi tähtede valgusest, mis on palja silmaga nähtavad ühel taevapoolkeral? Me oleme juba välja arvutanud, et tähed esimesest kuni kuuenda suuruseni (kaasa arvatud) paistavad koos nii, nagu sada esimese suuruse tähte. Ülesanne taandub järelikult selle väljaarvutamisele, mitu korda Kuu on heledam sajast esimese suuruse tähest.

See suhe on

$$\frac{2{,}5^{13{,}6}}{100} = 2700.$$

Niisiis selgel kuupaisteta ööl me saame tähistaevalt vaid ühe 2700-ndiku sellest valgusest, mida saadab täiskuu, ja 2700 × 447 000 korda, s. t. 1200 miljonit korda vähem, kui annab pilvitul päeval Päike.

Lisame veel juurde, et rahvusvahelise «normaalküünla» tähesuurus 1 m kaugusel on miinus 14,2 ja seega küünal nimetatud kauguselt valgustab täiskuust heledamini $2{,}5^{14{,}2-12{,}6}$ korda, s. o. neli korda.

Huvi võib pakkuda veel niisugune fakt, et aviomajaka prožektor valgustugevusega 2 miljardit küünalt oleks Kuu kauguselt nähtav $4^1/_2$. suuruse tähena, s. t. oleks palja silmaga eraldatav.

Tähtede ja Päikese tõeline heledus

Kõik heleduse hinnangud, mida me siiani oleme teinud, käisid ainult näiva heleduse kohta. Toodud arvud väljendavad taevakehade heledust nendel kaugustel, millel igaüks nendest asub tegelikkuses. Ent me teame hästi, et tähed ei ole meist ühesugustel kaugustel; tähtede näiv

heledus räägib meile seepärast nii nende tõelisest heledusest kui ka nende kaugusest meist, õigemini — ei sellest ega ka teisest, seni kui me ei liigenda mõlemaid faktoreid. Ometi oleks tähtis teada, milline on eri tähtede suhteline heledus ehk, nagu öeldakse, «valgusvõimsus», kui nad asuksid meist ühesugusel kaugusel.

Asetades küsimuse niimoodi, toovad astronoomid sisse tähtede «absoluutse» suuruse mõiste. Tähe absoluutseks suuruseks nimetatakse seda tähesuurust, mis tähel oleks, kui ta asuks meist 10 «parseki» kaugusel. Parsek on eriline pikkusmõõt, mida tarvitatakse tähtede kauguste jaoks; tema päritolust me vestleme pärastpoole eraldi, siin aga ütleme ainult, et ühes parsekis on ligikaudu 30 800 000 000 000 km. Absoluutse tähesuuruse arvutamist ennast ei ole raske läbi viia, kui on teada tähe kaugus ja kui arvesse võtta, et heledus peab kahanema võrdeliselt kauguse ruuduga. *

Me tutvustame lugejat ainult kahe sellise arvutuse tulemusega: Siiriuse ja meie Päikese jaoks. Siiriuse absoluutne suurus on +1,3, Päikesel +4,8. See tähendab, et 308 000 000 000 000 km kauguselt säraks Siirius meile 1,3. suuruse tähena, meie Päike aga 4,8. suuruse tähena, s. t. nõrgemini kui Siirius

$$\frac{2{,}5^{3{,}8}}{2{,}5^{0{,}3}} = 2{,}5^{3{,}5} = 25 \text{ korda},$$

---

* Arvutamist saab teostada järgmise valemi järgi, mille päritolu saab lugejale selgeks, kui ta natuke hiljem tutvub lähemalt «parseki» ja «parallaksiga»:

$$2{,}5^{M} = 2{,}5^{m} \left(\frac{\pi}{0{,}1}\right)^{2}.$$

Siin on M tähe absoluutne suurus, m — tema näiv suurus, π — tähe parallaks sekundites. Järjestikused teisendused on sellised:

$$2{,}5^{M} = 2{,}5^{m} \cdot 100\,\pi^{2},$$

$$M \lg 2{,}5 = m \lg 2{,}5 + 2 + 2 \lg \pi,$$

$$0{,}4M = 0{,}4m + 2 + 2 \lg \pi,$$

kust

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi.$$

Siiriuse puhul näiteks $m = -1{,}6$, $\pi = 0''{,}38$. Seepärast on tema absoluutne suurus

$$M = -1{,}6 + 5 + 5 \lg 0{,}38 = 1{,}3.$$

kuigi Päikese n ä i v heledus on 10 000 000 000 korda suurem Siiriuse heledusest.

Me veendusime, et Päike ei ole kaugeltki mitte kõige heledam täht taevas. Siiski ei tule meie Päikest pidada täiesti kääbuseks teda ümbritsevate tähtede seas: tema valgusvõimsus on siiski kõrgem keskmisest. Tähestatistika andmete järgi on nende tähtede hulgast, mis ümbritsevad Päikest kuni 10 parseki kaugusel, valgusvõimsuselt keskmisteks 9. absoluutse suuruse tähed. Kuna Päikese absoluutne suurus on 4,8, siis ta on heledam kui keskmine «naabruses» olevatest tähtedest

$$\frac{2{,}5^{8}}{2{,}5^{3{,}8}} = 2{,}5^{4{,}2} = 50 \text{ korda.}$$

Olles absoluutselt 25 korda tumedam Siiriusest, osutub Päike siiski 50 korda heledamaks kui k e s k m i s e d teda ümbritsevatest tähtedest.

Tuntud tähtedest kõige heledam

Kõige suurema valgustugevusega on paljale silmale nähtamatu kaheksanda suuruse täheke, mida tähistatakse ladina tähega S, Kuldkala tähtkujus. Kuldkala tähtkuju asub taeva lõunapoolkeral ega ole nähtav meie poolkera parasvöötmes. Mainitud täheke kuulub meie naabruses oleva tähesüsteemi — Väikese Magalhãesi pilve — koosseisu, mille kaugust meist hinnatakse ligikaudu 12 000 korda suuremaks kui Siiriuse kaugust. Sellisel tohutu suurel kaugusel peab täht omama tõesti ainulaadset valgustugevust, selleks et paista koguni kaheksanda suuruse tähena. Siirius, kui ta oleks ruumis niisama kaugele heidetud, säraks 17. suuruse tähena, s. t. oleks vaevalt nähtav kõige võimsamas teleskoobis.

Milline on siis selle tähelepanuväärse tähe valgustugevus? Arvutus annab sellise tulemuse: m i i n u s üheksas suurus. See tähendab, et meie täht on absoluutselt 400 000 korda (ligikaudu) heledam kui Päike! Sellise erakordse heleduse juures paistaks see täht, olles paigutatud Siiriuse kaugusele, sellest üheksa suuruse võrra heledamana, s. t. omaks ligikaudu sellise heleduse, nagu see on veerandfaasis oleval Kuul! Tähel, mis Siiriuse kauguselt võiks Maa

üle valada niisuguse heleda valgusega, on vastuvaidlematu õigus olla peetud kõige heledamaks meile tuntud tähtedest.

Planeetide tähesuurus Maa ja võõras taevas

Pöördume nüüd tagasi mõttelise rännaku juurde teistele planeetidele (mida me sooritasime alajaotuses «Võõrad taevad») ja hindame täpsemalt seal säravate taevakehade heledust. Kõigepealt esitame planeetide tähesuurused nende heleduse maksimumi puhul M a a taevas. Siin on tabel:

Maa taevas:

Veenus	−4,3	Saturn	−0,4
Marss	−2,8	Uuran	+5,7
Jupiter	−2,5	Neptuun	+7,6
Merkuur	−1,2		

Seda vaadates me näeme, et Veenus on Jupiterist heledam peaaegu kahe tähesuuruse võrra, s. t. $2{,}5^2 = 6{,}25$ korda, Siiriusest aga $2{,}5^{-2{,}7} = 13$ korda (Siiriuse heledusjärk on −1,6). Sellest samast tabelist on näha, et tuhm planeet Saturn on siiski heledam kõigist kinnistähtedest peale Siiriuse ja Kanopuse. Siit me leiame seletuse sellele faktile, et planeedid (Veenus, Jupiter) on mõnikord päeval palja silmaga nähtavad, tähed aga on päevavalgel paljale silmale täiesti kättesaamatud.

Järgnevalt toome ära tabelid taevakehade heleduse kohta Veenuse, Marsi ja Jupiteri taevas ilma uute seletusteta, sest et nad kujutavad endast vaid selle kvantitatiivset väljendust, millest on räägitud juba alajaotuses «Võõrad taevad»:

Marsi taevas:

Päike	−26
Fobos	− 8
Deimos	−3,7
Veenus	−3,2
Jupiter	−2,8
Maa	−2,6
Merkuur	−0,8
Saturn	−0,6

Veenuse taevas

Päike	−27,5
Maa	− 6,6
Merkuur	− 2,7
Jupiter	− 2,4
Maa Kuu	− 2,4
Saturn	− 0,3

Jupiteri taevas:

Päike	—23	IV kaaslane	— 3,3
I kaaslane	— 7,7	V „	— 2,8
II „	— 6,4	Saturn	— 2
III „	— 5,6	Veenus	— 0,3

Hinnates planeetide heledust nende omaenda kaaslaste taevas, tuleb esikohale asetada «täismarss» Fobose taevas (—22,5), seejärel «täisjupiter» V kaaslase taevas (—21) ja «täissaturn» oma kaaslase Mimase taevas (—20): Saturn on siin ainult viis korda vähem hele kui Päike!

Õpetlik on viimaks veel järgmine tabel planeetide heleduste kohta üksteiselt täheldatuna. Paigutame nad heleduse kahanemise järjekorras.

Tähesuurus		Tähesuurus	
Veenus Merkuurilt	— 7,7	Merkuur Veenuselt	— 2,7
Maa Veenuselt	— 6,6	Maa Marsilt	— 2,6
Maa Merkuurilt	— 5	Jupiter Maalt	— 2,5
Veenus Maalt	— 4,3	Jupiter Veenuselt	— 2,4
Veenus Marsilt	— 3,2	Jupiter Merkuurilt	— 2,2
Jupiter Marsilt	— 2,8	Saturn Jupiterilt	— 2
Marss Maalt	— 2,8		

Tabel näitab, et tähtsamate planeetide taevas on kõige heledamateks taevakehadeks Veenus Merkuurilt vaadatuna, Maa Veenuselt vaadatuna ja Maa Merkuurilt vaadatuna.

Miks teleskoop ei suurenda tähti?

Inimesi, kes esmakordselt suunavad pikksilma kinnistähtedele, hämmastab see, et pikksilm, mis nõnda märgatavalt suurendab Kuud ja planeete, ei suurenda mitte põrmugi tähtede mõõtmeid — ta koguni vähendab neid, muutes tähed eredateks punktideks, millel ei ole ketast. Seda märkas juba Galilei, esimene inimene, kes heitis pilgu taevasse abivahendiga varustatud silmaga. Kirjeldades oma varasemaid vaatlusi enda poolt leiutatud pikksilma abil, ütleb ta:

«Märkimise vääriline on vahe planeetide ja kinnistähtede väljanägemises nende vaatlemisel läbi pikksilma. Planeedid paistavad väikeste ringikestena, mis on teravalt välja joonistatud, justkui väikeste kuudena; kinnistähtedel aga ei ole eraldatavaid piirjooni... Pikksilm suurendab

ainult nende heledust, nii et 5. ja 6. suuruse tähed muutuvad heleduselt võrdseteks Siiriusega, mis on kinnistähtedest kõige heledam.»

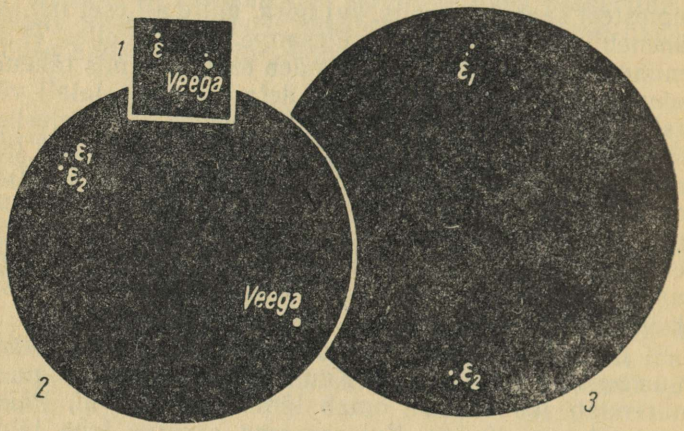
Selleks et seletada teleskoobi sellist jõuetust tähtede suhtes, tuleb meenutada üht-teist nägemise füsioloogiast ja füüsikast. Kui me jälgime meist eemalduvat inimest, siis muutub tema kujutis silma võrkkestal ikka väiksemaks. Küllaldasel eemaldumisel liginevad inimese pea ja jalad võrkkestal sedavõrd, et ei lange enam selle eri elementidele (närviotstele), vaid ühele ning sellelesamale, ja siis paistab inimkuju meile piirjoonteta punktina. Enamikul inimestest saabub see siis, kui nurk, mille all eset nähakse, väheneb kuni 1′. Teleskoobi ülesanne seisneb selles, et suurendada nurka, mille all silm näeb eset, ehk, mis tähendab sedasama, tõmmata eseme iga detaili kujutis laiali võrkkesta mitmele kõrvutiasetsevale elemendile. Teleskoobi kohta öeldakse, et ta «suurendab 100 korda», kui nurk, mille all me näeme esemeid selles teleskoobis, on 100 korda suurem sellest nurgast, mille all me näeme neid sellelsamal kaugusel palja silmaga. Kui aga mingisugust detaili sellisegi suurenduse puhul nähakse vähema kui 1′ nurga all, siis on antud teleskoop ebaküllaldane selle üksikasja uurimiseks.

Ei ole raske välja arvutada, et kõige pisem üksikasi, mida on võimalik eraldada Kuu kaugusel teleskoobiga, mis suurendab 1000 korda, omab läbimõõdu 110 m, Päikese kaugusel aga 40 km. Kui seesama arvutus teha lähima tähe jaoks, siis saame hiiglasuure väärtuse — 12 000 000 km.

Meie Päikese läbimõõt on sellest suurusest $8^1/_2$ korda väiksem. Tähendab, meie Päike, olles viidud l ä h i m a tähe kaugusele, peab paistma punktina isegi 1000-kordse suurendusega teleskoobis. Lähimal tähel peaks olema Päikesest 600 korda suurem ruumala, selleks et tugevad teleskoobid võiksid näidata tema ketast. Siiriuse kaugusel peab täht selleks olema ruumalalt 5000 korda suurem kui Päike. Kuna enamik tähti asub palju kaugemal praegumainitutest, ja nende mõõtmed ei ületa keskelt läbi Päikese mõõtmeid sellisel määral, siis paistavad tähed ka tugevates teleskoopides meile punktidena.

«Mitte ühelgi tähel taevas,» ütleb Jeans, «ei ole suuremat nurkmõõdet kui nööpnõelapeal 10 km kauguselt, ja ei ole veel olemas niisugust teleskoopi, milles niivõrd väi-

keste mõõtmetega objekt oleks kettana nähtav.» Seevastu suured taevakehad, mis kuuluvad meie päikesesüsteemi koosseisu, näitavad oma kettaid teleskoobiga vaatlemisel seda suuremana, mida suurem on suurendus. Kuid siin, nagu meil juba oli juhust mainida, kohtab astronoom teist ebamugavust: kujutise suurenemisel nõrgeneb tema heledus (valgusvoo jaotumise tõttu suuremale pinnale), nõrk heledus aga raskendab üksikasjade eraldamist. Seepärast tuleb planeetide ja eriti komeetide vaatlemisel tarvitada vaid mõõdukate suurendustega teleskoope.



Joon. 73. Üks ning seesama täht ε Lüüras (Veega ligidal), nagu ta on nähtav palja silmaga (1), binoklis (2) ja teleskoobis (3).

Lugeja võib-olla esitab küsimuse: kui teleskoop ei suurenda tähti, milleks siis teda kasutatakse nende vaatlemisel?

Pärast eelmistes artiklites öeldut on vaevalt tarvis pikalt peatuda vastuse juures. Teleskoop on võimetu suurendama tähtede näivaid m õ õ t m e i d, ent ta tugevdab nende h e l e d u s t, ja mitmekordistab järelikult nägemisele kättesaadavate tähtede hulka.

Teine asi, mida saavutatakse tänu teleskoobile, on nende tähtede e r a l d a m i n e, mis paljale silmale paistavad ühtesulanutena. Teleskoop ei suuda suurendada tähtede näivat läbimõõtu, kuid ta suurendab nendevahelist n ä i -

vat kaugust. Seepärast ilmutab teleskoop meile kaksiktähti, kolmiktähti ja veelgi keerulisemaid liittähti seal, kus paljas silm näeb ühte ainust tähte (joon. 73). Täheparved, mis paljale silmale sulavad väga suure kauguse tõttu kokku udulaigukeseks ja enamjaolt on hoopiski nähtamatud, lagunevad teleskoobi vaateväljas paljudeks tuhandeteks üksikuteks tähtedeks.

Ja viimaks teleskoobi kolmas teene tähtede maailma tundmaõppimisel seisneb selles, et ta annab võimaluse mõõta nurki otse rabava täpsusega: fotodel, mis on saadud kaasaegsete suurte teleskoopidega, mõõdavad astronoomid nurki suurusega 0″,01. Sellise nurga all on näha pronkskopikas 300 km kauguselt või inimjuus 100 m kauguselt!

Kuidas mõõdeti tähtede läbimõõdud?

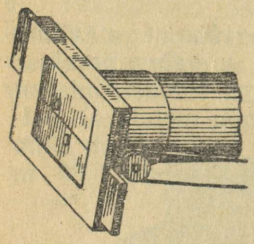
Kõige tugevamas teleskoobis, nagu me praegu selgitasime, ei ole võimalik näha kinnistähtede läbimõõte. Hiljaajani olid kõik kaalutlused selle kohta, millised on tähtede mõõtmed, ainult oletusteks. Oletati, et iga täht on keskmiselt umbes niisamasuguse suurusega nagu meie Päike, kuid ei saadud millegagi kinnitada seda oletust. Ja kuna tähtede diameetrite eraldamiseks on vaja võimsamaid teleskoope, kui seda on meie aja kõige tugevamad teleskoobid, siis näis tähtede tõelise diameetri kindlaksmääramise ülesanne lahendamatuna.

Selline oli olukord 1920. aastani, millal uued uurimisvõtted ja -vahendid avasid astronoomidele tee tähtede tõeliste mõõtmete mõõtmiseks.

Selle uusima saavutuse eest on astronoomia tänu võlgu oma ustavale liitlasele — füüsikale, mis on talle rohkem kui ühel korral osutanud kõige väärtuslikumaid teeneid. Me esitame kohe valguse interferentsinähtusel põhineva meetodi olemuse.

Selleks et selgitada põhimõtet, millele on rajatud see mõõtmismeetod, viime läbi katse, mis nõuab lihtsaid vahendeid: väikest teleskoopi, mis annab 30-kordse suurenduse, ja sellest 10—15 m kaugusel asuvat eredat valgusallikat, mis on varjatud ekraaniga, millel on väga kitsas (mõni kümnendik millimeetrit) vertikaalne pilu. Objektiivi katame kinni läbipaistmatu kaanega, milles on kaks umbes 3 mm diameetriga ümmargust ava, mis paiknevad hori-

sontaalil sümmeetriliselt objektiivi keskpunkti suhtes 15 mm kaugusel teineteisest (joon. 74). Ilma kaaneta on pilul teleskoobis kitsa triibu kuju tunduvalt nõrgemate triibukestega kahel pool selle kõrval. Kaanega vaatlemisel aga paistab keskmine hele triip kaetud olevat vertikaalsete tumedate triipudega. Need triibud ilmusid nähtavale nende kahe valguskiirte kimbu vastastikuse mõju (interferentsi) tulemusena, mis tulid läbi kahe ava objektiivi kaanes. Kui üks avadest sulgeda, siis triibud kaovad.



Joon. 74. Seadise skeem, mis selgitab tähtede nurkdiameetri mõõtmiseks kasutatava aparaadi «interferomeetri» ehitust (seletus tekstis).

Kui avad objektiivi ees teha liikuvatena, nii et nendevahelist kaugust saab muuta, siis nende laialinihutamisel hakkavad tumedad triibud ikka ebaselgemateks muutuma, ja viimaks kaovad. Teades avade vahelist kaugust sellel momendil, saab kindlaks määrata pilu nurklaiust, s. o. nurka, mille all pilu laius on vaatlejale nähtav. Kui aga on teada kaugus pilu endani, siis saab välja arvutada tema tegelikku laiust. Kui meil pilu asemel on väike ümmargune ava, siis sellise «ümmarguse pilu» laiuse (s. t. ringi läbimõõdu) määramise viis jääb sellekssamaks, saadud nurka tuleb ainult korrutada arvuga 1,22.

Tähtede diameetrite mõõtmisel me käime sedasama teed, ent tähtede nurkdiameetri erakordse väiksuse tõttu peame tarvitama väga suuri teleskoope.

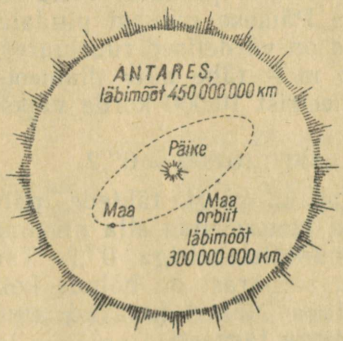
Peale kirjeldatud instrumendiga, «interferomeetriga», töötamise on olemas ka teine, kaudsem tähtede tõelise diameetri hindamise viis, mis põhineb nende spektrite uurimisel.

Tähe spektri järgi saab astronoom teada tema temperatuuri, ja selle põhjal arvutab välja kiirguse suuruse tähe pinna 1 cm^2 kohta. Kui peale selle on teada tähe kaugus ning tema näiv heledus, siis on kindlaks määratav ka k o g u tema pinna kiirguse suurus. Teise suuruse suhe esimesesse annab tähe pinna suuruse ja järelikult ka tema diameetri. Sel viisil on näiteks leitud, et Kapella läbimõõt on 16 korda suurem kui Päikese oma, Betelge-

use läbimõõt 350 korda, Siiriuse oma kaks korda, Veegal $2^1/_2$ korda, aga Siiriuse kaaslase läbimõõt on 0,02 Päikese läbimõõtu.

Tähtede maailma hiiglased

Tähtede läbimõõtude määramise tulemused osutusid tõesti rabavaiks. Astronoomid ei teadnud varem aimatagi, et universumis võiks olla selliseid gigantseid tähti. Esimeseks täheks, mille tõelisi mõõtmeid õnnestus kindlaks määrata (1920. a.), oli hele täht α Orionis, mis kannab araabia nime Betelgeuse. Selle läbimõõt osutus suuremaks kui Marsi orbiidi diameeter! Teiseks hiiglaseks on Antares, kõige heledam täht Skorpioni tähtkujus: tema läbimõõt on umbes poolteist korda suurem kui Maa orbiidi diameeter (joon. 75). Senini avastatud tähehiiglaste ritta tuleb paigutada ka niinimetatud Imelik täht («Mira») Vaala tähtkujus, mille diameeter on 400 korda suurem meie Päikese diameetrist (vt. joon. lk. 139).



Joon. 75. Hiidtäht Antares (α Skorpionis) võiks endasse mahutada meie Päikese koos Maa orbiidiga.

Peatume nüüd nende hiidude füüsilisel ehitusel. Arvutused näitavad, et selletaolised tähed, vaatamata koletutele mõõtmetele, sisaldavad ebaproportsionaalselt vähe ainet. Nad on meie Päikesest raskemad ainult mõned korrad; kuna aga näiteks Betelgeuse on ruumalalt Päikesest

suurem 40 000 000 korda, siis selle tähe tihedus peab olema kaduvväike. Ja kui Päikese aine ligineb tiheduselt keskelt läbi veele, siis hiidtähtede aine sarnaneb selles suhtes hõrendatud õhuga. Need tähed, ühe astronoomi väljenduse järgi, «meenutavad hiiglasuurt aerostaati väikese tihedusega, mis on palju väiksem kui õhu tihedus».

Ootamatu arvestus

Huvitav on eelnevaga seoses järele uurida, kui palju ruumi võtaksid taevas enda alla kõik tähed, kui nende näivad kujutised oleksid üksteisega liitunud.

Me juba teame, et kõigi teleskoobile kättesaadavate tähtede koguheledus on võrdne miinus 6,6. suuruse tähe heledusega (vt. eespool). Selline täht paistab 20 tähesuuruse võrra nõrgemini kui meie Päike, s. t. annab 100 000 000 korda vähem valgust. Kui lugeda Päikest tema pinnatemperatuurilt keskmiseks täheks, siis võib meie kujuteldava tähe näiva pindala võtta nimetatud arv korda väiksemana Päikese näivast pindalast. Kuna aga ringide diameetrid on võrdelised ruutjuurega nende pindaladest, siis peab meie tähe näiv diameeter olema Päikese näivast diameetrist 10 000 korda väiksem, s. t. peab olema

$$30' : 10\,000 \approx 0'',2.$$

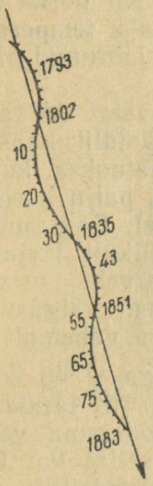
Tulemus on rabav: kõigi tähtede näivad pindalad ühtekokku võtavad taevas enda alla niisama palju ruumi nagu ringikene nurkdiameetriga 0″,2. Taevas sisaldab 41 253 ruutkraadi; seepärast on hõlpus kokku arvata, et teleskoobiga nähtavad tähed katavad ainult ühe kahekümnemiljardiku kogu taevast!

Kõige raskem aine

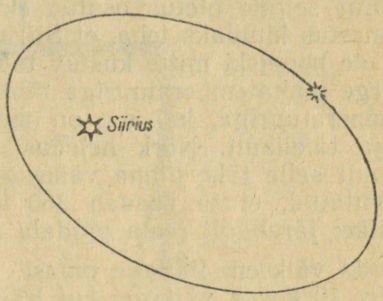
Imeasjade seas, mis on peidetud universumi sügavustesse, säilitab tõenäoliselt alatiseks ühe tähelepanuväärsetest kohtadest väike täheke Siiriuse ligidal. See täht koosneb ainest, mis on 60 000 korda raskem kui vesi! Kui me võtame kätte klaasi elavhõbedat, siis hämmastab meid selle raskus: ta kaalub 3 kg ümber. Kuid mida me ütleksime klaasitäie aine kohta, mis kaalub 12 t ja mille edasi-

toimetamiseks on vaja platvormvagunit? See näib absurdsena, aga muide, selline on üks uusima astronoomia avastustest.

Sellel avastusel on pikk ning ülimal määral õpetlik ajalugu. Juba ammu oli tähele pandud, et sätendava Siiriuse omaliikumine tähtede seas ei toimu mitte sirgjoont



Joon. 76. Siiriuse tee tähtede keskel 1793. aastast 1883. aastani.



Joon. 77. Siiriuse kaaslase orbiit Siiriuse suhtes. (Siirius ei asetse näiva ellipsi fookuses seepärast, et tõeline ellips on moonutatud projektsiooni tõttu — me näeme teda nurga all.)

mööda nagu enamikul teistest tähtedest, vaid iseäralikku looklevat teed mööda (joon. 76). Selleks et seletada seda tema liikumise iseärasust, oletas tuntud astronoom Bessel, et Siiriust saadab kaaslane, mis oma külgetõmbega «häirib» tema liikumist. See oli 1844. aastal — kaks aastat enne seda, kui «suleotsaga» avastati Neptuun. 1862. a. aga, juba pärast Besseli surma, leidis tema oletus täieliku kinnituse, sest et Siiriuse oletatavat kaaslast nähti teleskoobiga.

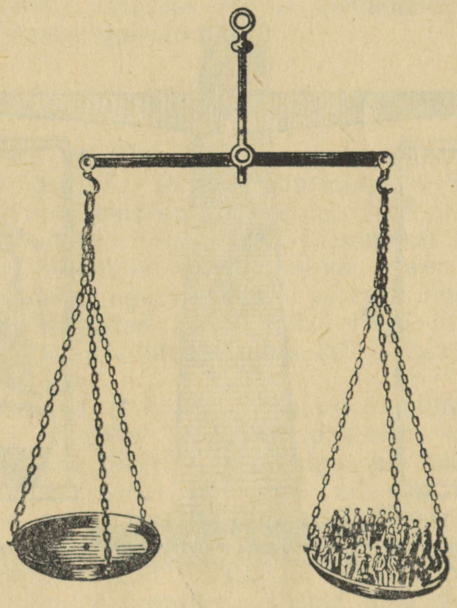
Siiriuse kaaslane — niinimetatud «Siirius B» — teeb täistiiru peatähe ümber 49 aastaga 20 korda suuremal kaugusel kui Maa ümber Päikese (s. t. umbes Uurani kaugusel) (joon. 77). See on nõrk kaheksanda-ühek-

sanda suuruse täheke, ent tema mass on üsna aukartustäratav, peaaegu 0,8 meie Päikese massi. Siiriuse kaugusel peaks meie Päike paistma 1,8. suuruse tähena; seepärast, kui Siiriuse kaaslasel oleks pindala, mis on Päikese omaga võrreldes väiksem nende taevakehade masside suhtele vastavalt, siis peaks ta sellesama temperatuuri juures särama nagu umbes teise suuruse, mitte aga kui kaheksanda-üheksanda suuruse täht. Nii nõrka heledust seletasid astronoomid esialgu madala temperatuuriga selle tähe pinnal; temale vaadati kui jahtunud päikesele, mis kattub juba kõva koorega.

Ent selline oletus osutus ekslikuks. Aastat 30 tagasi õnnestus kindlaks teha, et Siiriuse tagasihoidlik kaaslane ei ole hoopiski mitte kustuv täht, vaid vastuoksa, kuulub kõrge pinnatemperatuuriga tähtede hulka, palju kõrgema temperatuuriga, kui see on meie Päikesel. See muudab asja täielikult. Nõrk heledus tuleb järelikult kirjutada ainult selle tähe pinna väikese suuruse arvele. On välja arvutatud, et ta saadab 360 korda vähem valgust kui Päike; järelikult tema pindala peab olema vähemalt 360 korda väiksem Päikese omast, raadius aga $\sqrt{360}$ korda, s. o. 19 korda väiksem kui Päikese oma. Siit järeldame, et Siiriuse kaaslase ruumala peab moodustama vähem kui ühe 6800-ndiku Päikese ruumalast, sellal kui tema mass moodustab peaaegu 0,8 päevase valgusallika massist. Juba üksi see räägib selle tähe aine suurest tihendatusest. Täpsem arvutus annab planeedi diameetriks kõigest 40 000 km ja tiheduseks järelikult selle koletu suure arvu, mille me tõime ära alajaotuse alguses: 60 000 korda vee tihedusest suurem (joon. 78).

«Teritage kõrvu, füüsikud: plaanitsetakse sissetungi teie valdkonda,» tulevad meelde Kepleri sõnad, mis on tema poolt öeldud, tõsi küll, teisel puhul. Tõepoolest, midagi selletaolist ei võinud siiani endale ette kujutada mitte ükski füüsik. Tavalistes tingimustes on niivõrd suur tihenemine täiesti mõeldamatu, sest et vahemikud normaalsete aatomite vahel tahketes kehades on liiga väikesed, selleks et oleks võimalik nende aine kuigivõrra märgatav kokkusurumine. Teisiti on lugu «vigastatud» aatomite puhul, mis on kaotanud tuumade ümber tiirelnud elektronid. Elektronide kaotus vähendab aatomi läbimõõtu mitu tuhat korda, peaaegu vähendamata tema kaalu; paljas tuum on normaalsest aatomist väiksem

umbes nii mitu korda, kui mitu korda on kärbes väiksem suurest hoonest. Need kärbitud aatomid-tuumad, mida nihutatakse koomale tähtkera põues valitsevast koletust rõhust, võivad ligineda tuhandeid kordi tihedamalt kui normaalsed aatomid ja tekitada sellise ennekuulmatu tihedusega ainet, mis on avastatud Siiriuse kaaslasel.

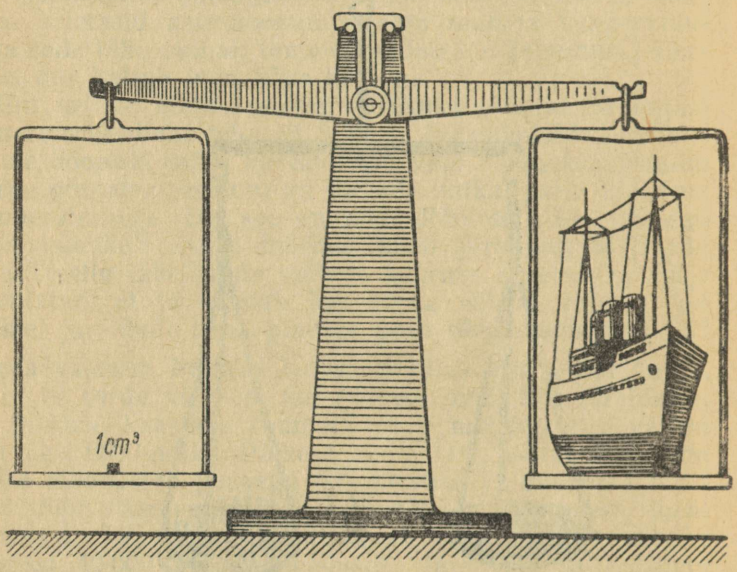


Joon. 78. Siiriuse kaaslane koosneb ainest, mis on 60 000 korda tihedam kui vesi. Mõni kuupsentimeeter seda ainet võiks tasakaalustada kolmekümnest inimesest koosneva koormuse.

Veel enam, praegu nimetatud tihedus on koguni ületatud niinimetatud van Maaneni tähes. See 12. suuruse täheke, mis mõõtmetelt ei ületa maakera, koosneb ainest, mis on 400 000 korda tihedam kui seda on vesi!

Seegi ei ole veel tiheduse ülim määr. Teoreetiliselt võib oletada palju tihedamate ainete olemasolu. Aatomituuma diameeter moodustab kõige rohkem ühe 10 000-ndiku aatomi diameetrist, ja ruumala järelikult mitte enam kui

$\frac{1}{10^{12}}$ aatomi ruumalast. 1 m^3 metalli sisaldab vaid umbes $\frac{1}{1000}$ mm^3 aatomituumi, ja sellesse tibatillukesse ruumalasse on koondatud kogu metalli mass. 1 cm^3 aatomituumi peab sel kombel kaaluma ligikaudu 10 miljonit tonni (joon. 79).



Joon. 79. Üks kuupsentimeeter aatomituumi võiks tasakaalustada ookeaniauriku isegi nende mitte väga tiheda kokkupakkimise korral. Ruumalasse 1 cm^3 tihedalt kokkupakitud tuumad kaaluksid aga 10 miljonit tonni!

Peale öeldut ei näi enam uskumatuna sellise tähe avastamine, mille aine keskmine tihedus on veel 500 korda suurem kui varemmainitud tähe Siiriuse *B* ainel. Me räägime väikesest 13. suuruse tähekesest Kassiopeia tähtkujus, tähest, mis on avastatud 1935. a. lõpul. Olles ruumalalt mitte suurem kui Marss ning kaheksa korda väiksem kui maakera, omab see täht massi, mis ületab peaaegu kolmekordselt meie Päikese massi (täpsemalt 2,8 korda). Harilikes ühikutes avaldub tema aine keskmine tihedus arvuna 36 000 000 g/cm^3. See tähendab, et 1 cm^3.

niisugust ainet kaaluks Maa peal 36 t! See aine on järelikult kullast tihedam peaaegu 2 miljonit korda *. Sellest, kui palju peab kaaluma kuupsentimeeter seda ainet tähe enda pinnal kaalutuna, vestleme me V peatükis.

Vähe aastaid tagasi oleksid õpetlased muidugi mõeldamatuks pidanud sellise aine olemasolu, mis on miljoneid kordi plaatinast tihedam.

Maailmaruumi põhjatus varjab tõenäoliselt veel palju selletaolisi looduseimesid.

Miks tähti nimetatakse kinnistähtedeks?

Kui vanasti anti tähtedele niisugune epiteet, taheti sellega alla kriipsutada, et nad planeetidest erinevalt säilitavad taevavõlvil muutumatu asetuse. Nad muidugi võtavad osa kogu taeva ööpäevasest liikumisest ümber Maa, ent see näiv liikumine ei riku nende vastastikust asetust. Planeedid aga vahetavad alatasa oma kohti tähtede suhtes, rändavad nende vahel ringi ja sellepärast saidki muiste «rändtähtede» nime (sõna «planeet» otsene tähendus).

Me teame nüüd, et kujutlus tähtede maailmast kui oma liikumatuses paigale tardunud päikeste kogumist on täiesti väär. Kõik tähed **, sealhulgas ka meie Päike, liiguvad üksteise suhtes kiirusega, mis on keskelt läbi 30 km/sek, s. t. samasugune kui see, millega meie planeet ringleb oma orbiidil. Seega tähed ei ole sugugi vähem liikuvad kui planeedid. Vastupidi, tähtede maailmas me kohtame üksikutel juhtudel selliseid määratu suuri kiirusi, milliseid planeetide perekonnas ei ole olemas; tuntakse tähti (neid nimetatakse «lendavateks»), mis kihutavad meie Päikese suhtes tohutu suure kiirusega — 250—300 km/sek.

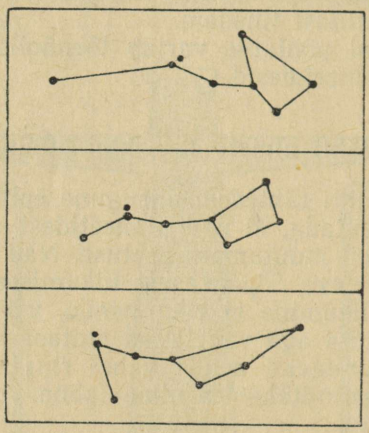
Kui aga kõik meile nähtavad tähed kaootiliselt liiguvad hiiglasuurte kiirustega, läbides igal aastal miljardeid kilomeetreid, mispärast me siis ei märka seda pöörast liikumist? Miks tähistaevas pakub ammust ajast auväärse liikumatuse pilti?

---

* Selle tähe keskosas peab aine tihedus ulatuma uskumatult suure väärtuseni, ligikaudu ühe miljardi grammini ühes kuupsentimeetris.

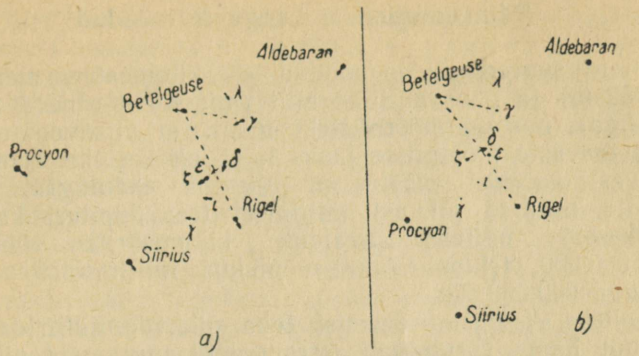
** Peetakse silmas neid tähti, mis kuuluvad «meie» tähekogu — Linnutee — koosseisu.

Põhjust pole raske välja arvata: see peitub tähtede kujuteldamatus kauguses. Kas te olete juhtunud tähele panema kõrgelt kohalt rongi, mis liigub kauguses, horisondi lähedal? Kas teile tõepoolest ei näinud siis, et kiirrong venib nagu tigu? Kiirus, mis on ligidalt vaatlejale



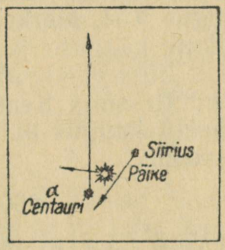
Joon. 80. Tähtkujude ilme muutub aja jooksul aegamööda. Keskmine joonis kujutab Suurt Vankrit käesoleval ajal, ülemine — tema kuju 100 000 aastat tagasi, alumine — tema kuju 100 000 aastat pärast meie aega.

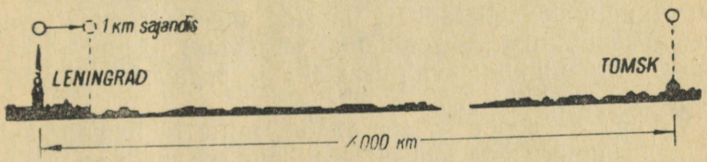
peadpööritav, muutub teokäiguks suurelt kauguselt vaatlemisel. Sama juhtub ka tähtede liikumisega; ainult sel juhul on vaatleja suhteline kaugus liikuvast kehast väga palju suurem. Kõige heledamad tähed on meist keskmiselt vähem eemal kui teised — nimelt (Kapteyni järgi) 800 miljoni miljoni kilomeetri kaugusel, sellise tähe nihkumine aga teeb aasta jooksul välja, ütleme, miljard kilomeetrit, s. t. 800 000 korda vähem. Niisugune nihkumine peab Maalt nähtav olema vähem kui 0″,25 nurga all — suurus, mis on vaevalt tabatav täpseimategi astronoomiliste instrumentidega. Paljale silmale aga on see täiesti märkamatu, isegi kui ta kestab sajandeid. Vaid piinlikult hoolikate instrumentaalsete mõõtmistega õnnestus avastada paljude tähtede liikumist (joon. 80, 81, 82).



Joon. 81. Millistes suundades liiguvad heledad tähed Orioni tähtkuju lähedal (*a*) ja kuidas see liikumine muudab tähtkuju ilmet 50 000 aasta pärast (*b*).

Joon. 82. Kolme naabertähe — meie Päikese, tähe α Kentauris ja Siiriuse liikumine.





Joon. 83. Tähtede liikumise mõõtkava. Kaks kroketikuuli, üks Leningradis, teine Tomskis, liiguvad kiirusega 1 km sajandis — see on kahe tähe liginemise vähendatud sarnasuskuju. Sellest on selge, kuivõrd kaduvväike on tähtedevaheliste kokkupõrgete tõenäosus.

Niisiis «kinnistähtedel», vaatamata sellele, et nad liiguvad kujutlematult kiiresti, on täielik õigus olla nimetatud kinnistähtedeks, kuivõrd jutt on vaatlustest palja silmaga. Öeldust võib lugeja ise teha järelduse, kui kaduvväike on tähtede kohtumise tõenäosus, vaatamata nende kiirele liikumisele (joon. 83).

Meie suured pikkusmõõdud — kilomeeter, meremiil (1852 m) ja geograafiline miil (mis on võrdne 4 meremiiliga), mis on mõõtmisteks maakeral piisavad, osutuvad taevaste mõõtmiste jaoks liiga pisikesteks. Nendega taevasi kaugusi mõõta on niisama ebamugav, nagu mõõta raudtee pikkust millimeetrites; Jupiteri kaugus Päikesest näiteks avaldub kilomeetrites arvuna 780 000 000, Oktoobriraudtee pikkus millimeetrites aga arvuna 640 000 000.

Selleks et mitte tegemist teha pikkade nulliridadega arvude lõpus, tarvitavad astronoomid suuremaid pikkusühikuid. Mõõtmiste jaoks päikesesüsteemi piirides näiteks loetakse ühikuks keskmine Maa ja Päikese vaheline kaugus (149 500 000 km). See on niinimetatud «astronoomiline ühik». Sellise mõõduga on Jupiteri kaugus Päikesest 5,2, Saturni kaugus 9,54, Merkuuri kaugus 0,387 jne.

Meie Päikese kauguse jaoks teistest päikestest aga on esitatud mõõt liiga väike. Meile kõige lähemal oleva tähe (niinimetatud Proxima Kentauri tähtkujus *, punakas 11. suuruse täheke) kaugus näiteks avaldub nendes ühikutes niisuguse arvuna:

260 000.

Ja see on vaid l ä h i m täht, ülejäänud paiknevad palju kaugemal. Tarvitusele võetud suuremad ühikud lihtsustasid tunduvalt selletaoliste arvude meeleespidamist ning nende kasutamist. Astronoomias on olemas järgmised kauguste hiiglaühikud: «valgusaasta» ja seda edukalt väljatõrjuv «parsek».

V a l g u s a a s t a — see on tee, mille läbib valguskiir tühjas ruumis aasta jooksul. Kui suur see mõõt on, sellest me saame aru, kui me meenutame, et Päikeselt maale jõuab valgus kõigest 8 minuti jooksul. «Valgusaasta» on järelikult nii mitu korda suurem Maa orbiidi raadiusest kui mitu korda on aasta pikem 8 minutist. Kilomeetrites avaldub see pikkusmõõt arvuna

9 460 000 000 000,

s t. valgusaasta on umbes $9^1/_2$ biljonit kilomeetrit.

---

* Peaaegu selle kõrval asub hele täht α Kentauris.

Keeruline päritolu on teisel tähekauguste ühikul, mida astronoomid kasutavad meelsamini, — p a r s e k i l. Parsek — see on kaugus, millele tuleb eemalduda, selleks et Maa orbiidi pooldiameeter oleks nähtav ühe nurgasekundi all. Nurka, mille all tähelt on nähtav Maa orbiidi pooldiameeter, nimetatakse astronoomias selle tähe «aastaparallaksiks». Sõnade «parallaks» ja «sekund» ühendist ongi moodustatud sõna «parsek». Eespoolnimetatud tähe alfa Kentauris parallaks on 0,76 sekundit; kerge on taibata, et selle tähe kaugus on 1,31 parsekit. Ei ole raske välja arvutada, et üks parsek peab endas sisaldama 206 265 Maa ja Päikese vahelist kaugust. Parseki ja teiste pikkusühikute vaheline vahekord on niisugune:

1 parsek = 3,26 valgusaastat = 30 800 000 000 000 km.

Esitame mõnede heledate tähtede kaugused parsekites ja valgusaastates:

	Parsek	Valgusaasta
α Kentauris	1,31	4,3
Siirius	2,67	8,7
Procyon	3,39	11,0
Altair	4,67	15,2

Need on meile võrdlemisi lähedal olevad tähed. Millist järku nende «lähedus» on, seda te taipate, kui tuletate meelde, et siin toodud kauguste avaldamiseks kilomeetrites tuleb iga esimese tulba arvu suurendada 30 biljonit korda (mõistes biljoni all miljon miljonit). Siiski ei ole valgusaasta ja parsek veel kõige suuremad täheteaduses tarvitatavad mõõdud. Kui astronoomid asusid tähesüsteemide, s. o. tervete paljudest miljonitest tähtedest koosnevate maailmade vaheliste kauguste ja nende suuruste mõõtmisele, tuli tarvis veel suuremat mõõtu. See moodustati parsekist nii, nagu kilomeeter on moodustatud meetrist: tekkis «k i l o p a r s e k», mis on 1000 parsekit ehk 30 800 biljonit km. Selle mõõduga avaldub näiteks Linnutee läbimõõt arvuna 30, meie ja Andromeda udukogu vaheline kaugus on aga umbes 300.

Ent varsti osutus, et kiloparsek ei ole küllaldaselt suur mõõt; tuli tarvitusele võtta «m e g a p a r s e k», mis sisaldab m i l j o n parsekit.

Seega näeb astronoomias kasutatavate pikkusmõõtude tabel välja nii:

1 megaparsek = 1 000 000 parsekit,
1 kiloparsek = 1 000 „
1 parsek = 206 265 astron. ühikut,
1 astr. ühik = 149 500 000 km.

Megaparseki näitlikuks ettekujutamiseks ei ole mingisugust võimalust. Isegi kui vähendada kilomeeter juuksekarva paksuseni (0,05 mm), ka siis käib megaparsek inimese kujutlusvõimele üle jõu, kuna ta saab võrdseks $1^1/_2$ miljardi kilomeetriga — 10-kordse Maa ja Päikese vahelise kaugusega.

Toon muuseas ühe võrdluse, mis võib-olla hõlbustab lugejal megaparseki kujuteldamatu suuruse hindamist. Peenim ämblikuvõrgu niit, mis on tõmmatud Moskvast Leningradini, kaaluks 10 g, Maast Kuuni — mitte üle 6 kg. Niisamasugune niit, mis pikkuselt ulatub Päikeseni, kaaluks 2,3 t. Kui ta aga on tõmmatud ühe megaparseki pikkusele, siis peaks ta kaaluma

500 000 000 000 t!

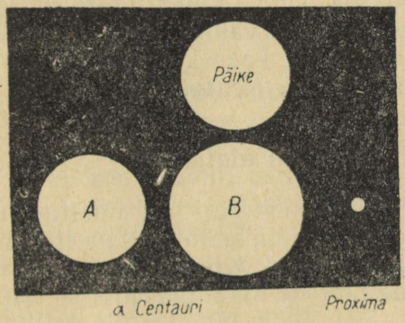
Lähimate tähtede süsteem

Võrdlemisi ammu — umbes sada aastat tagasi — sai teatavaks, et kõige lähemate tähtede süsteemiks on esimese suuruse kaksiktäht lõunapoolkera tähtkujus Kentauris. Viimased aastad rikastasid meie teadmisi sellest süsteemist huvitavate üksikasjadega. Tähe *α* ligidal Kentauris avastati väike 11. suuruse täheke, mis moodustab koos Kentauri *α* kahe tähega kolmiktähe süsteemi. Seda, et kolmas täht kuulub süsteemi *α* Kentauris füüsiliselt, kuigi neid taevas lahutav vahemaa on üle 2°, tõendab nende liikumise sarnasus: kõigil kolmel tähel on ühesugune kiirus ja ühesugune suund. Kõige tähelepanuväärsem selle süsteemi kolmandas liikmes on see, et ta paikneb ruumis meile lähemal kui teised kaks tähte, ja teda tuleb seepärast tunnistada lähimaks kõigist tähtedest, mille kaugus senini on kindlaks määratud. Seda tähekest nimetatakse «Lähimaks», ladina keeles *Proxima*. Ta on meile lähemal kui seda on Kentauri *α* tähed (neid nimetatakse *α* Kentauris *A* ja *α* Kentauris *B*) 3960 astronoomilise ühiku võrra.

Nende parallaksid on järgmised:

α Kentauris (*A* ja *B*) 0,751
Proxima Kentauris 0,762

Kuna tähti *A* ja *B* teineteisest lahutav kaugus on vaid 34 astronoomilist ühikut, siis on kogu süsteemil kaunis imelik välimus, nagu see on kujutatud joonisel 85. *A* ja *B* asuvad teineteisest natuke kaugemal kui Uuran Päikesest. Proxima aga on nendest 59 «valgusööpäeva» kaugusel. Need tähed muudavad aeglaselt oma asetust: tähtede *A* ja *B* tiirlemisperiood ümber nende ühise raskuskeskme on 79 aastat, Proxima aga sooritab ühe täistiiru enam kui 100 000 aasta jooksul, nii et ei maksa karta, et ta varsti lakkab meile lähimaks täheks olemast, loovutades koha ühele Kentauri *α* moodustajatest.



Joon. 84. Süsteemi α Kentauris tähtede ja Päikese suhtelised mõõtmed.



Joon. 85. Päikesele lähima tähe α Kentauris süsteem: *A*, *B* ja Proxima Kentauris.

Mida siis on teada selle süsteemi tähtede füüsilistest iseärasustest? Täht *A α* Kentauris on heleduselt, massilt ja diameetrilt ainult õige vähe suurem kui Päike (joon. 84). Täht *B α* Kentauris omab pisut väiksema massi, on diameetrilt Päikesest suurem $^1/_5$ võrra, kuid paistab kolm korda vähem heledalt; vastavalt sellele on ka tema pinnatemperatuur madalam kui seda on Päikese oma (4400°, Päikesel 6000°).

Veel jahedam on Proxima: temperatuur tema pinnal on 3000°; see täht on punast värvi. Tema diameeter on 14

korda väiksem Päikese omast, nii et mõõtmetelt on see täheke koguni mõnevõrra väiksem Jupiterist ja Saturnist (ületades neid siiski massilt sadu kordi). Kui me siirduksime tähele *A* α Kentauris, siis näeksime sealt tähte *B* umbes niisama suurena, nagu meie Päike särab Uurani taevas, Proxima aga paistaks sealtki väikese ning tuhmi tähekesena: ta on ju 250 korda suuremal kaugusel kui Pluuto on Päikesest, ja 1000 korda kaugemal kui Saturn Päikesest.

Kolmiktähe α Kentauris järel on meie Päikese järgmiseks lähedaseks naabriks väike täheke (9,7. suurus) Maokandja tähtkujus, mis on nimetatud «Lendavaks täheks». Sellise nimetuse sai ta erakordselt kiire näiva liikumise pärast. See täht on meist poolteist korda kaugemal kui süsteem α Kentauris, ent taeva põhjapoolkeral on ta meie lähimaks naabriks. Tema lend, suunatud viltu Päikese poole, on niivõrd hoogus, et vähem kui kümne aastatuhande pärast tuleb ta meile kaks korda lähemale ja on siis lähemal kui kolmiktäht α Kentauris.

Universumi ulatus

Pöördume tagasi päikesesüsteemi vähendatud mudeli juurde, mille me mõttes valmistasime planeetidest rääkiva peatüki juhiste järgi, ja proovime seda lõpuni valmis ehitada, lisades juurde tähtede maailma. Mis sellest välja tuleb?

Te mäletate, et Päikest kujutas meie mudelil 10-sentimeetrilise diameetriga kera, kogu planeetide süsteemi aga ring, mille läbimõõt oli 800 m. Millistele kaugustele Päikesest tuleks paigutada tähed, kui rangelt kinni pidada sellestsamast mõõtkavast? Pole raske välja arvutada, et näiteks Proxima Kentauris — kõige lähem täht — asuks 2700 km kaugusel, Siirius 5500 km kaugusel, Altair 9700 km kaugusel. Nendel «lähimatel» tähtedel oleks Euroopas kitsas isegi mudelil. Kaugemate tähtede jaoks võtame kilomeetrist suurema mõõdu — nimelt 1000 km, mida nimetatakse «megameetriks» (Mm). Selliseid ühikuid on maakera ümbermõõdus kõigest 40, Maa ja Kuu vahel aga 380. Veega oleks meie mudelil 17 Mm kaugusel, Arktuurus 23 Mm kaugusel, Kapella 28 Mm kaugusel, Regulus 53 Mm kaugusel, Deneb (α Luiges) — enam kui 350 Mm kaugusel.

Dešifreerime selle viimase arvu. 350 Mm = 350 000 km, s. t. pole palju väiksem kui kaugus Kuuni. Nagu näeme, omandab v ä h e n d a t u d mudel ise, millel Maa on nööpnõelapea, Päike aga — kroketikuul, kosmilised mõõtmed!

Meie mudel ei ole veel lõpuni valmis. Linnutee äärmised, kõige kaugemal olevad tähed asuvad mudelil 30 000 Mm kaugusel — peaaegu 100 korda kaugemal kui Kuu. Kuid Linnutee ei ole veel kogu universum. Kaugel tema piiride taga asuvad teised tähesüsteemid, näiteks see, mis on palja silmagagi nähtav Andromeda tähtkujus, või Magalhãesi pilved, mis on samuti palja silmaga vaatamisel kättesaadavad. Meie mudelil tuleks Väikest Magalhãesi pilve esitada objekti näol, mille läbimõõt on 4000 Mm, Suurt pilve läbimõõduga 5500 Mm, paigutades nad 70 000 Mm kaugusele Linnutee mudelist. Andromeda udukogu mudelile me peaksime läbimõõduks andma 60 000 Mm ning viima ta Linnutee mudelist 500 000 Mm kaugusele, s. t. peaaegu Jupiteri tegelikule kaugusele!

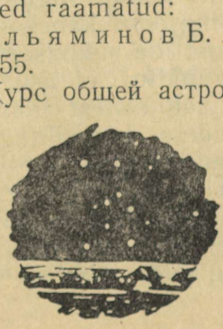
Kõige kaugemad taevaobjektid, millistega kaasaegsel astronoomial on tegemist, — need on tähelised udukogud, s. o. rohkearvuliste tähtede kogumid, mis asuvad kaugel meie Linnutee piiride taga. Nende kaugus Päikesest on üle 1 000 000 000 valgusaasta. Jätame lugejale iseseisvalt välja arvutada, kuidas selletaolisi kaugusi meie mudelil kujutada. Koos sellega saab lugeja teatud ettekujutuse universumi selle osa mõõtmetest, mis on kättesaadavad kaasaegse astronoomia optilistele vahenditele.

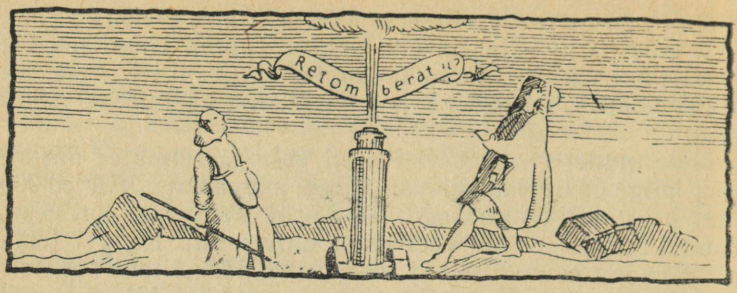
Rea siia kuuluvaid kõrvutusi leiab lugeja ka minu raamatust «Kas te tunnete füüsikat?».

Nendel, kes tunnevad huvi tähtede iseärasuste ja tähelise universumi ehituse vastu, soovitame tähelepanelikult läbi lugeda järgmised raamatud:

В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в Б. А., Очерки о вселенной, Гостехиздат, 1955.

П о л а к И. Ф., Курс общей астрономии, Гостехиздат, 1955.





VIIES PEATÜKK

GRAVITATSIOON

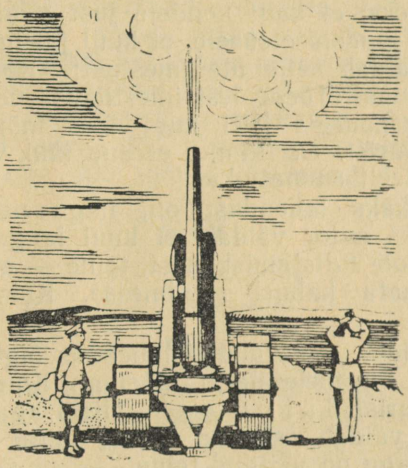
Kahurist üles

Kuhu langeks maha mürsk, mis on lastud püstloodis üles ekvaatoril ülesseatud kahurist (joon. 86)? Niisugust ülesannet arutleti aastat kakskümmend tagasi ühes ajakirjas, rakendades seda kujuteldavale mürsule, mis on välja lastud kiirusega 8000 m esimeses sekundis; see mürsk peab 70 minuti pärast jõudma 6400 km kõrgusele (maakera raadiuse ulatusele maapinnast). Ajakirjas oli kirjutatud:

«Kui mürsk on püstloodis üles välja lastud ekvaatorilt, siis omab ta väljalennul kahurist veel ka ekvaatori punktide ringkiiruse ida suunas (465 m/sek). Selle kiirusega kandub mürsk edasi paralleelselt ekvaatoriga. 6400 km kõrgusel asuv punkt, mis väljalasu momendil oli püstloodis mürsu lähtepunkti kohal, liigub edasi mööda kahekordse raadiusega ringjoont kahekordse kiirusega. Järelikult ta jõuab mürsust ida suunas ette. Kui mürsk jõuab oma tee kõrgeima punktini, ei asu ta püstloodis lähtepunkti kohal, vaid jääb sellest lääne poole maha. Niisama sünnib ka mürsu tagasilangemisel. Tulemusena jääb mürsk 70-minutise üles- ja tagasilennu jooksul umbes 4000 km maha lääne poole. Siin tulebki tema mahalangemist oodata. Selleks et sundida mürsku lähtepunkti tagasi pöörduma, ei tule teda välja lasta püstloodis, vaid veidi kaldu, meie juhul — kaldega 5°.»

Hoopis teistmoodi lahendatakse selletaoline ülesanne C. Flammarioni poolt tema «Astronoomias»:

«Kui tulistada kahurist, suunanud selle otse ülespoole, seniiti, siis kuul langeb uuesti tagasi kahuri suudmesse, olgugi et tema tõusmise ja allatuleku ajal kahur liigub koos Maaga edasi ida poole. Põhjus on silmanähtav. Kuul ei kaota üles tõustes mitte midagi sellest kiirusest, mis temale annab Maa liikumine. Kaks tõuget, mis ta sai.



Joon. 86. Ülesanne suurtükikuulist, mis on välja lastud püstloodis.

ei ole vastassuunalised: ta võib minna kilomeetri ülespoole ja liikuda samal ajal näiteks 6 km ida poole. Tema liikumine ruumis toimub mööda sellise rööpküliku diagonaali, mille üks külg on 1 km, teine 6 km. Raskuse toimel alla ta liigub teist diagonaali mööda (õigemini kõverjoont mööda selle tagajärjel, et langemine on kiirenev) ja langeb uuesti tagasi just suudmesse kahurile, mis jääb endist viisi vertikaalasendisse.»

«Sellist katset läbi viia oleks siiski kaunis raske,» lisab Flammarion, «sest et harva võib leida kahurit, mis oleks hästi kalibreeritud, ja pole hoopiski kerge teda üles seada täiesti püstloodis. Mersenne ja Petit üritasid seda teha XVII sajandil, kuid nad isegi ei leidnud oma kuuli pärast

väljalaskmist üles. Varignon paigutas oma teose «Uued kaalutlused gravitatsiooni kohta» (1690. a.) tiitellehele selle kohta käiva joonistuse (meie reprodutseerime selle päisvinjetina). Sellel seisavad kaks vaatlejat — munk ja sõjamees — seniiti sihitud suurtüki kõrval ja vaatavad üles, justkui väljalastud kuuli jälgides. Gravüüril on pealkiri (prantsuse keeles): «Kas langeb maha tagasi?» Munk on Mersenne, ja sõjamees — Petit. Seda ohtlikku katset nad teostasid mitu korda, ja kuna nad ei osutunud nõnda täpseteks, et kuul nendele just pähe oleks sattunud, siis nad jõudsid otsusele, et kuul jäi igaveseks õhku. Varignon avaldab selle üle imestust: «Kuul, mis ripub meie peade kohal! Tõepoolest imestusväärne!» Katse kordamisel Strasbourgis leiti kuul üles mõnesaja meetri kaugusel kahurist. On ilmne, et suurtükk ei olnud rangelt vertikaalselt suunatud.»

Ülesande kaks lahendust on, nagu näeme, teravas vastuolus. Üks autor väidab, et kuul langeb maha kaugele lääne poole tulistamiskohast, teine — et ta peab langema tingimata kahuri suudmesse. Kummal on siis õigus?

Rangelt öeldes pole kumbki lahendus õige, kuid Flammarioni oma on tõele palju lähemal. Kuul peab maha langema kahurist l ä ä n e poole, siiski aga mitte nõnda palju, nagu väidab esimene autor, mitte aga ka otse suudmesse, nagu on väitnud teine.

Ülesannet ei saa kahjuks elementaarmatemaatika vahenditega lahendada. * Seepärast piirdun vaid sellega, et toon siin ära lõpptulemuse.

Kui tähistame kuuli algkiiruse tähega v, maakera pöörlemise nurkkiiruse tähega ω ja raskuskiirenduse tähega g, siis kauguse x jaoks, mille võrra kuuli mahalangemispunkt on kahurist lääne pool, saadakse järgmised avaldised:

ekvaatoril

$$x = \frac{4}{3}\omega\frac{v^3}{g^2},$$

laiusel φ aga

---

* Selleks otstarbeks on vajalik põhjalik eriarvutus, mis minu palvel teostati eriteadlaste poolt. Selle arvutuse üksikasjadesse ma ei saa siin minna.

$$x = \frac{4}{3}\omega\frac{v^3}{g^2}\cos\varphi.$$

Rakendades valemit esimese autori poolt püstitatud ülesande juures, on meil

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164},$$

$$v = 8000 \text{ m/sek},$$

$$g = 9{,}8 \text{ m/sek}^2.$$

Asetanud need suurused esimesse valemisse, saame $x = 520$ km: kuul langeb maha kahurist 520 km lääne pool (mitte aga 4000 km, nagu arvas esimene autor).

Mida aga annab valem selle juhu jaoks, mida vaatles Flammarion? Tulistamist ei teostatud ekvaatoril, vaid Pariisi ligidal laiusel 48°. Vanaaegse suurtüki kuuli algkiiruseks võtame 300 m/sek. Asetanud teise valemisse

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164},$$

$$v = 300 \text{ m/sek},$$

$$g = 9{,}8 \text{ m/sek}^2,$$

$$\varphi = 48°,$$

saame $x = 18$ m; kuul langeb maha kahurist 18 m lääne pool (mitte aga otse suudmesse, nagu oletas prantsuse astronoom). Selle juures ei ole meie poolt muidugi arvesse võetud õhuvooluste võimalikku kõrvalekallutavat mõju, mis on suuteline tunduvalt moonutama seda tulemust.

Kaal suurel kõrgusel

Eelmise artikli arvutustes muuseas ei võetud arvesse üht asjaolu, millele me lugeja tähelepanu siiani ei ole pööranud. Jutt on sellest, et Maast kaugenemisel raskusjõud nõrgeneb. Raskus ei ole midagi muud kui ülemaailmse gravitatsiooni avaldus, kahe keha vastastikuse külgetõmbe jõud aga nõrgeneb kiiresti nende kehade vahelise kauguse kasvamisel. Newtoni seadusele vastavalt kahaneb külgetõmbejõud võrdeliselt kauguse ruuduga; seejuures tuleb kaugust arvestada maakera keskpunktist, sest et Maa tõmbab kõiki kehi nii, nagu oleks kogu tema mass koondatud keskpunkti. Seepärast nõrgeneb külgetõmbejõud 6400 km kõrgusel, s. o. kohas, mis asub Maa

keskpunktist maakera 2 raadiuse kaugusel, neli korda, võrreldes külgetõmbejõuga maakera pinnal.

Ülespaisatud suurtükimürsu puhul see peab avalduma selles, et mürsk tõuseb kõrgemale kui sel juhul, kui raskus kõrguse suurenemisel ei kahaneks. Mürsu puhul, mis on lastud püstloodis üles kiirusega 8000 m sekundis, me eeldasime, et ta tõuseb 6400 km kõrgusele. Muide, kui selle mürsu tõusukõrgus välja arvutada üldtuntud valemi järgi, mis ei võta arvesse raskuse nõrgenemist kõrguse suurenemisel, tuleb välja kaks korda väiksem kõrgus. Teeme selle arvutuse läbi. Füüsika ja mehhaanika õpikutes tuuakse ära valem kiirusega v püstloodis üles visatud keha tõusukõrguse arvutamiseks muutumatu raskuskiirenduse g korral:

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

Juhul, kui $v = 8000$ m/sek, $g = 9{,}8$ m/sek^2, saame

$$h = \frac{8000^2}{2 \cdot 9{,}8} = 3\,265\,000 \text{ m} = 3265 \text{ km}.$$

See on peaaegu kaks korda väiksem sellest tõusukõrgusest, mis on näidatud eelmises artiklis. Lahkuminek on tingitud, nagu juba öeldud, sellest, et õpiku valemeid kasutades me ei võtnud arvesse raskusjõu nõrgenemist kõrguse suurenemisel. On selge, et kui mürsku tõmmatakse Maa poolt nõrgemini külge, siis ta peab antud kiiruse puhul tõusma kõrgemale.

Ei tule rutata järeldusega, et õpikutes toodavad valemid ülesvisatud keha tõusukõrguse arvutamiseks on ebaõiged. Nad on õiged nendes piirides, mille jaoks nad on ette nähtud, ja muutuvad ebaõigeteks vaid siis, kui arvutaja läheb nendega osutatud piiridest üle. Need valemid on aga ette nähtud üsna väikeste kõrguste jaoks, kus raskusjõu nõrgenemine on veel niivõrd tühine, et selle võib arvestamata jätta. Nii osutub mürsu puhul, mis on paisatud üles algkiirusega 300 m/sek, raskusjõu nõrgenemine väga väikeseks.

Ent siin tekib huvitav küsimus: kas on raskusjõu vähenemine tuntav nende kõrguste puhul, millega on tegemist kaasaegsel lennuasjandusel ja õhulaevandusel? Kas kehade kaalu vähenemine on märgatav juba nendel kõrgustel? 1936. a. tõstis lendur Vladimir Kokkinaki oma masinal erisuguseid koormaid suurele kõrgusele: $^1/_2$ t

11 458 m kõrgusele, 1 t 12 100 m kõrgusele ja 2 t 11 295 m kõrgusele. Küsitakse: kas need koormad säilitasid nimetatud rekordkõrgustel oma esialgse kaalu, või kaotasid seal tunduva osa sellest? Esimesel pilgul võib näida, et tõusmine maapinna kohal enam kui kümne kilomeetri võrra ei saa märgatavalt vähendada koorma kaalu sellisel suurel planeedil, nagu seda on Maa. Maapinna juures asudes oleks koorem meie planeedi keskpunktist 6400 km kaugusel; tõusmine 12 km võrra suurendab seda vahemaad 6412 km-ni: lisa oleks nagu liiga tühine selleks, et kadu kaalus võiks ennast tunda anda. Arvutus räägib siiski muud: kaalu kaotus tuleb välja kaunis märgatav.

Teostame arvutuse ühe juhu jaoks: näiteks Kokkinaki tõusmise jaoks 2000-kilogrammise koormaga 11 295 m kõrgusele. Sellel kõrgusel on lennuk maakera keskpunktist kaugemal, kui ta seda oli startimisel, $\frac{6411{,}3}{6400}$ korda.

Külgetõmbejõud nõrgeneb siin

$$(\frac{6411{,}3}{6400})^2 \text{ korda, s. o. } (1 + \frac{11{,}3}{6400})^2 \text{ korda.}$$

Järelikult peab koorem nimetatud kõrgusel kaaluma

$$2000 : (1 + \frac{11{,}3}{6400})^2 \text{ kg.}$$

Kui see arvutus läbi viia (milleks on sobiv rakendada ligikaudse arvutamise võtteid *), siis selgub, et 2000-kilogrammine koorem kaalus rekordkõrgusel ainult 1993 kg; ta muutus 7 kg kergemaks — kaalu kadu on kaunis märgatav. Kilogrammine viht tõmbaks sellisel kõrgusel vedrukaalu peal välja ainult 996,5 g; 3,5 g kaalust läheb kaotsi.

Veelgi suurema kaalukaotuse pidid avastama meie stratonaudid, kes jõudsid 22 km kõrgusele: 7 g iga kilogrammi kohta.

Lendur Jumaševi rekordtõusu jaoks, kes tõstis 1936. a. 5000-kilogrammise koorma 8919 m kõrgusele, saab arvutamise teel kindlaks teha, et koorma üldine kaalukaotus oli 14 kg.

Selsamal 1936. a. tõstis lendur M. J. Aleksejev 12 695 m

---

* Saab rakendada ligikaudseid võrdusi

$$(1 + \alpha)^2 = 1 + 2\alpha \text{ ja } 1 : (1 + \alpha) = 1 - \alpha,$$

kus α on väga väike suurus. Seepärast

$$2000 : (1 + \frac{11{,}3}{6400})^2 = 2000 : (1 + \frac{11{,}3}{3200}) = 2000 - \frac{11{,}3}{1{,}6} = 2000 - 7.$$

kõrgusele 1-tonnise koorma, lendur M. Njuhtikov tõstis 7032 m kõrgusele 10-tonnise koorma jne. Eespoolesitatut rakendades võib lugeja vaevata teostada arvutused selle kohta, kui suur oli nendel juhtudel kaalu kaotus.

Sirkliga mööda planeetide teid

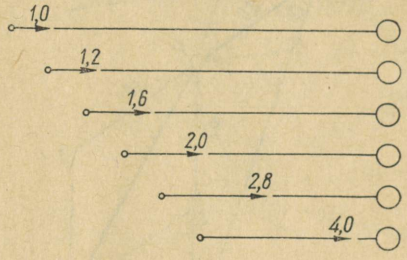
Kolmest seadusest planeetide liikumiste kohta, mis on looduse käest suurte jõupingutustega välja kistud Kepleri geeniuse poolt, on paljudele kõige arusaadavam vististi esimene. See seadus väidab, et planeedid liiguvad mööda ellipseid. Miks just nimelt mööda ellipseid? Näiks nagu, et kui Päikesest lähtub igas suunas ühesugune jõud, mis nõrgeneb kauguse suurenemisel ühesugusel määral, siis peaksid planeedid käima ümber Päikese mööda ringjooni, mitte kuidagi aga mööda väljavenitatud kinnisi teid, mille suhtes pealegi Päike ei ole keskses asendis. Sedasorti arusaamatused selguvad ammendavalt küsimuse matemaatilisel uurimisel. Kuid vajalikud teadmised kõrgemast matemaatikast on olemas vaid vähestel taevasõpradel. Püüame aga Kepleri seaduste õigsust käegakatsutavaks teha nendele meie lugejatest, kes võivad käsutada vaid elementaarmatemaatika arsenali.

Varustanud ennast sirkli, mõõtjoonlaua ja suure paberipoognaga, konstrueerime ise planeetide teid ja veendume sel kombel graafiliselt, et nad tulevad välja niisugused, nagu nad peavad olema Kepleri seaduste järgi.

Planeetide liikumist juhib gravitatsioonijõud. Asume selle juurde. Ringike joonise 87 paremal poolel kujutab mingit ettekujutatavat päikest; sellest vasakul on kujuteldav planeet. Olgu kaugus nende vahel 1 000 000 km, joonisel on see esitatud 5 cm-na — mõõtkavas 200 000 km 1 cm-s.

0,5 cm pikkune nool kujutab jõudu, millega meie planeeti tõmmatakse Päikese poole (joon. 87). Olgu nüüd planeet selle jõu toimel Päikesele lähenenud ja asugu sellest ainult 900 000 km kaugusel, s. o. 4,5 cm kaugusel meie joonisel. Planeedi külgetõmbamine Päikese poolt tugevneb nüüd gravitatsiooniseaduse järgi $(\frac{10}{9})^2$ korda, s. o. 1,2 korda. Kui külgetõmme oli enne kujutatud 1 pikkusühiku pikkuse noolena, siis nüüd me peame noolele suuruseks andma 1,2 ühikut. Kui vahemaa väheneb

800 000 km-ni, s. o. 4 cm-ni meie joonisel, siis külgetõmbejõud kasvab $(\frac{5}{4})^2$ korda, s. o. 1,6 korda, ja seda tuleb kujutada 1,6 ühiku pikkuse noolena. Planeedi edasisel liginemisel Päikesele 700, 600 ja 500 tuhande km kaugusele väljendub külgetõmbejõud vastavalt 2, 2,8 ja 4 pikkusühiku pikkuse noolena.



Joon. 87. Päikese külgetõmbejõud planeedi suhtes suureneb kauguse vähenemisel.

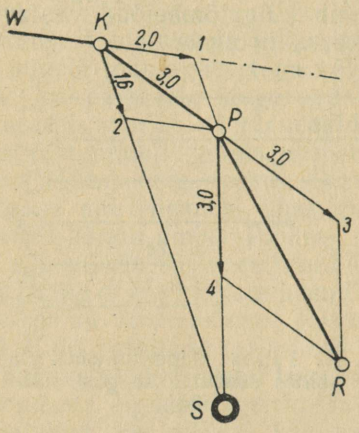
Võib endale ette kujutada, et needsamad nooled ei kujuta ainult külgetõmbejõudu, vaid ka edasinihkumisi, mida keha sooritab nende jõudude toimel ajaühikus (sel juhul on edasinihkumised võrdelised kiirendustega ja järelikult ka jõududega). Oma järgmistes konstruktsioonides me kasutame seda joonist kui planeedi edasinihkumiste valmis mõõtkava.

Asume nüüd ümber Päikese tiirleva planeedi tee konstrueerimisele. Olgu niisama suure massiga planeet nagu praegu vaadeldugi, liikudes suunas *WK* 2-pikkusühikulise kiirusega, jõudnud teataval momendil punkti *K*, mis asub 800 000 km kaugusel Päikesest (joon. 88). Sellel kaugusel Päikesest hakkab viimase külgetõmme mõjuma planeedile niisuguse jõuga, mis sunnib planeeti ajaühiku jooksul Päikese suunas edasi nihkuma 1,6 pikkusühiku võrra; sellesama ajavahemiku vältel liigub planeet esialgses suunas *WK* edasi 2 ühikut. Lõpptulemusena ta nihkub edasi mööda edasinihkumistele *K1* ja *K2* ehitatud rööpküliku diagonaali *KP*; see diagonaal on võrdne 3 pikkusühikuga (joon. 88).

Sattunud punkti *P*, püüab planeet edasi liikuda suunas *KP* 3-ühikulise kiirusega. Sellesama aja sees ta peab aga

kaugusel $SP = 5{,}8$ mõjuva Päikese külgetõmbe toimel läbima SP suunas tee $P4 = 3$. Lõpptulemusena ta läbib rööpküliku diagonaali PR.

Sellelsamal joonisel me ei hakka konstrueerimist jätkama: mõõtkava on liiga suur. On selge, et mida väiksem

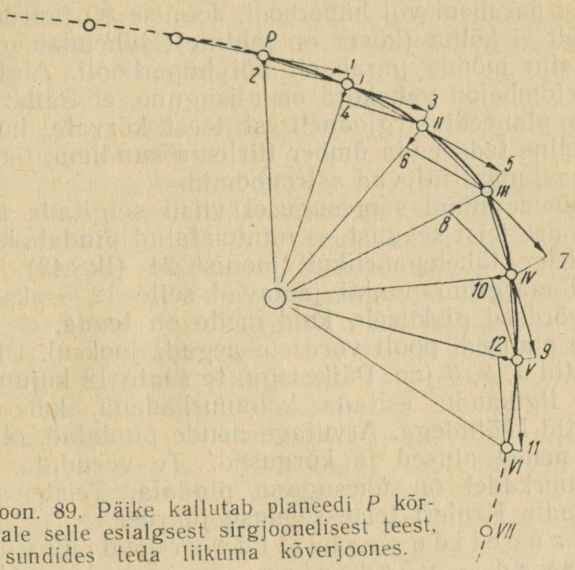


Joon. 88. Kuidas Päike S kõverdab planeedi teed $WKPR$.

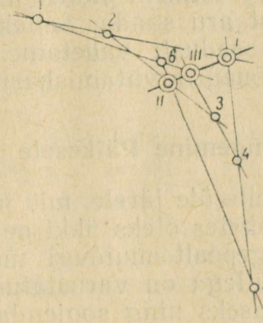
on mõõtkava, seda suuremat osa planeedi teest õnnestub meil joonisele paigutada ja seda vähem rikub nurkade teravus meie skeemi sarnasust planeedi tõelise teega. Joonisel 89 on antud seesama pilt väiksemas mõõtkavas Päikese ettekujutatava kohtumisjuhu jaoks mingisuguse taevakehaga, mis on massilt eespoolmainitud planeedi taoline. Siin on selgesti näha, kuidas Päike kallutab planeedi-tulnuka kõrvale selle esialgsest teest ning sunnib teda liikuma mööda kõverat $P—I—II—III—IV—V—VI$. Konstrueeritud tee nurgad ei ole siin nõnda teravad, ja planeedi üksikuid asukohti pole enam raske ühendada sujuva kõverjoonega.

Mis kõver see siis on? Sellele küsimusele vastata aitab meil geomeetria. Pange joonisele (joon. 89) leht läbipaistvat paberit ja kandke sellele kuus vabalt võetud punkti planeedi teest. Valitud kuus punkti (joon. 90) nummerdage ümber mistahes järjekorras ning ühendage nad omavahel sellessamas järjekorras sirglõikudega. Te saate planeedi tee sisse joonestatud kuusnurkse kujundi

osaliselt omavahel lõikuvate külgedega. Pikendage nüüd sirget *1—2* lõikumiseni sirgjoonega *4—5* punktis *I*. Samasugusel viisil saate punkti *II* sirgete *2—3* ja *5—6* lõikumisel, seejärel punkti *III* — sirgete *3—4* ja *1—6* lõi-



Joon. 89. Päike kallutab planeedi *P* kõrvale selle esialgsest sirgjoonelisest teest, sundides teda liikuma kõverjoones.



Joon. 90. Geomeetriline tõestus, selle kohta, et planeedid liiguvad ümber Päikese mööda koonuselõikeid. (Üksikasjad tekstis.)

kumisel. Kui meie poolt uuritav kõver on üks niinimetatud «koonuslõigetest», s. t. ellips, parabool või hüperbool, siis kolm punkti *I*, *II* ja *III* peavad olema ühel sirgjoonel. Selline on geomeetria teoreem (mitte nende hulgast, mis

võetakse läbi keskkoolis), mis kannab «Pascali kuusnurga» nime.

Hoolikalt teostatud joonis annab nimetatud lõikepunktid alati ühel sirgel. See tõestab, et uuritav kõver on kas ellips, parabool või hüperbool. Joonise 89 juurde esimene ilmselt ei kõlba (kõver on lahtine), tähendab planeet liikus siin mööda parabooli või hüperbooli. Algkiiruse ja külgetõmbejõu vahekord on niisugune, et Päike vaid kallutab planeedi sirgjoonelisest teest kõrvale, kuid ei ole suuteline teda enda ümber tiirlema sundima, teda «kaasa võtma», nagu ütlevad astronoomid.

Püüame nüüd samasugusel viisil selgitada planeetide liikumise teist seadust — niinimetatud pindalade seadust. Vaadelge tähelepanelikult joonist 21 (lk. 43). Kaksteist sellel märgitud punkti jaotavad selle 12 osaks; need ei ole võrdsed pikkuselt, kuid meile on teada, et nad läbitakse planeedi poolt võrdsete aegade jooksul. Ühendanud punktid *1*, *2*, *3* jne. Päikesega, te saate 12 kujundit, mida võib ligikaudu esitada kolmnurkadena, kui ühendada punktid kõõludega. Arvutage nende pindalad, olles mõõtnud nende alused ja kõrgused. Te veendute, et kõigil kolmnurkadel on ühesugune pindala. Teiste sõnadega, te jõuate Kepleri teise seaduse juurde:

Planeetide orbiitide raadiusvektorid katavad võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed pindalad.

Niisiis sirkel aitab teatud astmeni planeetide liikumiste esimesest kahest seadusest aru saada. Selleks et endale selgeks teha kolmandat seadust, vahetame sirkli sule vastu ning sooritame mõned arvutamisharjutused.

Planeetide langemine Päikesele

Kas te olete mõtelnud selle üle järele, mis juhtuks meie Maaga, kui ta takistust kohates oleks äkki peatunud oma teel ümber Päikese? Kõigepealt muidugi muundub see hiiglasuur energiavaru, millega on varustatud meie planeet kui liikuv keha, soojuseks ning soojendab maakera. Maa kihutab mööda orbiiti kümneid kordi kuulist kiiremini, ja pole raske välja arvutada, et tema liikumisenergia üleminek soojuseks sünnitab koletu kuumuse, mis muudab meie maailma silmapilkselt hõõguvate gaaside hiiglapilveks...

Kui aga Maa pääsekski äkilisel peatumisel sellisest saatusest, oleks ta siiski määratud tulesurma: Päikesest kaasa kistuna sööstaks ta selle poole kasvava kiirusega ning hukkuks selle leegitsevas kaisutuses.

See saatuslik langemine algaks aeglaselt, teokiirusel: esimese sekundi jooksul ligineks Maa Päikesele ainult 3 mm võrra. Kuid iga sekundiga kasvaks tema liikumiskiirus progressiivselt, ulatudes viimases sekundis 600 km-ni. Selle kujuteldamatu kiirusega tormaks maakera Päikese hõõguvale pinnale.

Huvitav on välja arvutada, kui palju aega kestaks see hukatuslik lend, kas meie surmalemõistetud maailma agoonia vältaks kaua. Seda arvutust aitab meil teostada Kepleri k o l m a s seadus, mis ei kehti üksnes planeetide liikumise kohta, vaid laieneb ka komeetide ja üldse kõigi taevakehade kohta, mis liiguvad maailmaruumis tsentraalse gravitatsioonijõu mõju all. See seadus seob planeedi tiirlemisperioodi (selle «aasta») planeedi kaugusega Päikesest ja kõlab järgmiselt:

P l a n e e t i d e t i i r l e m i s p e r i o o d i d e r u u d u d s u h t u v a d o m a v a h e l n a g u n e n d e o r b i i t i d e s u u r t e p o o l t e l g e d e k u u b i d.

Meie juhul me võime maakera, mis lendab otse Päikese poole, samastada kujuteldava komeediga, mis liigub mööda tugevasti väljavenitatud, kokkusurutud ellipsit, mille tipp-punktidest üks asetseb Maa orbiidil, teine — Päikese keskpunktis. Sellise komeedi orbiidi suur pooltelg on silmanähtavalt kaks korda väiksem kui Maa orbiidi suur pooltelg. Arvutame siis välja, milline oleks pidanud olema selle kujuteldava komeedi tiirlemisperiood.

Koostame võrde Kepleri kolmanda seaduse põhjal:

$$\frac{(\text{Maa tiirlemisperiood})^2}{(\text{komeedi tiirlemisper.})^2} = \frac{(\text{Maa orbiidi suur pooltelg})^3}{(\text{komeedi orb. suur pooltelg})^3}.$$

Maa tiirlemisperiood on 365 ööpäeva; võtame ühikuks tema orbiidi suure pooltelje; siis komeedi orbiidi suur pooltelg avaldub murruna 0,5. Meie võrre võtab nüüd sellise kuju:

$$\frac{365^2}{(\text{komeedi tiirlemisperiood})^2} = \frac{1}{(0{,}5)^3},$$

kust

$$(\text{komeedi tiirlemisperiood})^2 = 365^2 \times \frac{1}{8}.$$

Järelikult

$$\text{komeedi tiirlemisperiood} = 365 \times \frac{1}{\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{8}}.$$

Meid ei huvita õieti selle kujuteldava komeedi tiirlemise täisperiood, vaid poolperiood, s. o. lennu ühe otsa — Maa orbiidist Päikeseni — kestus: see ongi otsitav Maa Päikesele langemise aeg. Arvutame selle siis välja:

$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{2\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{32}} = \frac{365}{5{,}65}.$$

Tähendab selleks, et teada saada, kui palju aega Maa langeks Päikesele, tuleb aasta pikkus jagada arvuga $\sqrt{32}$, s. o. arvuga 5,65. See teeb välja ümmarguselt 65 päeva.

Me arvutasime niisiis välja, et Maa, olles äkki peatatud oma liikumisel mööda orbiiti, langeks Päikesele enam kui kahe kuu jooksul.

Kerge on näha, et ülal Kepleri kolmanda seaduse põhjal saadud lihtne valem pole üksnes Maale rakendatav, vaid ka igale teisele planeedile ja koguni igale kaaslasele. Teisiti öeldes, selleks et teada saada, kui palju aja jooksul planeet või kaaslane langeb oma emataevakehale, tuleb tema tiirlemisperiood jagada arvuga $\sqrt{32}$, s. o. arvuga 5,65.

Seepärast näiteks Merkuur — Päikesele kõige ligem planeet —, mis teeb täistiiru 88 päeva jooksul, langeks Päikesele $15^1/_2$ päevaga. Neptuun, mille üks «aasta» on võrdne 165 meie aastaga, langeks Päikesele 29 aastat, Pluuto aga 44 aastat.

Kui pika aja jooksul langeks Maa peale Kuu, kui tema tõttamine lakkaks äkki? Jagame Kuu tiirlemisperioodi (27,3 päeva) arvuga 5,65: saame peaaegu täpipealt 5 päeva. Ja mitte üksnes Kuu, vaid ka üldse igasugune keha, mis asub meist Kuu kaugusel, langeks Maa peale 5 päeva jooksul, kui temale ainult ei ole antud mingisugust algkiirust ja ta langeb, alludes ainult Maa külgetõmbe toimele (Päikese mõju me jätame lihtsuse mõttes kõrvale). Sedasama valemit kasutades ei ole raske kontrollida Kuule lendamise kestust, millest räägib J. Verne oma romaanis «Kahurist Kuule» *.

* Arvutused on ära toodud minu raamatus «Planeetidevahelised reisid».

Vulcanuse alasi

Äsjatuletatud reeglit kasutame huvitava ülesande lahendamiseks mütoloogia valdkonnast. Muistne müüt Vulcanusest jutustab muuseas, et see jumal pillas maha ükskord oma alasi, ja see langes taevast alla tervelt 9 päeva, enne kui jõudis Maani. Muinasrahvaste arvamuse järgi vastab see tähtaeg kujutlusele taevaste kujuteldamatust kõrgusest, kus elunevad jumalad; Cheopsi püramiidi tipust oleks alasi Maani lennanud ju kõigest 5 sekundiga!

Pole siiski raske välja arvutada, et muistsete rahvaste universum, kui seda selle tunnusmärgi järgi mõõta, oleks meie mõistete järgi üsna kitsavõitu.

Me teame juba, et Kuu langeks Maale 5 päeva jooksul, müütiline alasi aga langes 9 päeva. Tähendab, «taevas», millest langes alla alasi, asub Kuu orbiidist kaugemal. Kas aga palju kaugemal? Kui me korrutame 9 päeva arvuga $\sqrt{32}$, siis me saame teada selle perioodi suuruse, mille kestel alasi teeks tiiru ümber maakera, kui ta oleks meie planeedi kaaslaseks: $9 \times 5{,}65 = 51$ ööpäeva. Rakendame nüüd Kuule ja meie kujuteldavale alasist kaaslasele Kepleri kolmandat seadust.

Koostame võrde

$$\frac{(\text{Kuu tiirlemisperiood})^2}{(\text{alasi tiirlemisperiood})^2} = \frac{(\text{Kuu kaugus})^3}{(\text{alasi kaugus})^3}.$$

Asetanud arvud asemele, saame

$$\frac{27{,}3^2}{51^2} = \frac{380\,000^3}{(\text{alasi kaugus})^3}.$$

Siit pole raske välja arvutada alasi tundmatut kaugust Maast:

$$\text{alasi kaugus} = \sqrt[3]{\frac{51^2 \cdot 380\,000^3}{27{,}3^2}} = 380\,000 \sqrt[3]{\frac{51^2}{27{,}3^2}}.$$

Arvutamine annab järgmise tulemuse: 580 000 km.

Nii mannetu oleks järelikult muistsete rahvaste taeva kaugus kaasaegse astronoomi arvates: kõigest poolteist korda suurem Kuu kaugusest. Vanade rahvaste maailm lõppes umbkaudu seal, kus ta meie ettekujutuste järgi alles algab.

Päikesesüsteemi piirid

Kepleri kolmas seadus annab samuti võimaluse välja arvutada, kui kaugele peab olema nihutatud meie päikesesüsteemi piir, kui lugeda tema äärmisteks punktideks komeetide orbiitide kõige kaugemaid tippe (afeele). Meil tuli sellest juba varem vestelda; siin viime läbi vastavad arvutused. Me mainisime III peatükis komeete, millel on väga pikk tiirlemisperiood: 776 aastat. Arvutame välja sellise komeedi afeeli kauguse x, teades, et tema lähim kaugus Päikesest (periheel) on 1 800 000 km.

Võtame arvutustes teiseks kehaks Maa ning koostame võrde:

$$\frac{776^2}{1^2} = \frac{\left[\frac{1}{2}(x + 1\,800\,000)\right]^3}{150\,000\,000^3}.$$

Siit

$$x + 1\,800\,000 = 2 \cdot 150\,000\,000 \cdot \sqrt[3]{776^2}.$$

Ja järelikult

$$x = 25\,331\,000\,000 \text{ km}.$$

Me näeme, et vaadeldavad komeedid peavad minema Päikesest 182 korda kaugemale kui Maa, ja järelikult neli ja pool korda kaugemale kui viimane meile tuntud planeetidest — Pluuto.

Viga Jules Verne'i romaanis

Väljamõeldud komeet «Gallia», millele Jules Verne kandis romaani «Hector Servadac» tegevuse, sooritab täistiiru ümber Päikese täpselt kahe aastaga. Teine näpunäide, mis leidub romaanis, käib selle komeedi afeeli kauguse kohta: 820 miljonit km Päikesest. Olgugi et perihheli kaugust romaanis ei ole näidatud, oleme me juba kahe andme järgi, mis praegu on ära toodud, õigustatud kinnitama, et sellist komeeti meie päikesesüsteemis olla ei saa. Selles veenab meid arvutamine Kepleri kolmanda seaduse põhjal.

Tähistame perihheli tundmatu kauguse x miljoni km-na. Komeedi orbiidi suurtelg avaldub siis $x + 820$ miljoni km-na, ja suur pooltelg $\frac{x+820}{2}$ miljoni km-na. Kõrvuta-

des komeedi tiirlemisperioodi ja kaugust Maa perioodi ja kaugusega, saame Kepleri seaduse põhjal

$$\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x+820)^3}{2^3 \cdot 150^3},$$

kust

$$x = -343.$$

Negatiivne tulemus komeedi lähima kauguse suuruseks Päikesest viitab ülesande lähteandmete kooskõlastamatusele. Teiste sõnadega, komeet nii lühikese tiirlemisperioodiga — 2 aastat — ei saaks minna Päikesest nii kaugele, nagu on näidatud Jules Verne'i romaanis.

Kuidas kaaluti ära Maa?

On olemas anekdootlik jutustus naiivsest inimesest, keda kõige enam hämmastas astronoomias see, et õpetlased on teada saanud, kuidas tähti nimetatakse. Kui rääkida tõsiselt, siis peab astronoomide kõige hämmastavamaks saavutuseks näima tõenäoliselt see, et nendel õnnestus k a a l u d a ära nii Maa, millel me elame, kui ka kauged taevakehad. Tõepoolest: millisel viisil, milliste kaaludega saadi ära kaaluda Maa ja taevas?

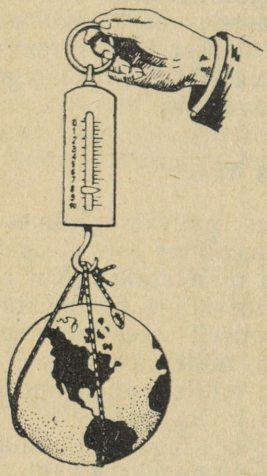
Hakkame pihta Maa kaalumisega. Kõigepealt anname endale aru, mida tuleb mõista sõnade «maakera kaal» all. Keha kaaluks me nimetame rõhumist, mida ta avaldab oma toele, või pingsust, mida ta tekitab ülesriputuspunktis. Ei see ega teine pole maakerale rakendatav: Maa ei toetu mitte millelegi ega ole mitte millegi külge üles riputatud. Tähendab, niisuguses mõttes maakeral ei ole kaalu. Mida siis õpetlased kindlaks määrasid, «kaalunud ära» Maa? Nad määrasid kindlaks tema m a s s i. Kui me palume endale poes kaaluda 1 kg suhkrut, ei huvita meid õieti mitte sugugi jõud, millega see suhkur rõhub toele või pingutab riputusniiti. Suhkrus huvitab meid teine asi: me mõtleme ainult sellele, mitu klaasi teed saab sellega ära juua, teiste sõnadega, meid huvitab temas sisalduva aine hulk.

Ainehulga mõõtmiseks on aga olemas vaid üks viis: leida, millise jõuga Maa tõmbab keha külge. Me loeme, et võrdsetele massidele vastavad võrdsed ainehulgad, aga massi üle otsustame ainult tema külgetõmbejõu järgi, sest et külgetõmme on võrdeline massiga.

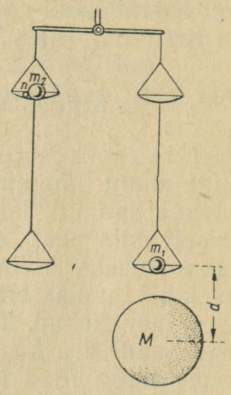
Siirdudes Maa kaalu juurde me ütleme, et tema «kaal»

on kindlaks määratud, kui saab teatavaks *tema mass*; niisiis tuleb Maa kaalu määramise ülesannet mõista kui tema massi arvutamise ülesannet.

Kirjeldame ühte selle lahendamise viisidest (Jolly meetod, 1871). Joonisel 92 te näete väga tundlikke kausskaale, milles kaalu kangi kummassegi otsa on riputatud



Joon. 91. Milliste kaaludega saadi ära kaaluda Maad?



Joon. 92. Üks Maa massi määramise viisidest: Jolly kaalud.

kaks kerget kaussi: ülemine ja alumine. Ülemise ja alumise vaheline kaugus on 20—25 cm. Parempoolsele alumisele kausile paneme sfäärilise koormuse massiga m_1. Tasakaalustamiseks asetame vasakpoolsele ülemisele kausile koormuse m_2. Need koormused ei ole võrdsed, sest et Maa tõmbab neid külge erisuguse jõuga, kuna nad asuvad erinevatel kõrgustel. Kui parempoolse alumise kausi alla asetada suur seatinast kera massiga M, siis kaalude tasakaal kaob, sest et massi m_1 tõmmatakse seatinakera massi M poolt külge jõuga F, mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöördvõrdeline nende keskpunkte lahutava kauguse d ruuduga:

$$F = k\frac{m_1 M}{d^2},$$

kus k on niinimetatud gravitatsioonikonstant.

Selleks et taastada rikutud tasakaalu, asetame kaalude ülemisele vasakpoolsele kausile väikese koormuse massiga n. Jõud, millega see rõhub kaalukausile, on võrdne tema kaaluga, s. t. on võrdne külgetõmbejõuga, mida sellele koormusele rakendatakse kogu Maa massi poolt. See jõud F' on

$$F' = k\frac{n\mathfrak{M}_{\delta}}{R^2},$$

kus $\mathfrak{M}_{\delta}$ on Maa mass ja R tema raadius.

Jättes arvestamata selle kaduvväikese mõju, mida avaldab seatinakera juuresolek koormustele, mis asuvad ülemisel vasakpoolsel kausil, me võime tasakaalutingimuse üles kirjutada järgmisel kujul:

$$F = F' \quad \text{ehk} \quad \frac{m_1 M}{d^2} = \frac{n\mathfrak{M}_{\delta}}{R^2}.$$

Selles võrdes on kõik suurused peale Maa massi $\mathfrak{M}_{\delta}$ mõõdetavad. Siit määrame $\mathfrak{M}_{\delta}$. Nende katsete puhul, millest oli juttu

$$M = 5775{,}2 \text{ kg}, \quad R = 6366 \text{ km}, \quad d = 56{,}86 \text{ cm},$$

$$m_1 = 5{,}00 \text{ kg ja } n = 589 \text{ mg}.$$

Lõppkokkuvõttes osutus Maa massiks $6{,}15 \times 10^{27}$ g. Maa massi kaasaegne määramine, mis on rajatud suurele reale mõõtmistele, annab $\mathfrak{M}_{\delta} = 5{,}974 \times 10^{27}$ g, s. t. umbes 6 tuhat triljonit tonni. Võimalik viga selle suuruse kindlaksmääramisel ei ole enam kui 0,1%.

Niisiis astronoomid määrasid kindlaks maakera massi. Meil on täielik õigus öelda, et nad k a a l u s i d Maa ära, seepärast et iga kord, kui me kaalume keha kangkaaludega, me õieti ei määra tema k a a l u, mitte jõudu, millega teda Maa külge tõmbab, vaid m a s s i: me konstateerime vaid, et keha m a s s on võrdne vihtide massiga.

Millest koosneb Maa sisemus?

Siinkohal on kohane kinni naelutada viga, mida võib kohata populaarteaduslikes raamatutes ja artiklites. Püüdes esitust lihtsustada, kujutavad autorid Maa kaalumise

lugu nii: õpetlased mõõtsid ära meie planeedi 1 cm^3 keskmise kaalu (s. t. tema erikaalu), ja arvutanud geomeetriliselt välja tema ruumala, määrasid Maa kaalu kindlaks tema erikaalu ja ruumala korrutamisega. Osutatud tee on siiski teostamatu: pole võimalik vahetult mõõta Maa erikaalu, sest et meile on ligipääsetav vaid Maa võrdlemisi õhuke väliskiht * ja midagi ei ole teada selle kohta, millistest ainetest koosneb ülejäänud, palju suurem osa tema ruumalast.

Me teame juba, et asi toimus just ümberpöördult: maakera massi kindlaksmääramine käis tema keskmise tiheduse kindlaksmääramise eel. Selleks osutus 5,5 g 1 cm^3 kohta — palju enam, kui seda on nende kivimite tihedus, mis moodustavad maakera k o o r e. See osutab sellele, et maakera sügavuses asuvad väga rasked ained. Nende oletatava erikaalu alusel (ja samuti ka muudel põhjustel) võib arvata, et meie planeedi tuum koosneb r a u a s t, mis on tugevasti tihenenud pealpoolasuvate masside rõhumise tõttu.

Päikese ja Kuu kaal

Kui imelik see ka ei näi, ometi on kauge Päikese kaalu võrratult lihtsam kindlaks määrata kui meile palju lähemal oleva Kuu kaalu. (Muidugi mõista tarvitame me sõna «kaal» nende taevakehade suhtes samas tinglikus tähenduses nagu Maa puhulgi: jutt on m a s s i kindlaksmääramisest.)

Päikese mass on leitud järgmise arutluse teel. Katsed on näidanud, et 1 g tõmbab 1 g külge 1 cm kauguselt jõuga, mille suurus on $\frac{1}{15\,000\,000}$ mg. Kahe keha, mille massid on M ja m, vastastikune külgetõmme f vahemaa D tagant avaldub ülemaailmse gravitatsiooni seaduse kohaselt nõnda:

$$f = \frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{D^2} \text{ mg}.$$

Kui M on Päikese mass (grammides), m — Maa mass, D — nendevaheline kaugus, mis on 150 000 000 km, siis

* Maakoore mineraale on uuritud vaid 25 km sügavuselt; arvestus näitab, et mineraloogilises suhtes on tundma õpitud kõigest $^1/_{83}$ maakera ruumalast.

nende vastastikune külgetõmme milligrammides on

$$\frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{15000\,000\,000\,000^2} \text{ mg.}^*$$

Teiselt poolt see külgetõmbejõud ongi selleks kesktõmbejõuks, mis hoiab meie planeeti tema orbiidil ja mis mehhaanika reeglite järgi on (samuti milligrammides) $\frac{mv^2}{D}$, kus m on Maa mass (grammides), v — tema ringkiirus, mis on 30 km/sek = 3 000 000 cm/sek, ja D — Maa ja Päikese vaheline kaugus. Järelikult

$$\frac{1}{15\,000\,000} \frac{Mm}{D^2} = m \cdot \frac{3\,000\,000^2}{D}.$$

Sellest võrrandist määratakse tundmatu M (avaldatud, nagu öeldud, grammides):

$$M = 2 \cdot 10^{33} \text{ g} = 2 \cdot 10^{27} \text{ t.}$$

Jaganud selle massi maakera massiga, s. t. välja arvutanud suhte

$$\frac{2 \cdot 10^{27}}{6 \cdot 10^{27}},$$

saame $^1/_3$ miljonit.

Teine Päikese massi määramise viis on rajatud Kepleri kolmanda seaduse kasutamisele. Ülemaailmse gravitatsiooni seadusest tuletatakse kolmas seadus järgmisel kujul:

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

kus $\mathfrak{M}_\odot$ on Päikese mass, T — planeedi täheline tiirlemisperiood, a — planeedi keskmine kaugus Päikesest ja m — planeedi mass. Rakendades seda seadust Maale ja Kuule, saame

$$\frac{(\mathfrak{M}_\odot + m_\sigma)}{(m_\sigma + m_\leftmoon)} \frac{T^2_\sigma}{T^2_\leftmoon} = \frac{a^3_\sigma}{a^3_\leftmoon}.$$

Asendades vaatlustest teadaolevad a_σ, $a_\leftmoon$ ja T_σ, $T_\leftmoon$ ning jättes esimeses lähenduses lugejast ära Maa massi, mis on

---

* Täpsemalt — düüni; 1 düün = 0,98 mg.

Päikese massiga võrreldes väike, ja nimetajast Kuu massi, mis on väike Maa massiga võrreldes, saame

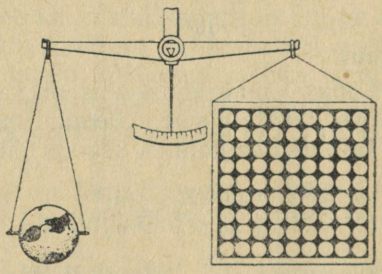
$$\frac{\mathfrak{M}_\odot}{m_\delta} = 330\,000.$$

Teades Maa massi, saame kätte Päikese massi.

Seega on Päike Maast raskem kolmandik miljonit korda.

Ei ole raske välja arvutada ka päikesekera keskmist tihedust: selleks on tarvis vaid tema mass jagada ruumalaga. Selgub, et Päikese tihedus on ligikaudu neli korda väiksem kui Maa tihedus.

Mis aga puutub Kuu massi, siis, nagu väljendus üks astronoom, «olgugi et ta on meile lähemal kõigist teistest taevakehadest, on teda raskem kaaluda kui Neptuuni, kõige kaugemat (tollal) planeeti». Kuul ei ole kaaslast, mis aitaks välja arvutada tema massi, nagu me praegu välja arvutasime Päikese massi. Õpetlastel tuli tarvitusele võtta teisi, keerulisemaid meetodeid, millest mainime ainult üht. See seisneb selles, et võrreldakse Päikesest põhjustatud meretõusu ja Kuust põhjustatud tõusu kõrgust.



Joon. 93. Maa «kaalub» 81 korda rohkem kui Kuu.

Tõusu kõrgus oleneb teda tekitanud keha massist ja kaugusest, ja kuna Päikese mass ning kaugus on teada, Kuu kaugus samuti, siis tõusude kõrguse võrdlusest määrataksegi kindlaks Kuu mass. Me pöördume selle arvutuse juurde veel tagasi, kui hakkame rääkima tõusudest. Siin teeme teatavaks vaid lõpptulemuse: Kuu mass moodustab Maa massist $\frac{1}{81}$ (joon. 93). Teades Kuu diameetrit, arvu-

tame välja tema ruumala; see osutub Maa ruumalast 49 korda väiksemaks. Seepärast moodustab meie kaaslase tihedus $\frac{49}{81} = 0{,}6$ Maa tihedusest.

Tähendab, Kuu koosneb läbistikku kohedamast ainest kui Maa, kuid tihedamast kui Päike. Edasi me näeme (vt. tabelit lk. 196), et Kuu keskmine tihedus on kõrgem enamiku planeetide keskmisest tihedusest.

Planeetide ja tähtede kaal ning tihedus

Viis, millega «kaaluti ära» Päike, on rakendatav ka mistahes planeedi kaalumiseks, millel on kas või üksainuski kaaslane.

Teades kaaslase orbiidil liikumise keskmist kiirust v ja tema keskmist kaugust D planeedist, me võrrutame kaaslast orbiidil hoidva kesktõmbejõu $\frac{mv^2}{D}$ kaaslase ja planeedi vastastikuse külgetõmbejõuga $\frac{kmM}{D^2}$, kus k on 1 g külgetõmbejõud 1 g poole 1 cm kaugusel, m — kaaslase mass, M — planeedi mass:

$$\frac{mv^2}{D} = \frac{kmM}{D^2},$$

kust

$$M = \frac{Dv^2}{k}$$

— valem, mille järgi on hõlpus välja arvutada planeedi massi M.

Kepleri kolmas seadus on rakendatav ka sellele juhule:

$$\frac{(\mathfrak{M}_\odot + m_{\text{planeedi}})}{(m_{\text{planeedi}} + m_{\text{kaaslase}})} \frac{T^2_{\text{planeedi}}}{T^2_{\text{kaaslase}}} = \frac{a^3_{\text{planeedi}}}{a^3_{\text{kaaslase}}}.$$

Ka siin, jättes sulgudes ära väikesed liidetavad, saame Päikese massi ja planeedi massi suhte $\frac{\mathfrak{M}_\odot}{m_{\text{planeedi}}}$. Päikese massi teades saab hõlpsasti kindlaks määrata planeedi massi.

Samasugune arvutuskäik on aga rakendatav ka kaksiktähtedele, ainult selle vahega, et siin ei tule arvutamise

tulemusena välja antud paari üksikute tähtede massid, vaid nende masside s u m m a.

Hoopis raskem on määrata planeetide k a a s l a s t e massi, samuti aga ka nende planeetide massi, millel üldse ei ole kaaslasi.

Näiteks Merkuuri ja Veenuse massid on leitud nende häirete mõju arvestamisest, mida nad avaldavad teineteisele, Maale ja samuti ka mõnede komeetide liikumisele.

Asteroidide puhul, mille mass on niivõrd tühine, et nad ei avalda üksteisele mingisugust märgatavat mõju, on massi kindlaksmääramise ülesanne üldiselt lahendamatu. Teada on ainult — sedagi oletuslikult — kõigi nende tillukeste planeedikeste kogumassi ülemine raja.

Planeetide massi ja ruumala järgi on hõlpsasti väljaarvutatav nende k e s k m i n e t i h e d u s. Tulemused on kokku võetud järgmises tabelis:

	Maa tihedus = 1
Merkuur	1,00
Veenus	0,92
Maa	1,00
Marss	0,74
Jupiter	0,24
Saturn	0,13
Uuran	0,23
Neptuun	0,22

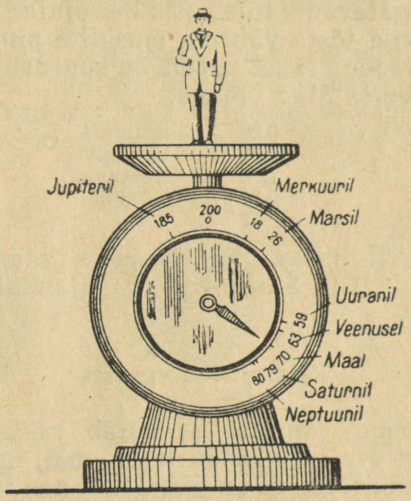
Me näeme, et meie Maa on kõige tihedam kõigist meie süsteemi planeetidest. Suurte planeetide väikesed keskmised tihedused seletuvad sellega, et iga suure planeedi tahke tuum on kaetud tohutu atmosfääriga, millel on väike mass, kuid mis väga palju suurendab planeedi näivat ruumala.

Raskus Kuu peal ja planeetidel

Inimesed, kellel on astronoomia alal vähe teadmisi, avaldavad tihti hämmastust selle üle, et õpetlased, külastamata Kuud ja planeete, räägivad veendunult raskusjõust nende pinnal. Muide, ei ole sugugi raske välja arvutada, mitu kilogrammi peab kaaluma kaaluviht, mis on üle viidud teistele maailmadele. Selleks on tarvis teada vaid taevakeha raadiust ning massi.

Määrame näiteks raskusjõu tugevuse Kuu peal. Kuu mass, nagu me teame, on Maa massist 81 korda väiksem. Kui Maa omaks niisuguse väikese massi, siis oleks raskus-

jõu tugevus tema pinnal 81 korda nõrgem kui praegu. Newtoni seaduse järgi kera avaldab aga külgetõmmet nii, nagu oleks kogu tema mass koondatud keskpunkti. Maa keskpunkt on maapinnast Maa raadiuse kaugusel, Kuu



Joon. 94. Kui palju kaaluks inimene eri planeetidel?

keskpunkt kuupinnast Kuu raadiuse kaugusel. Ent Kuu raadius moodustab Maa omast $\frac{27}{100}$, aga kauguse vähenemise tõttu $\frac{100}{27}$ korda külgetõmbejõud suureneb $(\frac{100}{27})^2$ korda. Tähendab, lõppkokkuvõttes moodustab raskusjõu tugevus Kuu pinnal

$$\frac{100^2}{27^2 \cdot 81} \approx \frac{1}{6}$$ Maa omast.

1-kilogrammine viht, mis on üle viidud Kuu pinnale, kaaluks seal seega ainult $\frac{1}{6}$ kg, kuid kaalu vähenemist saaks avastada muidugi ainult vedrukaalude abil (joon. 94), mitte aga kangkaaludega.

Huvitav, et kui Kuu peal oleks vett, tunneks ujuja end kuupealses vesistus niisamuti nagu Maa peal. Tema kaal

väheneks kuus korda, kuid niisama palju kordi väheneks ka tema poolt väljatõrjutud vee kaal; nendevaheline vahekord oleks samasugune nagu Maa peal, ja ujuja vajuks Kuu vees täpselt niisama sügavale, kui ta vajub meilgi.

Muuseas, pingutused vee peale tõusmiseks annaksid Kuu peal märgatavama tulemuse: kui ujuja kehakaal väheneb, saab ta end tõsta vähema musklite pingutusega.

Allpool on toodud tabel raskusjõu suuruse kohta eri planeetidel, võrreldes Maa omaga.

Merkuuril	0,26	Saturnil	1,13
Veenusel	0,90	Uuranil	0,84
Maal	1,00	Neptuunil	1,14
Marsil	0,37	Pluutol	?
Jupiteril	2,64		

Nagu tabelist näha, seisab meie Maa raskusjõult Jupiteri, Neptuuni ja Saturni järel neljandal kohal päikesesüsteemis. *

Rekordiline raskus

Kõige suurema väärtuse saavutab raskusjõud nende Siirius *B* tüüpi «valgete kääbuste» pinnal, millest me räägisime IV peatükis. Kerge on taibata, et nende taevakehade tohutu mass võrdlemisi väikese raadiuse juures peab tingima raskusjõu väga suure tugevuse nende pinnal. Teeme läbi arvutused Kassiopeia tähtkuju selle tähe jaoks, mille mass on meie Päikese massist 2,8 korda suurem, raadius aga Maa raadiusest kaks korda väiksem. Meenutanud, et Päikese mass on Maa omast 330 000 korda suurem, teeme kindlaks, et raskusjõud mainitud tähe pinnal ületab Maa oma

$$2{,}8 \cdot 330\,000 \cdot 2^2 = 3\,700\,000\text{-kordselt.}$$

1 cm^3 vett, mis kaalub Maa peal 1 g, kaaluks selle tähe pinnal peaaegu $3^3/_4$ t! 1 cm^3 tähe enda ainet (mis on 36 000 000 korda tihedam kui vesi) peab omama selles imelises maailmas koletu kaalu:

$$3\,700\,000 \cdot 36\,000\,000 = 133\,200\,000\,000\,000 \text{ g.}$$

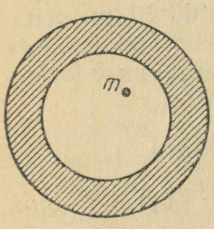
---

* Need, kes soovivad üksikasjalisemalt tutvuda gravitatsiooni avaldustega universumis, leiavad palju kasulikke teadmisi prof. K. L. Bajevi kõigile arusaadavalt kirjutatud raamatust «Ülemaailmne gravitatsioon» (1936. a.).

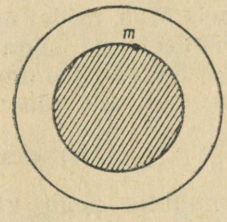
Sõrmkübaratäis ainet, mis kaalub sada miljonit tonni, — see on imeasi, mille olemasolust universumis ei mõelnud veel hiljaaegu kõige julgemadki fantaseerijad.

Raskus planeetide sügavuses

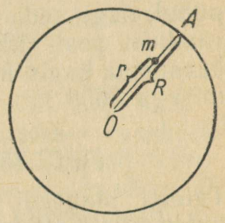
Kuidas muutuks keha kaal, kui ta oleks üle viidud planeedi sügavikku, näiteks fantastilise sügava šahti põhja? Paljud arvavad ekslikult, et niisuguse šahti põhjas peab keha raskemaks muutuma: ta on ju lähemal planeedi kesk-



Joon. 95. Kehal õõneskera sees ei ole kaalu.



Joon. 96. Millest oleneb keha kaal planeedi sisemuses.



Joon. 97. Keha kaalu muutumise väljaarvutamise juurde liginemisel planeedi keskpunktile.

punktile, s. o. sellele punktile, mille poole tõmbuvad kõik kehad. See kaalutlus ei ole siiski õige: külgetõmbejõud planeedi keskpunkti poole ei kasva sügavuses, vaid ümberpöördult — kahaneb. Kõigile arusaadava seletuse selle kohta võib lugeja leida minu «Huvitavast füüsikast». Selleks et sealõeldut mitte korrata, märgin ära vaid järgmist.

Mehhaanikas tõestatakse, et kehad, mis on paigutatud ühtse õõneskera õõnsusse, on täiesti kaaluta (joon. 95). Siit järeldub, et keha, mis asub pideva homogeense kera sees, on allutatud ainult selle aineosa külgetõmbele, mis on suletud kerasse, mille raadius on võrdne keha kaugusega keskpunktist (joon. 96).

Nendele väidetele toetudes ei ole raske tuletada seadust, mille järgi muutub keha kaal lähenemisel planeedi keskpunktile. Tähistame planeedi raadiuse (joon. 97) tähega R ja keha kauguse tema keskpunktist tähega r. Keha

külgetõmbejõud peab selles punktis kasvama $(\frac{R}{r})^2$ korda ning samaaegselt nõrgenema $(\frac{R}{r})^3$ korda (sest et planeedi külgetõmbav osa vähenes nimetatud arv korda). Lõppkokkuvõttes peab külgetõmbejõud nõrgenema

$$\left(\frac{R}{r}\right)^3 : \left(\frac{R}{r}\right)^2 \text{ korda, s. o. } \frac{R}{r} \text{ korda.}$$

Tähendab, planeetide sügavuses peab keha kaal vähenema nii mitu korda, kui mitu korda vähenes kaugus keskpunktini. Niisuguste mõõtmetega planeedi puhul, nagu seda on meie Maa, millel on 6400-kilomeetrine raadius, peab 3200-kilomeetrisse sügavusse laskumisega kaasnema kaalu kahekordne vähenemine, sügavusse laskumisega 5600 km võrra — kaalu vähenemine

$$\frac{6400}{6400 - 5600} \text{ korda, s. o. kaheksa korda.}$$

Täiesti planeedi keskpunktis peab keha kaotama oma kaalu täielikult, sest et

$$\frac{6400 - 6400}{6400} = 0.$$

Seda oleks muuseas saanud ette näha ka arvutusteta, sest et planeedi keskpunktis tõmmatakse keha ümbritseva aine poolt igale poole ühesuguse jõuga.

Väljendatud kaalutlused käivad kujuteldava planeedi kohta, mis on tiheduselt homogeenne. Reaalsetele planeetidele on nad rakendatavad vaid reservatsioonidega. Erijuhul, maakera puhul, mille tihedus sügavuses on suurem kui pinna läheduses, kaldub raskusjõu muutumise seadus keskpunktile liginemisel pisut kõrvale praegu kindlakstehtust: teatava (võrdlemisi väikese) sügavuseni külgetõmme kasvab, ja alles edasisel laskumisel hakkab kahanema.

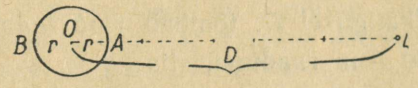
Ülesanne aurikust

Millal on aurik kergem — kas kuuvalgel või kuuta ööl?

Lahendus

Ülesanne on keerukam kui paistab. Ei saa vastata otseteed, et kuuvalgel ööl peab aurik (ja ka üldse kõik asjad

maakera kuupaistest valgustatud poolel) olema kergem kui kuuta ööl seepärast, et «Kuu tõmbab teda külge». Aurikut külge tõmmates Kuu tõmbab ju külge ka kogu maakera. Tühjuses liiguvad kõik kehad gravitatsiooni toimel ühesuguse kiirusega; Maa ja aurik saavad Kuu külgetõmbe tõttu ühesugused kiirendused, ja auriku kaalu vähenemine ei tohiks ilmsiks tulla. Ja siiski on Kuust valgustatud aurik kergem kui kuuta ööl.



Joon. 98. Kuu külgetõmbe toime maakera osakestele.

Selgitame, mispärast. Olgu joonisel 98 O — maakera keskpunkt, A ja B — aurik maakera diametraalselt teineteise vastas asuvates punktides, r — maakera raadius, D — kaugus Kuu keskpunktist L maakera keskpunktini O. Kuu massi tähistame tähega M, auriku oma tähega m. Arvutuse lihtsustamiseks võtame punktid A ja B nii, et Kuu oleks nende jaoks seniidis ja nadiiris. Jõud, millega Kuu tõmbab aurikut punktis A (s. o. kuuvalgel ööl), on

$$\frac{kMm}{(D-r)^2},$$

kus $k = \frac{1}{15\,000\,000}$. Punktis B (kuuta ööl) tõmbab Kuu sedasama aurikut jõuga

$$\frac{kMm}{(D+r)^2}.$$

Mõlema külgetõmbe vahe on

$$kMm \cdot \frac{4r}{D^3\left[1-\left(\frac{r}{D}\right)^2\right]^2}.$$

Kuna $\left(\frac{r}{D}\right)^2 = \left(\frac{1}{60}\right)^2$ on väga väike suurus, siis jäetakse ta kõrvale. Selle tagajärjel avaldis lihtsustub tunduvalt; ta saab kuju

$$kMm \cdot \frac{4r}{D^3}.$$

Teisendame seda niimoodi:

$$\frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{4r}{D} = \frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{1}{15}.$$

Mis on $\frac{kMm}{D^2}$? Ei ole raske taibata, et see on jõud, millega Kuu tõmbab aurikut, kui see on tema keskpunktist kaugusel D. Kuu pinnal aurik, mille mass on m, kaalub $\frac{m}{6}$. Kui ta on Kuust kaugusel D, tõmbab Kuu teda jõuga $\frac{m}{6D^2}$. Kuna $D = 220$ Kuu raadiust, siis

$$\frac{kMm}{D^2} = \frac{m}{6 \cdot 220^2} \approx \frac{m}{300\,000}.$$

Pöördudes nüüd tagasi külgetõmmete vahe arvutamise juurde, saame

$$\frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{1}{15} \approx \frac{m}{300\,000} \cdot \frac{1}{15} = \frac{m}{4\,500\,000}.$$

Kui auriku kaal on 45 000 t, siis otsitav kaalude vahe kuuvalgel ja kuuta ööl teeb välja

$$\frac{45\,000\,000}{4\,500\,000} = 10 \text{ kg}.$$

Niisiis kuuvalgel ööl on aurik kergem kui kuuta ööl, kuigi tähtsusetu suuruse võrra.

Kuu ja Päikese poolt põhjustatud tõusud

Praeguvaadeldud ülesanne aitab selgitada tõusude ja mõõnade peapõhjust. Ei tule arvata, et tõusulaine tõuseb lihtsalt seetõttu, et Kuu või Päike tõmbavad vett vahetult enda poole. Meie selgitasime juba, et Kuu ei tõmba külge üksnes seda, mis asub maapinnal, vaid ka kogu maakera. Asi seisneb siiski selles, et külgetõmbe allikas on maakera keskpunktist kaugemal kui veeosakestest maakera pinnal, mis on pööratud Kuu poole. Vastav vahe külgetõmbejõu suuruses arvutatakse välja samasugusel viisil, nagu me äsja välja arvutasime vahe auriku külgetõmbejõus. Selles punktis, mille seniidis seisab Kuu, tõmmatakse iga kilogrammi vett Kuu poolt $\frac{2kMr}{D^3}$ võrra tugevamini kui

kilogrammi Maa keskpunkti ainet, aga vett Maa diametraalselt vastasasuvas punktis — niisama palju nõrgemini.

Selle vahe tõttu tõuseb vesi mõlemal juhul kindla maapinna kohal: esimesel juhul seepärast, et vesi nihkub Kuu poole rohkem kui maakera tahke jagu, teisel — seepärast, et Maa tahke jagu nihkub Kuu poole rohkem kui vesi. *

Samasugust toimet avaldab ookeani veele ka Päikese külgetõmme. Kumma toime on aga tugevam: Päikese või Kuu oma? Kui võrrelda nende v a h e t u i d külgetõmbeid, siis selgub, et Päikese toime on tugevam. Tõepoolest, Päikese mass on Maa massist suurem 330 000 korda, Kuu mass on aga veel 81 korda väiksem, s. t. on Päikese omast väiksem $330\,000 \times 81$ korda. Päikese ja Maa vaheline kaugus on võrdne 23 400 Maa raadiusega, Kuu ja Maa vaheline kaugus aga — 60 Maa raadiusega. Tähendab, Maa külgetõmme Päikese poolt suhtub tema külgetõmbesse Kuu poolt nagu

$$\frac{330\,000 \cdot 81}{23\,400^2} : \frac{1}{60^2} \approx 170.$$

Niisiis Päike tõmbab kõiki maapealseid asju 170 korda tugevamini külge kui Kuu. Seepärast võiks arvata, et Päikese poolt põhjustatud tõusud on kõrgemad kui Kuu poolt põhjustatud tõusud. Tegelikkuses täheldatakse siiski just vastupidist: Kuu poolt põhjustatud tõusud on suuremad Päikese poolt põhjustatutest. See on täiesti kooskõlas arvutamisega valemi $\frac{2kmM}{D^3}$ järgi. Kui tähistame Päikese massi tähega M_p, Kuu massi tähega M_k, Päikese kauguse tähega D_p ja Kuu kauguse tähega D_k, siis Päikese ja Kuu tõusetekitavate jõudude suhe on

$$\frac{2kM_pr}{D_p^3} : \frac{2kM_kr}{D_k^3} = \frac{M_p}{M_k} \cdot \frac{D_k^3}{D_p^3}.$$

Loeme Kuu massi tuntuks: $\frac{1}{81}$ Maa massist.

Siis, teades et Päike on 400 korda kaugemal kui Kuu, saame

---

* Siin on märgitud vaid tõusude ja mõõnade peapõhjus; tervikuna on see nähtus keerukam ning on tingitud veel teistestki põhjustest (tsentrifugaalefekt maakera tiirlemisest ümber Maa ja Kuu ühise massikeskme jt.). Loodete täielik teooria on kõigile arusaadavalt esitatud J. M. Sokalski raamatus «Loodetest maailmaookeanis».

$$\frac{M_p}{M_k} \cdot \frac{D_k^3}{D_p^3} = 330\,000 \cdot 81 \cdot \frac{1}{400^3} = 0{,}42.$$

Tähendab, Päikese poolt tekitatud tõusud peavad olema umbes $2^1/_2$ korda madalamad kui Kuu poolt tekitatud tõusud.

Siin on kohane näidata, kuidas Kuu ja Päikese poolt põhjustatud tõusude kõrguste võrdlusest määrati Kuu mass. Ühtede ja teiste tõusude kõrgust eraldi vaadelda ei saa: Päike ja Kuu mõjuvad alati koos. Võimalik on aga mõõta tõusu kõrgust siis, kui mõlema taevakeha mõjud liituvad (s. t. kui Kuu ja Päike asuvad ühel sirgjoonel Maaga), ja siis, kui nende mõjud on vastandlikud (sirge, mis ühendab Päikest ja Maad, on risti sirgega, mis ühendab Kuud ja Maad). Vaatlused näitasid, et teised tõusud moodustavad kõrguselt 0,42 esimestest. Kui Kuu tõusetekitav jõud on x, Päikese oma aga y, siis

$$\frac{x+y}{x-y} = \frac{100}{42},$$

kust

$$\frac{x}{y} = \frac{71}{29}.$$

Järelikult, kasutades varemtuletatud valemit,

$$\frac{M_p}{M_k} \cdot \frac{D_k^3}{D_p^3} = \frac{29}{71},$$

ehk

$$\frac{M_p}{M_k} \cdot \frac{1}{64\,000\,000} = \frac{29}{71}.$$

Kuna Päikese mass $M_p = 330\,000\ M_m$, kus M_m on Maa mass, siis on viimasest võrdusest hõlpus leida

$$\frac{M_m}{M_k} = 80,$$

s. t. Kuu mass moodustab $\frac{1}{80}$ Maa massist. Täpsem arvutus annab Kuu massi jaoks suuruse 0,0123 (Maa massist).

Paljusid huvitab küsimus sellest, millist mõju atmosfäärirõhule võivad avaldada tõusud ja mõõnad, mida Kuu tekitab meie planeedi õhuookeanis. Küsimusel on pikk ajalugu. Looded Maa atmosfääris on avastatud suure vene õpetlase M. V. Lomonossovi poolt, kes nimetas nad õhulaineteks. Nendega on tegelnud paljud, ent sellest hoolimata on õhuloodete kohta levinud väärkujutlused. Mitteeriteadlased arvavad, nagu kutsuks Kuu Maa kerges ja liikuvas atmosfääris esile tohutuid tõusulaineid. Siit tulebki veendumus, et need tõusud muudavad suuresti atmosfäärirõhku ning peavad omama otsustavat tähtsust meteoroloogias.

See arvamus on täiesti ekslik. Teoreetiliselt saab tõestada, et atmosfääri tõusu kõrgus ei saa ületada vee tõusu kõrgust lahtisel ookeanil. Selline väide näib ootamatuna; õhk on ju isegi alumistes, tihedates kihtides peaaegu tuhat korda kergem kui vesi, mispärast siis Kuu külgetõmme ei tõsta teda tuhandekordsele kõrgusele? Ometi ei ole see paradoksaalsem kui raskete ja kergete kehade ühesugune langemiskiirus tühjuses.

Meenutame koolis teostatud katset tühja toruga, mille sees seatinakuulike ei jõua langedes udusulest ette. Tõusunähtus ei ole lõppkokkuvõttes tingitud millestki muust, kui maakera ja tema kergemate katete langemisest maailmaruumis Kuu (ja Päikese) gravitatsiooni toimel. Maailmaruumi tühjuses langevad kõik kehad — nii rasked kui ka kerged — ühesuguse kiirusega, nihkuvad gravitatsioonijõu tõttu ühevõrdselt edasi, kui nende kaugus külgetõmbekeskpunktist on ühesugune.

Öeldu valmistab meid ette sellele mõttele, et atmosfääri tõusude kõrgus peab olema samasugune nagu ookeaniski, kaugel randadest. Tõepoolest, kui me pöörduksime valemi juurde, mille järgi välja arvutatakse tõusu kõrgus, siis me veenduksime, et see sisaldab endas ainult Kuu ja Maa massi, maakera raadiuse ning Maa ja Kuu vahelise kauguse. Sellesse valemisse ei tule ei tõstetava vedeliku tihedus ega ookeani sügavus. Asendanud veeookeani õhuookeaniga, me ei muuda arvutuste tulemust ja saame atmosfääri tõusu jaoks sellesama kõrguse nagu tõusu jaoks ookeaniski. Viimane suurus on aga üpris väike. Teoreetiline kõrgus suurimal tõusul lahtisel ookeanil on $^1/_2$ m

ümber, ja ainult randade ning põhja piirded, piirates tõusulainet, tõstavad seda üksikutes punktides 10 ja enama meetrini. On olemas üsna huvitavad masinad tõusu kõrguse ennustamiseks antud kohas mistahes ajamomendil andmete järgi Päikese ja Kuu asendi kohta.

Randadeta õhuookeanis aga ei saa miski rikkuda Kuu poolt põhjustatud tõusu teoreetilist pilti ega muuta tema suurimat teoreetilist kõrgust — pool meetrit. Niivõrd tähtsusetu tõusmine saab avaldada atmosfäärirõhu suurusele vaid kõige tühisemat mõju.

Laplace, kes on tegelnud õhuloodete teooriaga, jõudis järeldusele, et nendest tingitud atmosfäärirõhu kõikumised ei saa ületada 0,6 mm elavhõbedasammast, atmosfäärilloodetest sünnitatud tuule kiirus aga ei ole üle 7,5 cm/sek.

On selge, et atmosfäärilooded ei saa mängida kuigi olulist osa ilmastiku faktorite hulgas.

Need kaalutlused teevad täiesti alusetuks igasuguste «kuuprohvetite» üritused ennustada ilma Kuu asendi järgi taevas.



SISUKORD

Eessõna 3

Esimene peatükk. **Maa, tema kuju ja liikumised** 5

Lühim tee Maa peal ja kaardil 5
Pikkuskraad ja laiuskraad 13
Kuhu lendas Amundsen? 13
Ajaarvamise viis liiki 14
Päeva pikkus 19
Ebatavalised varjud 21
Ülesanne kahest rongist 23
Maailmakaared taskukella järgi 25
Valged ööd ja pimedad päevad 28
Valguse ja pimeduse vaheldumine 29
Polaarpäikese mõistatus 31
Millal algavad aastaajad 31
Kolm korda «kui» 34
Veel üks «kui» 38
Millal me oleme Päikesele lähemal: keskpäeval või õhtul? 45
Üks meeter kaugemale 46
Erinevatelt vaatekohtadelt 47
Ebamaine aeg 51
Kus algavad kuud ja aastad? 54
Mitu reedet on veebruaris? 56

Teine peatükk. **Kuu ja tema liikumised** 57

Kas noor- või vanakuu? 57
Kuu lippudel 58
Kuu faaside mõistatused 59
Kaksikplaneet 61
Mispärast Kuu ei lange Päikesele? 64
Kuu nähtav külg ja nähtamatu külg 65
Teine Kuu ja Kuu kuu 69
Miks Kuul ei ole atmosfääri? 70
Kuumaailma mõõtmed 73
Kuumaastik 75
Kuu taevas 80
Milleks astronoomid vaatlevad varjutusi? 87
Mispärast varjutused korduvad 18 aasta pärast? 94
Kas see on võimalik? 97
Mida kõik veel varjutuste kohta ei tea 98
Milline on Kuu peal ilm? 101

Kolmas peatükk. **Planeedid** 104

Planeedid päevavalgel 104
Planeediaabits 105

Mida ei saa kujutada 107
Miks Merkuuril ei ole atmosfääri? 110
Veenuse faasid 112
Suured vastasseisud 113
Kas planeet või väiksem päike? 115
Saturni rõngaste kadumine 118
Astronoomilised anagrammid 119
Planeet, mis on kaugemal kui Neptuun 121
Kääbusplaneedid 123
Meie lähimad naabrid 125
Jupiteri teekaaslased 126
Võõrad taevad 127

Neljas peatükk. **Tähed** 139

Mispärast tähed näivad tähtedena? 139
Miks tähed vilguvad, planeedid aga hiilgavad rahulikult? 140
Kas päeval on tähti näha? 142
Mis on tähesuurus? 143
Tähealgebra 144
Silm ja teleskoop 148
Päikese ja Kuu tähesuurus 148
Tähtede ja Päikese tõeline heledus 150
Tuntud tähtedest kõige heledam 152
Planeetide tähesuurus Maa ja võõras taevas 153
Miks teleskoop ei suurenda tähti? 154
Kuidas mõõdeti tähtede läbimõõdud? 157
Tähtede maailma hiiglased 159
Ootamatu arvestus 160
Kõige raskem aine 160
Miks tähti nimetatakse kinnistähtedeks? 165
Tähtedevaheliste kauguste mõõdud 168
Lähimate tähtede süsteem 170
Universumi ulatus 172

Viies peatükk. **Gravitatsioon** 174

Kahurist üles 174
Kaal suurel kõrgusel 177
Sirkliga mööda planeetide teid 180
Planeetide langemine Päikesele 184
Vulcanuse alasi 187
Päikesesüsteemi piirid 188
Viga Jules Verne'i romaanis 188
Kuidas kaaluti ära Maa? 189
Millest koosneb Maa sisemus? 191
Päikese ja Kuu kaal 192
Planeetide ja tähtede kaal ning tihedus 195
Raskus Kuu peal ja planeetidel 196
Rekordiline raskus 198
Raskus planeetide sügavuses 199
Ülesanne aurikust 200
Kuu ja Päikese poolt põhjustatud tõusud 202
Kuu ja ilmastik 205

Rbl. 5.—

A-22314

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00176824 3

Rbl. 5.—

A-22314

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00176824 3

Huvitav astronoomia

J. PERELMAN



Huvitav astronoomia