

TAHAN KÕIKE TEADA

J. SAPARINÄ



# Sputnik maamõõtjana







A-24121 II

J. SAPARINA

# Sputnik maamõõtjana

428 83

BESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1961

Originaali tiitel

Е. Сапарина

НЕБЕСНЫЙ ЗЕМЛЕМЕР

Издательство ЦК ВЛКСМ

«Молодая гвардия» 1959

*Tõlkinud K. Tapper*

*Illustreeritud V. Gribko alnetel*

*Kaane kujundus E. Tall*

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

53 324

Missuguse kujuga on planeet, millel me elame?

Lihtne küsimus? Muistse filosoofi Aristotelese aegadest kuni meie päevini on tuhanded teadlased püüdnud sellele vastata.

Selleks mõõdeti Maad joonlauaga, sõideti ta risti-rästi läbi, ülitäpsed kellad käes, teda «kaaluti», loodi tema matemaatilisi mudeleid.

Meie planeedi kuju osutus seotuks külgetõmbe, magnetismi, maapõue struktuuri ja Kuu liikumisega. Kuid mida ta endast õigupoolest kujutab, seda ei suuda teadlased tänapäevani täpselt öelda.

Vastusest sellele küsimusele ei ole huvitatud aga üksnes «maamõõtjad» ise. Maa täpset kuju on vaja teada ehitajatel ja geoloogidel, meresõitjatel ja kartograafidel, astronoomidel ja kosmoselaevade juhtidel.

Nüüd on sellesse uurimistõesse lülitunud uus, esimeste Maa tehiskaaslaste ja kosmoserakettide väljasaatmisega sündinud teadus — «spütniikia». Ta annab võtme ühe tähtsaima ja raskeima ülesande lahendamiseks, mis huvitab inimest tema eksisteerimise esimestest päevadest alates. Sellest kõigest jutustabki J. Saporina raamat «Sputnik maamõõtjana».



Kui lihtsalt ilma pikemata öelda, et meie Maa polegi kera ja et tema sellekohane nimetus ei vasta tõele, puistataks meid üle nõutute küsimustega.

Ja tõepoolest.

Esimeses geograafiatunnis vaatab igaüks meist avastaja erutusega gloobuse kera — Maa tibatillukest mudelit. Ja esimene, mida me teada saame planeedist, millel me elame, on see, et ta on ümmargune.

Inimesed kulutasid aastatuhandeid selleks, et seda tõestada.

Sajandeid püsis kõikumatu ettekujutus pannkoogina lamedast Maast. Aristoteles, kes esimesena juhtis tähelepanu sellele, et varjutuse ajal Kuu heledale kettale roomav Maa vari on ümmargune, teostas oma geniaalse ideega tõelise pöörde inimeste teadvuses. Ent mõne sajandi pärast põletasid inkviisitorid itaallase Ascolli, kes sõandas korrata, et Maa on kera, ketserina tuleriidal.

Kümnel järgmisel sajandil keelas kirik ümmargusest Maast kõnelemise. Ja alles XVI sajandil, esimeste ümber maakera sõitnud rändurite poolt hangitud ümberlökkamatute faktide tõttu, varisesid kokku vaimulike skolastilised ettekujutused täisnurksest Maast.

Maa tunnistati keraks. Ja kõikide maade kooliõpilased hakkasid oma planeeti ümmarguse gloobuse järgi tundma õppima.

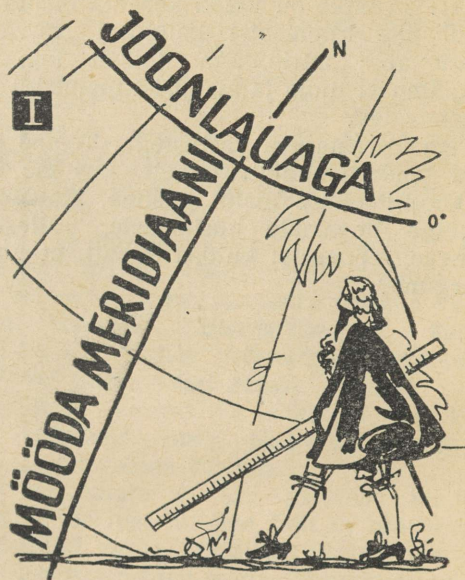
Sellele vaatamata ei saa gloobust maakera õigeks mudeliks lugeda. See fakt ei ole ootamatuseks muidugi mitte kõikidele. Asjaolu, et Maa pole kera, on õpetlastele teada. Missugune on aga tema täpne kuju, seda ei suuda nad öelda, kuigi teadus juba palju sajandeid selle ülesande lahendamise kallal vaeva näeb. Nüüd on appi võetud isegi tehiskaaslane.

Inimese poolt loodud väike kuu ja meie planeedi kuju, kosmose uurimine ja maamõõtja lihtne, näiliselt täiesti maine elukutse — mis on siis nende vahel ühist?

Kas maakera mõõtmise probleem on siis tõesti nii keeruline, et seda pole seniajani suutnud lahendada iga päev oma tööpoolest hämmastavaid võimalusi demonstreeriv teadus? Kas siis Maa läbimõõtu on raskem kindlaks määrata kui näiteks maailmaruumi sügavuses asuvate galaktikate

kaugust? Ja miks on Maad kergem mõõta temast üle tuhande kilomeetri kaugusel asuva tehiskaaslase abil, mitte aga lihtsalt tema pinda mõõda, linnast linna ja mandrist mandrini mõõdulinti tõmmates?

Ärgem kiirustagem vastustega. Teeme esimese sammu teaduse sellelt astmelt, kus me ümmarguse kooligloobuse maha jätsime. Katsume vastata kõige lihtsamale küsimusele, millest algas kaasaegne geodeesia: kuidas taibati, et Maa pole ümmargune?



## KELL, MIS LITSUS MAA LAPIKUKS

Astronoom Richer'le esitatud süüdistus ei olnud mitte päris õiglane. Lõppude lõpuks jutustas ta ju ainult sellest, mille tunnistajaks ta oli oma reisil Lõuna-Ameerikasse. Kuid need, kes teda süüdistasid, moodustasid enamuse. Ja nad olid Pariisi Teaduste Akadeemia vanimad liikmed. Seda oli aga võimatu mitte arvestada.

Muide, nende pahameel oli ka osaliselt mõistetav. Kes oleks võinud arvata, et kohusetruu ja nende autoriteetsetele arvamustele alati kuulekas

noor teadlane, kes saadeti ekvaatorile meie taevast naabrit — Marssi — vaatlema, pöördub tagasi Maad ennast puudutavate mässuliste ideedega. Nendesamade ideedega, mis seejärel võimaldavad tuntud «aluste kõigutajal» Newtonil kinnitada, et maakera pole sugugi mitte kera, vaid pigem gigantne «mandariin».

Ja ehkki Richer ise sugugi mitte seda ei kinnitanud, tegi just nimelt tema 1673. aastal Cayenne'i saarelt tagasi pöördudes esimesena sensatsioonilise avalduse kellast. Ta teatas, et enne tema Pariisist ärasõitu hoolikalt reguleeritud täpseim pendelkell hakkas ekvaatoril äkki katastroofiliselt taha jääma. Tal tuli isegi pendlit 1,25 pariisi liini (2,8 mm) võrra lühendada, et see õigesti sekundeid lööks. Nii kestis see kogu need kaks aastat, mis Richer saarel veetis. Aga Pariisi tagasi pöördudes avastas ta, et parandatud kell hakkas ette käima, ja ta oli sunnitud pendli varrast uuesti endiste mõõtmeteni pikendada.

Pendliga oli ilmselt midagi korrast ära, Richer' aruannet kuulanud akadeemikud tulid algul ühisele järeldusele, et kellad jäid Cayenne'il taha... palavusest. Ega seda troopilist saart ometi asjatult sunnitöölise väljasaatmiskohaks tehtud: viibida niisuguses kuumuses oli tõesti karmiks karistuseks. Kuumusest, arvasid teadlased, venis metallist varras välja ja seetõttu pendel hakkaski aeglasemalt käima. Ja kell jäigi taha.

Kella, olgugi et kõige täpsema kella ebaühtlase käigu põhjuste edasisele selgitamisele ei pidanud soliidsed teadlased vajalikuks aega raisata. Kui see suutis kedagi tõeliselt huvitada, siis vahest sekundpendliga kella leiutajat ennast — hollandi füüsikut Huygensit.

Christian Huygens avaldas just Richer' tagasi-  
pöördumise aastal teadusliku töö, milles ta tões-  
tas, et sekundpendli pikkus on muutumatu suu-  
rus ja see on püsiv kõikjal Maal. Ta arvutas  
välja, et sekundis ühe võnke sooritava pendli  
pikkus on 440,5 pariisi liini. Huygens oli veen-  
dunud, et niisugune pendel hakkab sekundeid  
lööma igal pool, ükskõik kus me ka ei prooviks  
teda võnkuma panna, ja tegi seepärast ettepaneku  
võtta tema pikkus pikkusmõõduühikuks.

Ja äkki ilmneb, et seesama pendel, mis Pariisis  
sooritas oma võnke täpselt ühe sekundiga, hakkas  
ekvaatoril, ei asja ees ega teist taga, aeglasemalt  
võnkuma. Kas ta seal lõepoolest pikemaks muu-  
tus? Ei, see on ebatõenäoline. Pigem peitus selle  
taga hoopis midagi muud. Kuid mis siis?

Pendel võngub omaenda raskuse mõjul. Vahest  
ehk muutus ta ekvaatoril ootamatult kergemaks?  
Kuivõrd ebatõenäolisena see algul ka ei paistnud,  
tuli Huygensil siiski möönda, et pendli kaal on  
lõunapoolsetele laiustele üleviimisel muutunud.  
Aga mis põhjusel võis see juhtuda?

Pärast pikka järelemõtlemist tuli ta otsusele, et  
kõiges on süüdi kesktõukejõud, mis tekib meie  
planeedi pöörlemisel ümber oma telje. See on  
tema, mis raskusjõule vastu töötades muudab  
pendli ekvaatoril kergemaks kui Pariisis, mille  
tulemusena see siin ka aeglasemalt võngub.  
Ekvaatoril on ju see vastujõud tunduvalt suurem  
kui Pariisi laiusel. Pärast sellele järeldusele  
jõudmist loobus Huygens ettepanekust võtta  
pikkuse etalooniks sekundpendli pikkus.

Sellega, et ühe ja sama pendli kaal muutub  
ainult uude kohta üleviimisel, ei suutnud prant-  
suse akadeemikud kuidagi nõustuda. Ja, iseene-  
sestki mõista, teatasid nad sellest küllaltki kate-

gooriliselt. Just siis astus vaidlusse «Woolsthorpe'i farmer», nagu nad Newtonit kõrgilt nimetasid.

Asi algas sellest, et see Londoni ülikooli õppejõud teatas «temale omase taktitusega», et kuumus ei puutu siin asjasse. Ta tegi kohe spetsiaalse katse. Muretsenud niisama pika rauast lati kui sekundpendel, mõõtis ta selle ära talvel ja suvel. Ja ta teatas kõikide kuuldes, et latt suvel tõepoolest pikeneb . . .  $\frac{1}{6}$  liini võrra. Ja et selleks, et ta 1,25 liini võrra pikemaks veniks, peaks temperatuur olema Cayenne'il vähemalt 200° võrra kõrgem kui Pariisis.

Seejärel arvutas ta välja, et kui pendli kaalu ekvaatoril oleks vähendanud ainult kesktõukejõud, siis oleks teda tulnud lühendada 0,4, mitte aga 1,25 liini võrra, nagu seda Richer tegi. Tähendab, on veel olemas mingi põhjus, mis pendli siin kergemaks muudab.

Niipea kui Newton seda mainis, tõusis teadusmaailmas hirmus kära. Newtonile ja Richer'le, kes selle kellapudru olid keetnud, sadas pähe kõige pöörasemaid süüdistusi. Richer, kes teaduses oli tuntud ainult seoses kella õnnetu tahajäämisega, kõrvaldati teaduslikult töölt ja heideti akadeemiast välja. Kuid Newtoniga, kelle tööd talle juba tol ajal suure teadlase kuulsuse olid toonud, ei olnud nii lihtne toime tulla. Ja võitlus puhkes mitte elu, vaid surma peale.

Miks siis auväärased akadeemikud nii ärritusid?

Viimasel ajal ei olnud neil kerge. Kui ei juhtunud just muud, siis iga aasta mõtles mõni ninatark noorte hulgast välja uusi kavalaid seletusi vanadele ja kaljukindlatena näivatele loodusnähtustele. Mispärast, näiteks, planeedid ja Kuu liiguvad ning kuidas nende teekond välja näeb? Akadeemikud ei süvenenud nendesse probleemide

desse mitte kunagi eriti tõsiselt. Kõik oli, nagu näis, juba nende noorusaastail kõikumatult kindlaks tehtud. Planeedid rändavad taevaalaotust mööda, tehes ringi ringi järel, ja mida siis veel?

Aga üks niisuguseid noori (tema nimi ei olnud varem kellelegi tuntud) andis välja raamatu, millele andis nimeks «Kosmograafiline saladus». Mitme aasta jooksul mitte kuskilt palka saades ning puudust ja viletsust kannatades «võitles» Kepler, nagu ta ise ütles, visalt Marsiga, arvutades välja «tema sõiduplaani». Ta kontrollis oma arvutusi 70 korda ja kirjutas täis üle 1000 lehekülje, kulutades selleks viis aastat oma elust. Ja kui ta lõpetas, teatas ta, et nii Marss, Kuu kui ka teised planeedid ei rända taevas mitte iseenesest, vaid hoopis mingite tundmatute jõudude mõjul. Ja sugugi mitte ringi, vaid ovaali mööda.

Kuni Johannes Kepler planeetide liikumise seadusi mõistatas, levis kuuldus, et Itaalias tegeleb auväärne inimene, Padua ülikooli astronoomia ja mehaanika professor, juba hoopiski mitte soliidse asjaga. Roninud kõrge linnatorni kõige ülemisse tippu, pildus ta sealt kive alla. Kuigi kõigile oli selge, et raske munakas langeb kergest kivikesest kiiremini, kinnitas professor Galilei, et nad peavad langema ühesuguse kiirusega, sest et nad liiguvad ühe ja sama raskusjõu mõjul. Ja ainult õhk, mis osutab suuremat vastupanu sellele kivile, mille ristlõige on suurem, hoiab seda lennul kauem kinni.

Oma kahtlaste katsete tulemusi ei häbenenud ta paksus raamatus kirjeldada. Selle kangelasteks olid kolm teadlast — Salviati, Sagredo ja Simplicio, kes vaidlesid selle üle, kuidas langeb raske ja kuidas kerge kivi. Ja kui esimest kahte Prantsusmaal hästi tunti (need olid Galilei sõb-

rad), siis mida küll tahtis öelda autor, nimetades oma kolmandat, väljamõeldud kangelast, «kohtlaseks»? Kas sellega ei vihjatud mitte mõnele teenelisele akadeemia liikmele? Langesid ju Simplicio vaated prantsuse akadeemikute seisukohtadega täiesti ühte.

Ei jõutud veel Pariisi Teaduste Akadeemias vapustusest toibuda, kui sellele veel üks järgnes: seekord andis Isaac Newton ise uue raamatu välja. Ja ikka ühest ja samast: kuidas ja mispärast liigub taevas Kuu ning kuidas ja mispärast langeb Maale kivi? Ta tuli mõttele, et põhjus, mis sunnib kivi langema Maale, Kuud aga Maa ümber liikuma, — on üks ja seesama. See on raskus, mis, tema sõnade järgi, justkui voolab valguse sarnaselt Maa keskkohast ümbritsevasse maailmaruumi ja ulatub isegi Kuuni.

Tuli välja, et Kuu, nagu kivigi, kogu aeg allapoole langeb. Maa raskus tõmbab teda Maa poole, inertsitõttu püüab ta aga meie planeedist mööda lennata. Seetõttu liigubki Kuu keskteed mööda, s. o. ümber maakera.

«Tõepoolest,» rääkis Newton, «kui me Galilei kivi viskame nii kaugele ja nii suure jõuga, et ta Maale ei lange, vaid tema ümber tiirlema jääb, siis muutub ta Kepleri Kuuks. Kui aga Kuu on juba kord «kivi», jätkas ta mõtisklusi, «sils peab tema liikumise kiirus, nii nagu igal teiselgi kaalu omaval esemel, sõltuma teda Maa keskkohast lahutavast kaugusest.»

Oletame, et Kuu poolt ümber Maa sooritatava tiiru teoreetiliselt väljaarvestatud aeg, mille juures on lähtunud eeldusest, et ta on «kivi», ja tegelikult vaadeldud aeg ühte langevad. See tähendab seda, et Galilei raskusjõu poolt maapinnal kinnihoidava kivi liikumine ja Kuu koha muu-

tumine Kepleri salapärase jõu mõjul toimuvad tegelikult ühe ja sama põhjuse — kogumaailmse masside tõmbumise — üldise gravitatsiooni mõjul.

Niisiis öeldi välja see sõna, mis hiljem esile kutsus nii palju vihaseid kallaletunge. Üldine gravitatsioon...

Tõmbumine on olemas mis tahes kahe osakese vahel, kinnitas Newton. Maa tõmbab külge kivi, kivi aga Maad. Ka Kuu tõmbab külge meie planeeti, olles ise samal ajal allutatud maakera külgetõmbejõule. Gravitatsioon on tõepoolest üldine. Ja Newton ruttab paljusid varem arusaadamatuid nähtusi seletama oma üldise gravitatsiooniga, sealhulgas ka kuulsakssaanud kella tahajäämist ekvaatoril.

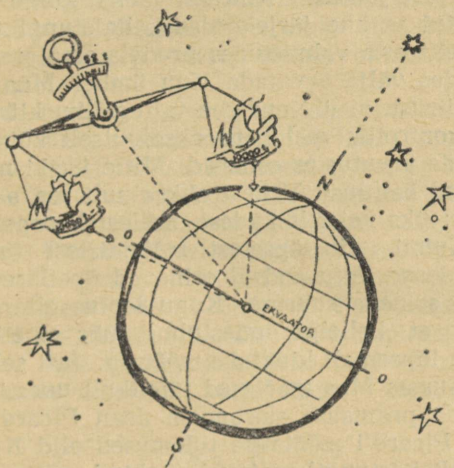
Kell jääb taha sellepärast, et meie Maa pole kera. Ta on pooluste juures lapikuks litsutud ja piki ekvaatorit välja venitatud, teatas Newton.

Kui Maa oleks vedel ega pöörleks, kujutaks ta endast tõepoolest kera: selle kuju oleks ta võtnud iga tema osakese külgetõmbejõu mõjul tsentri suunas. Pöörlemisest tekib aga võimas kesktõukejõud. Nagu Huygens õigesti taipas, suureneb see pidevalt poolustelt ekvaatori suunas, nõrgendades just sellega raskusjõudu.

Seesama kesktõukejõud venitas Maa ristsuunas välja. Ja nüüd on Maa ekvaatorilt «paksem», pooluste juurest aga «õhem». Mis tahes ese, mille me ekvaatoril Maa pinnale asetame, on viimase tsentrist poolusel asuva esemega võrreldes kaugemal. Raskusjõud mõjub siia justkui eemalt ja on seepärast veelgi pisut nõrgenenud. Seetõttu ei olegi ühtede ja samade kehade kaal maakera eri kohtades ühesugune.

Kõige vähem kaaluvad nad ekvaatoril. Siin muutuvad nad kergemaks  $\frac{1}{190}$  poolusel olevast

kaalust. Ekvaatoril asuvate kehade kaal kahaneb kesktõukejõu mõjul kõigest  $\frac{1}{289}$  võrra. Ülejäänud osa kaalust kaotavad nad aga Maa lapikuse tõttu. Just seda Huygens ei arvestanudki oma üldiselt õigetes arutlustes Richer' kellast.



Newton katsus isegi välja arvutada, kuipalju meie planeet on kokku surutud. Selgus, et polaarne pooltelg on ekvaatorilisest poolteljest lühem  $\frac{1}{230}$  ekvaatorilise pooltelje võrra. Järelikult selgus Newtoni arvutustest, et kui 10 000 tonni raskune laev väljub meresõidule põhjapoolsest sadamast, siis kaotab ta kesktõukejõu tõttu ekvaatoril oma kaalust umbes 34 tonni, Maa lapikuse tõttu muutub ta aga veel 18 tonni võrra kergemaks.

Newtoni avaldus kutsus välja tormilisi proteste. Suurem osa õpetlasi ei tahtnud lapikut Maad tunnistada ja astusid Newtoni avastuste vastu

välja, mis ta, nagu nad väljendasid, oli teinud ilma «kabinetist väljumata». Nad võtsid Newtoni raamatus kahtluse alla iga arvu ja iga sõna, eriti aga selle koha, kus tõestatakse Galilei kivi ja Kepleri Kuu ühtsust.

Siis just juhtuski Newtoni jaoks kõige hirmsam. Kui ta ühe järjekordse kallaletungi tagasilöömiseks ette valmistudes proovis oma seadusele tuginedes välja arvutada Kuu ümber Maa tiirlemise kiirust, ei ühtinud see ta tegeliku kiirusega.

Ta kontrollis veel kord absoluutselt kõiki suursi, mis arvutustes esinesid. Mitte ükski neist ei äratanud kahtlusi. Vahest ehk ainult see — Maa raadius: üks neist lõikudest, millest koosnes kaugus Kuuni. Ebatäpsetest mõõtmistest tingitud ligikaudsuse tõttu andsid erinevad õpetlased raadiusele erineva suuruse. Kogu lootus oli rajatud sellele, et kellelgi õnnestub lõpuks ometi Maa raadius täpsemalt kindlaks määrata. Just selsamal ajal otsustas Maa mõõtmed täielikult uuesti välja arvutada prantsuse astronoom Jean Picard.

Kui Picard'i mõõtmise tulemused olid Kuningliku Seltsi istungil teatavaks tehtud, ruttas Newton istungi lõppu ära ootamata koju ning asus uuesti arvutuste kallale. Tavaliselt tunni teda rahuliku, isegi külmaverelise inimesena, kuid nüüd oli ta nii erutatud, et ei suutnud kuidagi arvutusi lõpule viia.

Lõpuks olid arvutused siiski sooritatud. Mõlemad arvud langesid ühte. Niisiis, gravitatsioon oli tõepoolest üldine. Ja Maa ei olnud tõepoolest kera!

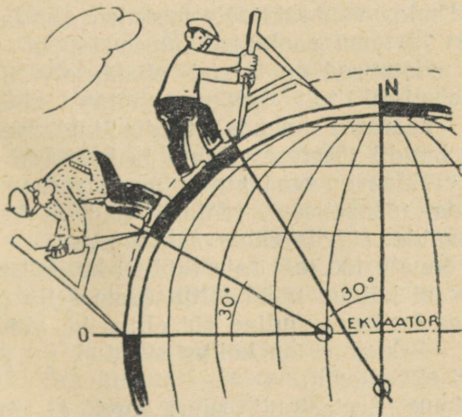
Kuld missugune ta siis on?

## «OBLATUM SIVE OBLONGUM?»

See salakaval küsimus piinas juba mitu aasta-kümnet paljude maade õpetlasi. Kokkusurutud või väljavenitatud, ehk, nagu siis räägiti, «oblatum sive oblongum?». Missugune on meie planeet tegelikkuses? Sellele, kes oleks suutnud antud küsimusele õigesti vastata, töötati rohkem kui ühte preemiat.

Teadusmaailm jagunes kaheks leeriks ja iga vaidleja oleks pigem nõustunud ilma jääma oma akadeemilisest tiitlist, kui tunnistama, et Maal on säärane kuju, nagu seda tema vastane tõendab.

Praegu ei riskiks enam keegi kinnitada, et Maa on kera. Pärast Richer'd olid ka teised õpetlased, kellel tuli ekvaatoril viibida, sunnitud seal oma kella osuteid edasi lükkama. Ikka sagedamini teatasid ka reisijad kellade tahajäämisest lõunalustel. Aga igaüks, kes oleks vaid võtnud vae-vaks observatooriumi torni tõusta, võinuks seal



oma silmaga veenduda, et Jupiter on pooluste kohalt märgatavalt kokku surutud. Kuid sellepärast ei või ometi tunnistada njuutonlikku Maad! Ja akadeemikud, kes nii kaua ja visalt püüdsid tõestada Maa kerakujulisust, hakkasid kinnitama, et ta pole mitte lapikuks litsutud, vaid välja venitatud.

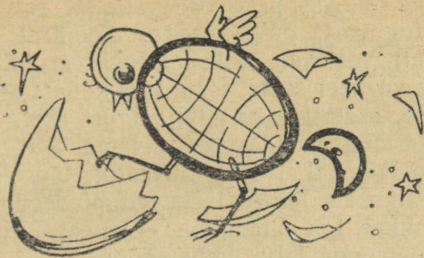
Selleks aitas tunduval määral kaasa saksa õpetlane Johann Eisenschmidt. Vaidluste õhinas selle üle, kas Maa on ümmargune või lapik, avaldas ta trükis artikli, milles tõestas, et meridiaanikraadi pikkus põhja pool lüheneb. See on võimalik ainult sel juhul, kui pooluste juures maapind kaardub järsemalt kui ekvaatoril, s. o. kui Maa on pöörlemistelje suunas välja venitatud.

Eisenschmidt võttis arvud, mis väljendasid eri kohtades mõõdetud meridiaani kraadide pikkust, ja paigutas need järjekorda — lõunast põhja; just siis nägid kõik oma silmaga, et põhjapoolsed kraadid on lühemad. Newtoni järgi tuli aga välja just vastupidi.

Kuid mida võis faktidele vastu seada? Ja kuigi Newton ja tema pooldajad tõestasid, et paljud vanad mõõtmised on tehtud ebatäpselt ning et Eisenschmidtil tuli kokkusattumine juhuslikult välja, haarasid nende teaduslikud vastased Eisenschmidti tõestusest kinni ja hakkasid kinnitama, et Maa on oma kujult muna sarnane. See on seda tõenäolisem, rääkisid nad, et ka kõik elav, muide, sündis nähtavasti munast.

See õnnetu töö tegi asja tublisti keerulisemaks. Vaidlus ei käinud nüüd mitte enam selle ümber, kas Maa on kerakujuline või ellipsoid, vaid selle ümber — kust ta on kokku surutud — poolustelt või ekvaatorilt.

Küsimus äratas nii suurt huvi, et ainuüksi



1733. aastal ilmus kuus soliidset teaduslikku tööd Maa kuju kohta. Nende autoriteks olid silmapaistvaimad akadeemikud: Clairaut, Godin, La Condamine, Maupertuis, Bouguer.

Vaidlus venis pikki aastaid. Ja pole midagi tmestada: selle lahendusest sõltus, kas üldine gravitatsiooniseadus — üks XVIII sajandi teaduse põhiprobleeme — leiab kinnitust või lükatakse ta ümber. Praegu vastuvaidlematuna näiv ja kõigile kooliaastaist hästituntud Newtoni õpetus ei olnud seda hoopiski tema kaasaegsete silmis. Eriti suurt opositsiooni kohtasid Newtoni tööd kontinendil. Siin usuti kindlasti sellesse «maailmasüsteemisse», mida propageeris prantslane René Descartes. See, mis ta rääkis, oli näitlik ja veenev.

Keskõukejõud kiskus ürgsest kaosest välja tükikese kosmost ja moodustas hiiglasuure kee-  
rise — meie päikesesüsteemi, mille keskkohas asub Päike. Planeedid — need on aga väiksemad keerised. Keereldes haarab suur keeris planeedid kaasa, nii nagu veekeeris keerutab temasse sattunud paati.

Seda oli väga kerge katseliselt näidata. Karteslanistid (nii nimetati Descartes'i teooria pooldajaid) võtsid pange ja täitsid selle veega, mis pidi

kujutama endast planeetidevahelist ruumi. Vett segati tugevasti pulgakesega. Seejärel pulgake eemaldati, vesi aga jätkas iseenesest keerlemist. Sellesse veekeerisesse, tema keskkohast erinevasse kaugusse, asetati kaks mingisugust eset. Ka need hakkasid ringi mööda vees tiirlema. See, mis asus tsentrile lähemal, tiirles kiiremini, täpselt samuti nagu Päikesele lähemal asuvad planeedid. Peale selle hakkas iga niisugune «planeet», nagu tõelinegi, omaenda telje ümber pöörlema.



Need «kunstlikud taevad», nagu neid nimetati, võisid oma näitlikkusega veenda ükskõik keda. Kõik päikese süsteemis oli lihtne ja kooskõlaline nagu kellamehhanismis: rattakesed-keerised haakuvad pööreldes üksteise taha, müksavad naabreid, ja planeedimasin tiirleb peatumatult, lüües sajandite sekundeid.

Newton aga kinnitas, et planeedid on nagu vurrkannid seotud Päikese ja üksteisega nähtamatute niitide — külgetõmbe abil, mis mõistematul viisil võib mõjuda läbi täiesti tühja ruumi.

Kas maksis Descartes'i poolt nii hästi äraseletatud maailmaruumi ehitust vahetada mõistematu külgetõmbejõu vastu, mille olemust koguni

selle teooria autor isegi ei osanud hästi ära sele-  
tada? Kust võisidki Newtoni kaasaegsed teada,  
et külgetõmbejõu olemus jääb kauaks ajaks  
üheks kõige keerulisemaks ja praegugi veel  
lahendamatuks teaduslikuks probleemiks?

Kasutades ära näitlikkuse eelised, kandsid  
kartesianistid oma teooria tõestuse kitsast õpet-  
laste ringist üle suurilma seltskonda. Nad korral-  
dasid avalikke ettekandeid ühes efektsete katse-  
tega. Nende loengutel liibusid naelad «elutu»  
rauatüki külge, kaaluti «kaalutut» õhku, süüdati  
värviliste tuledega kunstlik vikerkaar. Nende tule-  
värkide praginas ei olnud raske kergeusklikku  
publikut veenda selles, et Maa on keeris, ning  
tagada endale õukonna juures mõjukate isikute  
toetust. Avalikel ettekannetel oli tohutu menu.  
Piletid osteti ära aegsasti, nagu teatrietendusele.

Newton ei osanud aga nii kergelt ja peenelt  
esineda. Ta oli harjunud loenguid pidama üliõpi-  
lastele. Ja laia publiku ees jätkas ta lugemist nii-  
sama kuival, kasutades spetsiaalseid termineid  
ning tegemata kuulajate ettevalmistamatusele  
mingit hinnaalandust. Ta ei süüdanud tulevärke,  
ei näidanud mikroskoobis varblase suurusena  
näivat kärbest. Ilmunud kateedrisse, hakkas ta  
jutustama oma teooriast nii, nagu see on sõnas-  
tatud tema raamatus, saates jutustust nende-  
samade keerukate geomeetriliste tõestustega, mis  
ta ise oli välja mõelnud ja mida on raske mõista  
isegi tänapäeval. Seepärast ei ole imekspandav,  
kui ta tihti leidis eest täiesti tühja auditooriumi,  
mis teda, muide, küll vähe kurvastas. Vaikivana ja  
mõttesse süvenenult lahkus ta tühjast saalist ja  
asus taas katkestatud töö juurde, millele ta pühen-  
das kogu oma aja, tundmata puhkust ja meele-  
lahutusi.

Kartesianistlik füüsika läks vahepeal moodi. Hästikasvatatud inimene pidi oskama rääkida Jupiteri kaaslaste olemusest, Torricelli katsetest ja, mõistagi, väljendada ka oma arvamust küsimuses, kas Maa on lapik või piklik. Ja isegi prantsuse seltskonna naissoost osal oli selles küsimuses välja kujunenud oma seisukoht. «Suurilma daamid,» nagu kirjutas üks ülalpool nimetatud akadeemikuid, «olid seisukohal, et rahvuse auhuvides pole võimalik, et Maale võiks jääda välismaine kuju, mille mõtlesid välja üks inglane ja üks hollandlane.»

Isegi suur Voltaire ei jäänud kõrvale. Hoides Newtoni poolele, ülistas ta luules lapikut Maad ja naeris kartesianistide argumendid tigidalt välja.

Kuivõrd lepitamatud olid vastuolud vaenulike leeride vahel, võib järeldada juba sellest, et Voltaire'i raamatuke, milles ta prantsuse keeles populaarselt Newtoni teooria esitas, kuulutati Prantsusmaal ketserlikuks ning põletati ära. Ja kaua aastaid peeti üksikuid säilinud eksemplare peaaegu pörandaaluseks kirjanduseks. Igal juhul karistati selle raamatu hoidmise eest nagu kiriku aluseid õõnestavate teoste lugemise eest.

Kartesianismi tsitadell — Pariisi Teaduste Akadeemia — ei andnud alla peaaegu poole sajandi kestel. Tema koosseisu ei olnud enam jäänud ühtegi neist auväärseist, oma arvamust kalliks pidavaist raukadest, keda Newton kunagi oma julge avaldusega nii ärevusse ajas. Akadeemia vanaaegses hiiglahoones kõlasid nüüd mitte küll veel kuulsate, kuid kõike mõista ja iseseisvalt kontrollida julgevate uue sugupõlve teadlaste noored hääled. Prantsusmaad valitses juba teine kuningas. Inglismaal algas ja lõppes äge võitlus

kuninga ja parlamendi vahel. Kõikide poolt unustatud pagulane Richer oli ammu surnud ja ka Newton ise oli juba päris vana ega võtnud enam vaidlusest osa. Aga vastust küsimusele: kas lapik või piklik? — ei olnud veel leitud.

Ei oleks muuseas õige mõelda, et kõigi nende aastate jooksul oleks tehtud mingit katset mõlemate teooriate kontrollimiseks praktikas kraadi pikkuse mõõtmise teel põhjas ja lõunas. Newtoni poolehoidjad saavutasid pärast pikka ja rasket võitlust oma: otsustati läbi viia uus kraadimõõtmine Dunkerque'ist Põhjamere ääres kuni Barcelonani Püreneeде taga. Ekspeditsiooni juhtis Pariisi Observatooriumi direktor, Louis XIV lemmik, astronoom Jacques Cassini — üks nendest, kes kinnitasid, et kellad jäävad ekvaatoril kuumuse tõttu taha.

Cassini alustas mõõtmisi. Kuid kaua suurilma seltskonnast eemal viibida, ja pealegi veel selleks, et võib-olla omaenda järeldusi ümber lükata, ei olnud sellele õukondlasest teadlasele meelepärane. Niipea kui vaid algas talv, katkestas Cassini otsekohe töö ning pöördus õukonna juurde tagasi. Mitu korda katkestasid kauaks ajaks ekspeditsiooni töö sõjad. Nii kestis see tervelt 35 aastat. Kuulsat mõõtmist alustas teadlane oma võimete tipul olles, uurimiste tulemustest teatas akadeemiale aga juba pärast tema surma Cassini poeg, kes juba noorukina sellest tööst hakkas osa võtma.

Pariisist põhja pool osutus kraad võrdseks 56 *toise*'iga (üks *toise* moodustab umbes 2 meetrit), Pariisist lõuna pool aga 57 *toise*'iga. Näis, nagu oleks kõik selge: Maa on munakujuline ja vaielda pole enam millegi üle. Njuutonlased aga ei mõelnudki alla anda. Nad teatasid, et Cassini

on ekslnud, ning võtsid oma vastutusele ja riisikole mõõta ära meridiaankraadid kogu Prantsusmaa ulatuses.

Kuid mida rohkem kogunes mõõtmisi, seda vastukäivamad olid tulemused. Kord osutus lühemaks põhjapoolne, kord lõunapoolne kraad. Lõputud mõõtmised ajasid asja nii sassi, et muutus täiesti võimatuks öelda, kellel lõppeks oli õigus. Ja siis otsustas Pariisi Teaduste Akadeemia äärmise abinõu järele haarata.

## MAA LAPIKUSE JAHIL

Oli 1735. aasta hilissügis, kui Prantsusmaa rannikult asus teele purjekas. Ta siirdus üle Atlandi ookeani Lõuna-Ameerika rannikule. Aga aasta hiljem väljus samast sadamast teine samaugune laev, võttes kursi põhja — Skandinaaviasse. Silmapaistvad prantsuse akadeemikud, jätnud kabinettide vaikusesse lõpetamata teaduslikud tööd ning vahetades parukad ja kootud vestid reisiriiete vastu, läksid mõõtma meridiaane ekvaatori lähedale ja polaarjoone juurde. Oli tarvis lõppude lõpuks lahendada vaidlus, mille sarnast võib-olla ei tundnud teaduse ajalugu. Mõõtmisi otsustati läbi viia seal, kus kraadi pikkuse vahe pidi ootuste kohaselt olema kõige suurem.

Esimene ekspeditsioon eesotsas akadeemikute Godini, Bouguer' ja La Condamine'iga maabusid Hispaania koloonia Peruu rannikul. Nendel teadlastel tuli ära mõõta meridiaani lõik, mis kulgeb piki Kordiljeeride mäeahelike vahelist laia orgu. Mõõtmisi otsustati alustada Quito linnast ning liikuda edasi ekvaatorini. Kuid ekvaator, see nähtamatu joon, mis Maad vööna ümbritseb, tuli

veel alles üles otsida. Ja niikaua kui peamised ekspeditsioonist osavõtjad vaevaliselt rannikult üle Kordiljeeride orus asuvasse Quitosse liikusid, otsis Ameerika kontinendi läänerannikule jäänud La Condamine ekvaatorit.

Ta liikus edasi mööda kitsast rannariba, mille ookean oli võitnud paljude kilomeetrite kaugusele maa sügavusse ulatuvatelt džunglitelt. Üle džunglite kõrgusid lumised mäetipud. Ta ei kohanud oma teel mitte ühtki asulat ega isegi mitte ainsat hurtsikut. Päeval liikus La Condamine edasi piki Vaikse ookeani randa, öösiti, puhkepeatustel, määras tähtede järgi laiust, millel ta asus.

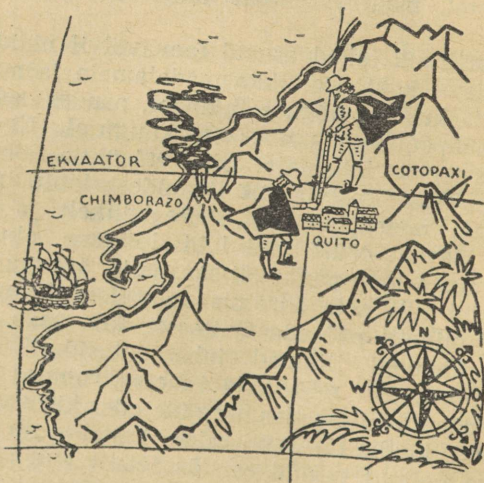
Harilikud tähed asusid taevavõlvil nüüd hoopis teistes kohtades. Ikka madalamale ja madalamale laskus iga ööga Põhjanaan, asudes sel ajal maailmapoolusest umbes 2° kaugusel. Ekvaator jõudis järjest lähemale. Ühel ööl ühtis Põhjanaan horisondiga: kuskilt siit lianidest läbipõimunud tihedast metsapadrikust, mäeahelikelt ja nende taha jäävast orust pidi läbi lõikuma ekvaator. Mõõtmiste lõpp-punkt oli seega siis ära märgitud.

Nüüd tuli neis ääretuis metsades eksleval La Condamine'il pääseda Quitosse, kus teda teised ekspeditsiooni liikmed juba ootasid. Tungides metsloomaradu mööda läbi metsa, ronides järskudest mäenõlvadest üles ning ületades kiire vooluga jõgesid, jõudis La Condamine, kellel mitte kunagi varem polnud tulnud reisida teisiti kui sõidukis, lõpuks Quitosse. Kes teab, kas olekski kogu see epopöa õnnelikult lõppenud, kui poleks olnud tema pulbitsevat energiat ja uurimistöö kirge.

Mida rohkem lõuna poole ekspeditsioon edasi liikus, seda kuumemaks ja kuumemaks muutus. Iga päev sõna tõsisel mõttes, justkui plaani

järgi, sadas vihma. Niisket, peaaegu tulist õhku oli raske hingata. Teadlasi piinas palavik.

Aga tarvitses vaid mägedesse tõusta, kui vihm juba asendus lume või rahega. Ja inimesed ei kannatanud külma tõttu sugugi vähem kui kuumuse läbi. Kord märatses lumetorm tervelt kolm nädalat. Ja ekspeditsiooni liikmed istusid kolm nädalat mäeharjal õhukeses, lume raskuse all kooldu vajunud telgis. Nad ei saanud isegi lõket süüdata — sest ränikivist sädeme väljalöömise kunsti (tuletikke tollal veel ei tuntud) ei õnnestunud neil samuti ühekorraga omandada.



Lisaks kõigele võtsid kohalikud elanikud välismaalasi väga vaenulikult vastu. Prantslasi saatsid kaks kuninga korraldusel spetsiaalselt nende juurde määratud Hispaania ohvitseri, sest

kuningas lubas ainult neil tingimustel «Hispaania meridiaani» mõõta. Kuid ka see ei vabastanud neid ebameeldivustest.

Asi seisis selles, et pärimuse järgi peitsid indiaanlased oma rikkused hispaania vallutajate eest kuskile mägedesse. Korduvalt tehti meeletlikke katseid neid aardeid üles leida. Kuid asjata, need jäid leidmatuks. Ja niipea kui saabusid teadmata miks mööda mägesid ronivad prantslased, järeldasid indiaanlased, et nood ületasid ookeani nende aarete anastamise eesmärgil.

Kord, kui mitte midagi aimavad teadlased mõõtmiste juurde asusid, söötsid indiaanlased neile kallale ja loopisid neid kividega. Tuli end joostes päästa. Üks ekspeditsiooni liige, kes ei jõudnud õigel ajal varjule, tapeti.

Kuid sellega ei olnud ekspeditsiooni pahandused veel lõppenud. Algas Inglise-Hispaania sõda. Ekspeditsiooni saatnud ohvitserid siirdusid frondile ja teadlased olid sunnitud ootama, kuni sõjategevus lõpeb. Ilma «konvoerijateta» ei lubanud Hispaania kuningas prantslastel mitte samugi astuda. Kõik see muutis olukorra väga keerukaks.

Kõigele lisaks polnud täielikku üksmeelt ka teadlastesalga enda liikmete vahel.

Bouguer'd huvitas kõige rohkem mitte meridiaani mõõtmine ise, vaid see, keda loetakse selle «autoriks». Ta nõudis visalt, et iga akadeemik töötaks iseseisvalt omaette ega avaldaks kuni Prantsusmaale tagasipöördumiseni oma tulemusi teistele. Godinile oli ükskõik, kuidas mõõta: ta nõustus kõiges teistega. Väsimatu La Condamine, kes jõudis mitte ainult põhitooga tegelda, vaid ka herbaariumi koguda, haruldasi putukaid püüda ja mineraale otsides mööda mägesid ronida, lei-

dis, et kolmekordselt kontrollitud tulemused saavad täpsemad. Kuid Bouguer' poolt kindlaks määratud töökord hoidis ekspeditsiooni Peruu mägedes kaua kinni. Oli möödunud üheksas aasta selle ekspeditsiooni lahkumisest Prantsuse rannikult, kui meridiaani mõõtmine lõpuks lõpetati.

Godin, Bouguer ja La Condamine tegid tulemused üksteisele šifreeritud kujul teatavaks ja asusid üksteisest lahus tagasiteele. Möödus veel mitu aastat, enne kui nad Pariisis akadeemia koosolekul kohtusid ja teada said, kes neist kõige täpsemalt meridiaani mõõtis.

Esimesena jõudis Lõuna-Ameerikast vana teed kaudu sõitva laevaga Prantsusmaale tagasi Bouguer. La Condamine aga ostis parve ja läbis põigiti kogu mandri, sõites mööda tollal täiesti uurimatut Amasoonast. Ta alustas sõitu päris jõe allikatelt, kuhu parv vaevalt ära mahtus, kuni ääretute, ookeanile avanevate veteväljadeni. Amasoonase suudmes asuvast Pará sadamast väljuval reisilaeval saabus ta Prantsusmaale ja ilmus Pariisi mitu aastat pärast Bouguer'd. Godin aga jäi Hispaania kuninga teenistusse ning sattus Prantsusmaale veelgi hiljem.

Kuni esimene ekspeditsioon troopikas ringi rändas, liikusid teise ekspeditsiooni liikmed Maupertuis, Clairaut, Le Monnier ja Celsius piki meridiaani, mis kulgeb mööda Tornio jõe orgu Soome ja Rootsi piiril.

Jõe suudmeni mindi merd mööda. Ees seisis retk mööda jõeorgu ülesvoolu. Kuid ümberringi oli paks mets, mis kasvas lausa soodes. Pealegi oli maakoht peaaegu elaniketa. Laanes ei puudunud mitte üksnes teed, vaid ka jalgrada tuli sõna tõsisel mõttes põlistest padrikutest läbi raiuda. Seepärast otsustati liikuda jõe mööda.

Ka see tee ei olnud kerge. Iga uue käänakuga avanesid rohkem Pariisi sillutisega harjunud linlaste ees uued kärestikud, missugustest nähtavasti kogu jõgi näis koosnevatki. Lained pihustusid vastu kaljusid tolmuks ja nende kohal rippus väikestest piiskadest koosnev lakkamatu udu. Veevoogude mürin täitis üleni kitsa mäekuru, kurdistades ja ähvardades inimesi, kes söandasid kapiiisset jõge mööda sõita. Maupertuis tunnistas pärast ise, et iga kord, kui järjekordne kärestik nähtavale ilmus, tõusid tal juuksed peas püsti

Kuigi oli suvi, näis see prantslastele halvemana lgasugusest sügisest. Kogu aeg tibutas vihma. Külmad udud, mis peaaegu ei kartnud mittesoojendavat põhjamaa päikest, mähkisid oru tihedasse läbipaistmatusse loori, varjates eespool hääbuvaid kaljusid. Maa oli sõna tõsisel mõttes niiskusest läbi imbunud. Kaldale ei olnud võimalik astuda, see muutus üleni lausa mädasooks.

Tõelised hädad algasid aga siis, kui suvi, jõudmata õieti alatagi, lõppes, ja puhus halastamatu põhjatuul. Jõgi hakkas kiiresti kinni külmuma. Vabaks jäi ainult keskkocht. Jõudis kätte polaaröö. Töötada tuli eredas virmaliste valguses, mida prantslased kunagi varem polnud näinud. Kuid Maupertuis ja tema seltsimehed lõpetasid siiski möötmise, kulutades selleks pool aastat. Jõudnud põhjapolaarjoonele, alustas ekspeditsioon tagasiteed.

Suure vaevaga pääseti jõesuudmeni, kust nad olid teekonda alustanud. Kuid meri ja laht olid kattunud jääga ja Suure maaga ei olnud mingit ühendust. Vahvatel ränduritel tuli talvituda väikeses Rootsi linnakeses, mis kandis sedasama nime, mis lahte suubuv jõgigi. Alles poole aasta

pärast, kesksuvel, tuli Torniosse laev, mis teadlased Prantsusmaale viis.

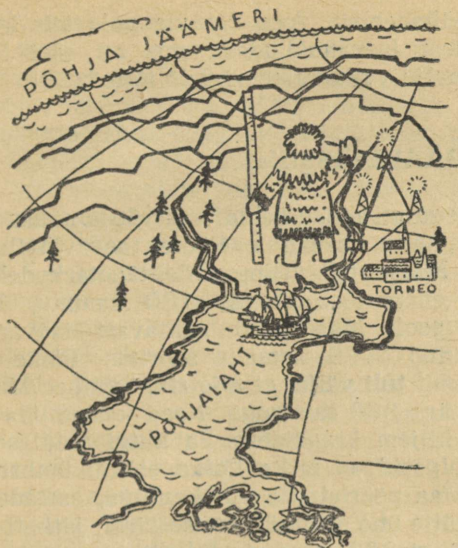
Pariis võttis neid vastu kui rahvuskangelasi. Lapimaa ekspeditsioon tõi prantslaste tabava väljenduse järgi kohale lapiku Maa, «njuutonliku oplatumi». Kraadi pikkus Lapimaal oli täpselt 57 438 *toise*'i (111,95 kilomeetrit), s. o. 737 meetri võrra suurem kui Põhja-Prantsusmaal. Isegi ka ilma Peruus läbiviidud kraadimõõtmiseta oli selge, et Newtonil on õigus. Vaidlus, mida terve sugupõlve kestel nii suure ägedusega peeti, lõppes. Kuid Newtonit ennast polnud ammu enam elavate kirjas ja kogu kuulsus langes osaks nende grandioosete ekspeditsioonide liikmetele.

Maupertuis'd kujutati medalil niisugusena, nagu ta otse laevalt akadeemia väarikale koosolekule oma võidust teatama ilmus — karusnahkadesse mässitult ning karvases lapimaa mütsis. Ühte kätte oli pandud Herkulese nui, teise lapik maakera. Voltaire pühendas talle luuletuse ja sellest saadik ei nimetatud õnneliku käega Maupertuis'd teisiti, kui «see, kes vajutas lapikuks Maa ja kõik Cassinid».

Kui lõpuks jõudsid Pariisi Peruu ekspeditsioonist osavõtjad, siis selgus, et Peruus on kraad terve kilomeetri võrra lühem kui Lapimaal.

Pantsusmaa elas taas üle oma teadlaste võitu. Aruandeid ekspeditsioonidest loeti kui seiklusromaane. Aga Maupertuis' raamatut Lapimaa reisist ja La Condamine'i raamatut sõidust mööda Amasoonast ning Peruus viibimise kohta ei loetud sugugi väiksema menuga kui kaasaegset «Kon-Tikit». Neid anti välja tohutust tiraažis ning tõlgiti paljudesse keeltesse.

Vaidlus lõppes. Maa tunnistati lapikuks. Kuid kas omas see vaidlus mingit tähtsust, peale selle,



et nüüd triumfeerisid õiged vaated meie planeedi kohta? Kas oli selle õigest lahendusest huvitatud kas või ükski meresõitja või reisija — need, kellel mitte harva ei tule läbida planeedipooli? Kas võis nende teekonna valikul end tunda anda asjaolu, et polaarne pooltelg on ekvaatorilisest veidi üle 20 kilomeetri lühem? Harilikul gloobusel oli seda ju isegi võimatu kujutada.

Vaat mis selsamal Maupertuis'1 korda läks välja arvutada. «Kui me kaarti joonistame,» rääkis ta, «ehitades selle üles nende kraadide järgi, mis Cassini tabelis on antud sidrunikuju- lise Maa jaoks, hiljem aga selgub, et Maal on Newtoni poolt ettekirjutatud kuju, siis on kaardi viga Vaikse ookeani laiuses ekvaatori lähedal

300 kilomeetrit. Aga kas me pole siis kuulnud paljudest laevahukkudest, mis on aset leidnud isegi palju väiksemate vigade tõttu?»

### «KRAADIARSSIN»

Praegu on raske öelda, kes võttis nõuks kokku arvata, mitu «sammu» Päike taevavõlvil sooritab. Muistsetel filosoofidel-tähetarkadel tuli välja, et ta teeb päevas 180 sammu, läbides ainult poole Maa kohal nähtavast taevaringist. Ülejäänud 180 sammu sooritas Päike öösel. Järelikult tuli välja, et täie ringi ümber Maa käis Päike ära 360 sammuga. Need «sammud» nimetatigi hiljem kraadideks. Ja kuigi teadlased hiljem talpasid, et mitte Päike ei käi ümber Maa, vaid Maa pöörleb ise vurrkannina, asetades Päikese kätte ühe oma külje teise järel, jätkati ikkagi taevaringi 360 sammuks-kraadiks jagamist.

360 osaks hakati jagama mis tahes ringjoont, sealhulgas ka Maa ringjoont — übermõõtu. Jaotuspunktidest tõmmati aga läbi meridiaanid ja paralleelid. See oli väga mugav: iga punkt maapinnal omas nüüd täpset aadressi — laiust ja pikkust, mida oli võimalik arvestada kraadide ja nende osade — minutite ja sekunditega. Kraade läks tarvis ka Maa mõõtmete kindlaksmääramisel.

Esimesel pilgul paistab hiiglasuure maakera, mille ümber sõitmiseks kulus Magalhãesil XVI sajandil tervelt kolm aastat, täpne äramõõtmine täiesti kujutlematuna. Isegi kaasaegne reaktiivlennuk Tu 114, mis liigub näiteks 800-kilomeetrisel tunni kiirusega, kulutaks sellest ilma vahe maandumiseta überlennuks üle 50 tunni. Kuidas siis Maad ära mõõta? Olukorrast aitab välja

muistsele matemaatikute poolt leiutatud teravmeelne viis.

Selle asemel et mõõdulindiga ringi ümber Maa käia, otsustasid nad ära mõõta ainult osa maa-  
kera ümbermõõdust maapinna mingi kahe punkti  
vahel. Seejärel määrasid nad aga kindlaks, kui  
suure osa moodustab see lõik täisringist. Jäi  
vaid, nagu on kerge taibata, läbi viia lihtne  
korrutamine. Kui me tahame teada saada Maa  
«kasvu» — tema ulatust poolusest pooluseni, on  
vaja kindlaks teha kaugus ühel ja samal meri-  
diaanil asuvate linnade, näiteks Moskva ja  
Harkovi vahel. See võrdub umbes 640 kilomeet-  
riga. Kui meid huvitab, missugune on Maa  
«talje», võtame aluseks paralleeli lõigu pikkuse.

Mõõta pikkusmõõttudes kaugust väljavalitud  
punktide vahel ei kujuta endast erilist raskust.  
Aga kuidas teada saada, missuguse osa kogu  
ümbermõõdust me ära mõõtsime? Vaat siin just  
aitasidki kraadid. Selleks et saada mõõdetava  
lõigu pikkust kraadides, piisab, kui ära lugeda,  
kui palju paralleele üht või teist linna ekvaatorist  
lahutab või kui palju meridiaane iga linna ja  
alg-, s.o. nullmeridiaani vahele ära mahub.

Kuid maapinna mingi punkti kraadimõõdus väl-  
jendatud kaugus ekvaatorist ongi tema geograa-  
filiseks laiuseks. Kaugus kuni nullmeridiaanini  
aga — geograafiliseks pikkuseks. Järelikult  
selleks, et lõigu pikkust meie planeedi pinnal  
kraadides kindlaks määrata, ei ole kõiki Moskva  
ja ekvaatori või siis Harkovi ja ekvaatori vahe-  
lisi paralleele vaja ära lugeda. Selle asemel  
määratakse lihtsalt kindlaks nende linnade  
geograafiliste laiuste vahe. See on  $5\frac{3}{4}^{\circ}$ .

Ja omakorda, selleks et teada saada, mitu  
kraadi on Moskva ja Krasnojarski vahe, ei ole

tarvis ära lugeda meridiaane Moskva ja Greenwichi ning Greenwichi ja Krasnojarski vahel. Jällegi on küllaldane, kui teada Moskva ja Krasnojarski geograafiliste pikkuste vahet.

Niisuguste mõõtmistega tegelesidki Peruu ja Lapimaa ekspeditsiooni liikmed. La Condamine, Godin ja Bouguer mõõtsid igaüks omaette ära, mitu kilomeetrit on ühel ja samal meridiaanil asuvate linnade Quito ja Cuenca vahemaa. Selgus, et nad asuvad teineteisest ligikaudu 345 kilomeetri kaugusel. Seejärel mõõtsid nad ära mõlema linna laiused, ning leidsid nende vahe. Tuli välja, et kaugus Quitost Cuencani on  $3^{\circ}08'$ .

Maupertuis ja tema seltsimehed mõõtsid aga ära kauguse Tornio linnast kuni polaarjooneni. See võrdus 110 kilomeetriga. Laiuste vahe alg- ja lõpp-punkti vahel oli täpselt  $1^{\circ}$ . Nii saadigi kraadi joonpikkus antud kohal.

Edasi tuleb aga juba puhas aritmeetika.

Mõõtes ühte ja sama kaugust nii kilomeetrites kui ka kraadides, võtsid La Condamine ja Maupertuis puhta paberilehe ning asusid lahendama umbes niisugust aritmeetilist ülesannet, mida igaüks meist koolis korduvalt ja ilma eriliste raskusteta lahendas.

Kui me teame, et  $5\frac{3}{4}$ -kraadise kaare pikkus, mis vastab Moskva ja Harkovi vahemaale, moodustab umbes 640 kilomeetrit, siis on 1-kraadine kaar  $5\frac{3}{4}$  korda vähem. Aga kogu Maa ümbermõõt, milles, nagu teada, on  $360^{\circ}$ , on ühest kraadist 360 korda pikem. Jagades linnade vahelise kauguse nende linnade vahele äramahtuvate kraadide arvuga ning korrutades tulemuse 360-ga, saamegi Maa ümbermõõdu pikkuse.

Seda teades ei ole aga raske kõigile tuntud valemi järgi leida, kui suur on Maa raadius:

vaja ainult Maa übermõõdu pikkus 40 000 kilomeetrit jagada kuulsa  $2\pi$ -ga. Niisiis, mõõtnud mitte überringi ära kogu Maa, vaid asetanud temale ainult ühes teatavas kohas «kraadiarssina», saamegi meie planeedi suuruse teada.

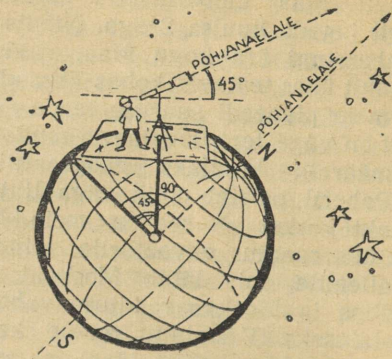
Meetod on väga teravmeelne ja mugav, aga... kuidas määrata kindlaks geograafilist laiust ennast? Paberil paistab kõik väga lihtne. Ringjoon, punkt keskel — see on meie Maa. Kui tõmmata üks raadius ekvaatorile, teine aga sellele paralleelile, mis läbib Moskvat, siis ongi ekvaatorilise ja Moskva raadiuse vaheline nurk Moskva laiuseks. Vastab ju sellele kesknurgale sama ringjoone kaar, mille järgi me välja arvutame, mitu kraadi Moskvat ekvaatorist eraldab. Seda nurka ongi tarvis kindlaks määrata.

Kerge öelda — mõõta ära nurk Maa tsentris. Aga kuidas seda teha? Teadlased talitasid väga lihtsalt: nad kandsid mõõtmised maapõuest üle taevavõlvile — panid ette määrata vajalikus kohas kindlaks Põhjanaela kõrgus. «Seega te mõõdategi ära selle linna geograafilise laiuse,» rääkisid astronoomid. «Ainult mitte maa-, vaid taevakraadide järgi.» Ja neil oli õigus.

Niisuguse asendamise saladus peitub järgmises.

Seetõttu, et Maa pöörleb, näib meile, et taevavõlv koos meie Päikese ja teiste tähtedega aeglaselt pöörduv. Ja ainult üksainus müriaadidest meile näha olevatest tähtedest jääb paigale. See ongi Põhjanael, mida igaühel on kerge leida, kui mõttes Suure Vankri kopa külgeina pikendada. Kuskil raskesti ettekujutatavas tinglikus kauguses tema taga asub maailma poolus, mille ümber tiirleb meie tähepererkond.

Tähtede ja Päikese kõrgus taevavõlvil muutub lakkamatult. Põhjanaela kauge tuluke ripub aga



kogu aeg ühel ja samal nivool. Tema kõrgus horisondist sõltub ainult selle koha geograafilisest laiusest, kust teda vaadeldakse. Liikudes piki meridiaani põhja poole, märkame, et ta ikka kõrgemale tõuseb. Seal aga, kus Põhjanaanel otse meie pea kohale jõuab, asub Põhjapoolus. Ja vastupidi, mida lõuna poole, seda madalamale ja madalamale, lähemale horisondile Põhjanaanel laskub, kuni lõpuks jõuab horisondini. Aga sealt, kus Põhjanaanel on horisondil, kulgeb ekvaatori joon. Just niiviisi otsis La Condamine Peruu rannikul ekvaatorit.

Tuli välja, et maailma pooluse kõrgus ja koha geograafiline laius oleksid nagu nähtamatu liigendi abil teineteisega ühendatud: nii suure osa Maa ümbermõõdust, nagu jalakäija ekvaatorist alates ära käib, niisama palju kraadide võrra tõuseb Põhjanaanel taevavõlvi mööda horisondist kõrgemale. Ja nii ei hakatudki mõõtma seda nurka, mis asub Maa tsentris ekvaatorilise ja näiteks Moskva raadiuse vahel, vaid just seda,

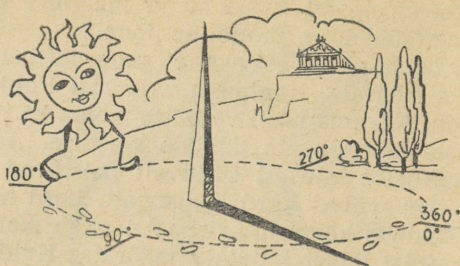
mille moodustavad horisont ja maailma poolust Moskvaga ühendav mõtteline joon.

Õieti öelda ei ole selleks, et geograafilist laiust kindlaks määrata, tingimata vaja just Põhjanaela vaadelda. Niisama hästi võib ära mõõta ka päikese või teiste helendavate tähtede kõrguse. Asukoha geograafilisest laiuselt sõltuvalt paistavad ju ka nemad taevavõlvil kord kõrgemalt, kord madalamalt. Tähtede kõrgus horisondist aitab meil koha geograafilist laiust kindlaks määrata. Kuid Maad mööda ärakäidud ühekraadine lõik ei vasta juba enam ühele taevakraadile, vaid selle murdarvule.

Selle, Maa kaugmõõtmise viisi avastas üle kahe tuhande aasta tagasi Aleksandria õpetlane Eratostenes. Reisisid pani ta tähele, et suvisel pööripäeval — 22. juunil — seisab Lõuna-Egiptuses Süene linnas (praegu Assuan) Päike keskpäeval otse pea kohal — inimesed ja ehitused ei heida varju. Kuid ta mäletas hästi, et Aleksandrias, kus ta elas, asub Päike sel päeval veidi madalamal ja esemed heidavad seal isegi keskpäeval lühikese varju. Tollal arvati, et Aleksandria ja Süene asuvad ühel ja samal meridiaanil, ja ta otsustas ära mõõta vahe Päikese kõrguse vahel nii ühes kui teises linnas, s. o. kindlaks määrata nende laiuste vahe.

Eratostenes võttis poolümmarguse vaskkausi, mille põhjale, päris selle keskpunkti, kinnitas vertikaalselt kausi äärtega ühekõrguse peenest traadist varda. Kausi sisse tõmbas ta läbi keskkohta joone, suurringi jäljena, mille jagas ristjoontega 180 osaks — kraadiks.

Saabus 22. juuni, Eratostenes asetaski omatehtud seadise — ta nimetas seda skafüüsiks — Aleksandria linnaväljakule ja hakkas jälgima vardast



jaotustega joonele langevat varju. Vari jäi sedamööda, kuidas Päike järjest kõrgemale ja kõrgemale tõusis, ikka lühemaks ja lühemaks. Keskpäeval kattis ta kausi põhjal 7,5 jaotust, hakkas aga seejärel uuesti suurenema. Eratostenes tegi järelduse, et Päike tõusis Aleksandrias 22. juunil  $82,5^\circ$ -ni, seniiti jõudmiseks jäi puudu  $7,5^\circ$ . Süenes pidi ta aga sel päeval läbima kõik jaotused, s. o. tõusma  $90^\circ$ -ni.

Tuli välja, et need linnad asuvad teineteisest  $7,5^\circ$  kaugusel. Samal ajal oli Eratostenesele teada, et tihti Aleksandriast kaubakoormatega Süenesse saabuvad karavanaiajad hindavad nende linnade vahemaad 5000 egiptuse staadiumile. Asetanud Maale oma kraadiarssina, arvutas ta välja maa ümbermõõdu: saadi umbes 250 000 staadiumi, Maa raadius osutus aga võrdseks 39 700 staadiumiga (üks egiptuse staadium arvatakse olevat peaaegu 200 meetrit).

Praegu on teada, et linnad ei asu ühel ja samal meridiaanil. Süene on  $3^\circ$  võrra Aleksandriast ida pool, nende laiuste vahe ei ole mitte  $7^\circ 30'$ , vaid  $7^\circ 07'$ . Eratostenese arvutused ei olnud täpsed. Kuid planeedi mõõtmise printsiip ise säilitas oma tähtsuse ka meie päevil. Nii saigi

ta kraadimõõtmise nimetuse. Ainult Eratostenese skafüüs muutus tugevasti, kujunedes välja astronoomiliseks universaalinstrumendiks.

Vaatleja püüab vaadeldava tähe instrumendi okulaari nii, et ta osutuks iselaadi «kirbul» — kahe ristjoone lõikumiskohas — olevaks. Seejärel määratakse erilise, väga täpselt kraadideks jaotatud ringi järgi kindlaks, missuguse nurga all on teleskoobi toru horisoni suhtes kaldu.

Kui teile kätte satub mereromaan, milles kirjeldatakse, kuidas kapten laeva asukoha määramiseks sekstandi kätte võttis ja päikest püüdma hakkas, siis taipate muidugi kergesti, mil viisil ta koordinaadid kindlaks määras. Õigupoolest küll ainult ühe neist — laiuse. Aga pikkus?

Küllaldase täpsusega õpiti geograafilist pikkust määrama alles möödunud sajandi algul, ehkki juba ammu aru saadi, et pikkuse mõõtmiseks võib sobida aeg.

Tõepoolest: kui meie planeet sooritab 24 tunniga täispöörde ( $360^\circ$ ), siis pöörduv ta igas tunnis  $15^\circ$  võrra. Tähendab, et tehes kindlaks, palju on kell praegu Moskvas ja samuti Krasnojarskis, võime me kindlaks määrata, missugune osa ringjoonest tuleb Moskval läbida, et tema aeg Krasnojarski ajaga kokku langeks. Sellega saame teada, kui suur on nende linnade vaheline kaugus kraadides. Muidugi ei tule võtta vööndi aega, mille järgi käivad linna kellad Moskvas ja Krasnojarskis, vaid kohalik aeg.

Kohalikku aega leida pole raske. Nagu laiustki, määratakse seda kindlaks tähtede järgi. Maa pöörlemise tõttu näib ju meile, et tähed just nagu liiguksid ööpäeva vältel ümber meie planeedi.

Kuid selleks, et erinevate linnade kohalikku aega võrrelda, on vaja täpselt teada, mis on kell

nullpikkusel — kust aja arvestamine algab. Seda «kohalike» tähtede järgi kindlaks määrata ei saa. Siin on vaja kella, mis võib nullaega kõikjal muutumatuna säilitada. Siis on igal momendil võimalik sellele kellale pilku heites teada saada, mis kellaeg on praegu nullmeridiaanil.

Kellas just konks seisiski. Huygeni pendelkell, mis omal ajal nii palju lärmi tekitas, selleks otstarbeks ei kõlvanud — ühest kohast teise siirdumisel nende aeg muutus. Ja isegi kaasaja täiuslikum kronomeeter, milles vedru asendas pommi, pendli aset täitis aga balanssiir, säilitas halvasti aega. Kellade käik kannatas õõtsumiste, temperatuuri ja teiste asjaolude tõttu, mida raske oli ette näha. Seepärast määrati pikkust kuni kõige viimase ajani kindlaks väga ligikaudselt.

Alles raadio leiutamisega sai lõpuks ilma Greenwichi aega endaga kaasa vedamata võimalikuks seda eetrisse üleantavate signaalide järgi teada saada. Nüüd on igas kõige mahajäetumas paigas võimalik geograafilist pikkust küllaldase täpsusega kindlaks määrata.

Aga... Teaduses on väga palju neid «agaside».

Nii kaua, kuni Maad ümmarguseks peeti, olid kraadimõõtmised just nagu universaalsemad. Tarvitses ära mõõta ükskõik missugune paralleeli või meridiaani lõik, ning aritmeetiliste arvutuste teel määrasite te maakera raadiuse kindlaks. Lapikul Maal osutus kõik aga palju keerulisemaks.

Määrates Maa raadiuse kindlaks, peate tingimata lisama, missuguse raadiuse te nimelt saite. On ju polaarne pooltelg — nüüd on see täpselt teada — ekvaatorilisest lühem. Aga kui palju?

La Condamine arvutas oma meridiaanilõigu

järgi välja, et polaarne pooltelg on ekvaatorilise poolteljest lühem  $\frac{1}{314}$  ekvaatorilise pooltelje võrra, Maupertuis'l aga tuli Lapimaal sooritatud mõõtmiste alusel polaarne pooltelg  $\frac{1}{214}$  võrra lühem.

Kellel oli õigus?

Sai selgeks, et lõplikku vastust meie planeedi kuju küsimusele on võimalik anda alles pärast seda, kui kogu Maa on pikuti ja risti läbi mõõdetud. Ja «kraadiarssinaga» varustatud teadlased asusid teekonnale piki meridiaane ja paralleele.

## PLANEEDI «JUURDELÕIKAJAD»

Fr. G. W. Struve ärkas koidikul külma tõttu; telgi õhuke lõuend rippus raskelt lumekoorma all. Ta heitis pilgu termomeetrile — elavhõbeda-sambake laskus 13 jaotuse võrra allapoole punast piirjoont. 13 kraadi Réaumuri järgi! Talv saabus ootamatult.

Töö jätkamisele ei saanud mõeldagi. Nii jäigi ta siia peatuma. Puhkus lõppes, Tartu ülikoolis algasid juba loengud ja teda ootasid üliõpilased, kellele ta juba viiendat aastat avas tähistaeva saladusi. Ammuks see oli, kui ta veel ise ses-samas ülikoolis kuulas loenguid, suvel aga Põhja-Liivimaal Tartu meridiaani mõõtes mööda põldu-sid ja rabasid luusis? Nende kuue-seitsme suvise teekonna jooksul mõötis ta läbi küllaltki suure lõigu: Suursaarest, mis asub keset Soome lahte, kuni Jakobstadi linnani <sup>1</sup> — mis teeb 348 versta ehk 3° 35'.

Selle väikese Daugava-äärse linnakese ümb-

<sup>1</sup> Praegune Jēkabpils Läti NSV-s. — Toim.

ruses tabaski teda 1827. aasta november. Tuli Tartusse tagasi pöörduda.

Kuid mõte mõõtmiste jätkamisest ei jätnud Struvet maha. See meridiaan, mis oma valdavas osas mööda veerjat tasandikku kulges, oli juba väga mugavaks muutunud. Seda enam, et mõni aasta tagasi oli sama meridiaani Daugava ja Pripjati vaheline lõik 482 versta ulatuses juba kindralstaabi ülesandel Leedu kaarti koostava kindral C. Tenneri poolt läbi mõõdetud. Tenneri Leedu kaar algas kõigest 30 versta kauguselt Struve Balti kaare lõunapoolsest otsast.

Mõte mõlema kaare ühendamisest tekkis ka kindral C. Tenneril. Teada saanud, et Tartu tähetorni vaatleja abiline üksi ülikooli poolt «teaduslikeks reiseideks» eraldatud nappide vahenditega meridiaanist, mille kallal ta ise juba palju aastaid vaeva nägi, küllaltki suure kaare läbi mõõtis, sõitis kindral 1828. aasta jaanuaris Tartusse.

Ja tänu kahe ennastsalgava Venemaa teadlase<sup>1</sup> koostööle ühinesid järgmise aasta suvel Balti ja Leedu kaar, moodustades pika lõigu Soome lahest kuni Pinski soodeni.

---

<sup>1</sup> Mõlema teadlase elu on seotud Eesti NSV-ga.

Friedrich Georg Wilhelm (venepäraselt Vassili Jakovlevitš) Struve sündis 1793. a. Saksamaal, lõpetas 1810. a. Tartu ülikooli ja töötas 1818—1839 Tartus ülikooli professorina ja tähetorni juhatajana. Hiljem oli ta Pulkovo observatooriumi direktor. Prof. Struve suri 1864. a.

Carl Friedrich (venepäraselt Karl Ivanovitš) Tenner sündis 1783. a. Auvere mõisas mõisavalitseja pojana, lapsepõlve veetis Saarel ja Rõngus. Hiljem sai temast üks silmapaistvamaid vene sõjaväe geodeete ja talle anti kindrali aukraad. Tenner suri Varssavis 1859. a. — *Toim.*

Kahe aasta pärast saabus haridusministri nimele astronoom Struvelt uus projekt selle kaare pikendamiseks põhja poole: alates Soome lahest läbi kogu Soome kuni sellesama piirilinna Tornioni, kust eelmisel sajandil Maupertuis' ekspeditsioon oma mõõtmisi alustas.

Pärast pikki arutlusi kiideti projekt heaks. Struvele eraldati abiks kolm kindralstaabi ohvitseri. Ja töö algas.

Mitme aasta jooksul tungisid geodeedid edasi läbi Soome rabade ja järvede, ületades tuhandeid salmi, lahti ja lõukaid ning läbides tihedaid, läbipääsmatuid metsi. Ja lõpuks jõudsid nad Tornio lähedal välja Botnia ehk Põhjalahe äärde. Edasi algas Rootsi territoorium.

«Venemaa parim astronoom» prof. Struve nimetati sel ajal Pulkovo observatooriumi direktoriks, Tartu meridiaani mõõtmise võttis aga Peterburi Teaduste Akadeemia Fr. G. W. Struve visal nõudmisel oma vahetu kaitse alla.

Akadeemia ülesandel siirdus prof. Struve Stokholmi, et paluda Rootsi ja Norra kuningalt Oskarilt luba mõõtmiste jätkamiseks nende riikide territooriumil.

Maupertuis' vanad mõõtmised XIX sajandi teadlasi täpsuse poolest enam ei rahuldanud. Peale selle ei jõudnud Maupertuis mandri lõpuni, Struve unistas aga oma kaare viimisest kuni Euroopa kõige põhjapoolsema punktini.

Kuningas Oskar võttis vene astronoomi isiklikult vastu ja lubas nendeks töödeks kaasabi osutada. Kaks ekspeditsiooni varustati kõige tarvilikuga. Rootslased liikusid Tornioist põhja poole, norralased aga hakkasid mandri põhjatipust — Nordkapi neemest — allapoole laskuma. Fugle-naesi kalurikülas, kus mõlemad ekspeditsioonid

kohtusid, müüriti kaljusse terasest silinder, mille peale oli märgitud kaks peent teineteisega ristuvat joont — nii tähistati kaare lõpu astronoomilist punkti.

Samal ajal rajas kindral Tenner visalt lõunas läbipääsmatute Pinski soode kaudu trassi Dnestri poole. Lõpetanud mõõtmised põhjas, sõitis prof. Struve tema juurde ja nad viisid, läbinud üheskoos Bessaraabia, kaare kuni Doonauni välja. Kaare lõunapoolne ots krooniti neljatahulise malmist püramiidiga, mis püstitati väljakule Staro-Nekrassovka külas.

Peaaegu nelikümmend aastat kestis see grandioosne ettevõte. Hiiglasuur 2880 kilomeetri pikkune kaar ulatub Doonau suudmest kuni Põhja-Jäämere rannikuni. Ja nii nimetatigi ta «Struve kaareks» ja see oli kaua aega üheks kõige suuremaks maailmas. Nende mõõtmiste tulemusi kasutatakse veel praegugi.

XIX ja XX sajandil kaetakse maakera niisuguste kraadimõõtmiste võrguga. Missugust tähtsust omistati maamõõtmistöödele, võib juba kas või sellest järeldada, et Prantsuse revolutsiooni käigus saadeti Konvendi korraldusel kaks teadlast mõõtma meridiaani Dunkerque'ist Barcelonani, sedasama lõiku, mida mööda kiirustamata reisis kunagi Cassini. Pikendatuna kuni Alžeeriani on see kaar veel ka meie päevil üheks kõige suuremaks Euroopas. Ta on üle 3000 kilomeetri pikk.

Inglise kindral Everest läbis meridiaani mööda kogu India — Himaalaja mägedest kuni ookeani rannikuni. Ameerikas tõmmati niisugune «kraadiarssin» piki Atlandi ookeani rannikut — Mehiko lahest kuni Kanadani.

Järjekord jõudis ka paralleelideni. Ühena esimestest mõõdeti 52. paralleel, mis kulgeb Iiri-maa läänerrannikult läbi Greenwichi, Pariisi, Berliini, Varssavi, Orjoli ja Saraatovi. Kraaditähiste teine siht ulatus Prantsuse rannikult Astrahanini. Hiiglasuur transkontinentaalne kaar lõikas läbi Põhja-Ameerika Atlandist kuni Vaikse ookeanini.

Vene teadlased teostasid kõige põhjapoolsema kraadimõõtmise maailmas. Ekspeditsiooni Teravmägede saartele loeti Vene Teaduste Akadeemia üheks suurimaks teaduslikuks ürituseks XIX sajandil. Liikudes sõudepaatidel keset saartevahelisi väinu täitvat triivjääd, ronides mööda jääga kattunud kaljusid, ületades lõhesid — ja seda kõike hoolimata lumetormidest, udust, rae-vutsevatest tuultest ja mitte vähem karmist külmast, mõõtsid vene geodeedid kahe suve jooksul 20. idapikkust, mis 470 km ulatuses läbis arhipelaagi.

Ja siiski ei ületanud revolutsioonieelse Venemaa kraadimõõtmiste üldpikkus mõnda tuhandet kilomeetrit. Juba ainult esimeste nõukogude viis-aastakute jooksul mõõdeti läbi üle 80 000 kilomeetri meridiaane ja paralleele. Töid viidi läbi kindla plaani järgi. Juba 1938. aastaks oli neist töödest hõivatud peaaegu kogu Nõukogude Liidu Euroopa osa, Kesk- ja Lõuna-Uraal, Kasahstan. Kraadivõrku kontrolliti peaaegu poole Nõukogude Liidu territooriumi ulatuses.

Need laialdased uurimused võimaldasid Maa ellipsoidi mõõtmed uuesti kindlaks määrata. Kuid ta ühtede teadlaste poolt väljaarvutatud ellipsoidi suurus erines sellest, mis tuli välja teistel. Kuni viimase ajani loeti kõige õigemaks ameerika teadlase J. Hayfordi poolt juba 1910. aastal väl-

jaarvutatud ellipsoidi. See võetigi rahvusvaheliseks.

Aastast aastasse muutusid kraadimõõtmised ikka täpsemaks. 1940. aastal tõestas tuntud nõukogude geodeet, NSV Liidu Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige F. N. Krassovski meie maa territooriumi kaasaegsete suure täpsusega läbi viidud mõõtmiste alusel, et rahvusvaheline ellipsoid on välja arvutatud vigadega.

Teadlased, kes määravad kindlaks Maa ellipsoidi, meenutavad teatud määral juurdelõikajaid. Ka nemad seavad mitme mõõtme järgi kokku figuuri kuju. Planeedi mõõtmised tulevad kõige täpsemalt välja sellel, kes oma töösse pani rohkem oskust ja kunsti ning kasutas õigemat «sentimeetrit».

Nüüd, mil kraadid pikkuselt erinevaks osutsid, oli vaja ära mõõta meridiaani või paralleeli võimalikult pikem lõik, vähemalt 2000 kuni 3000 kilomeetrit. Ja niisuguseid lõike tuli käsile võtta mitu, ning pealegi maakera erinevatest kohtadest: üks ekvaatori juurest, teised polaarjoone lähedalt. Tuli ju nende järgi välja arvutada «keskmine» kraad.

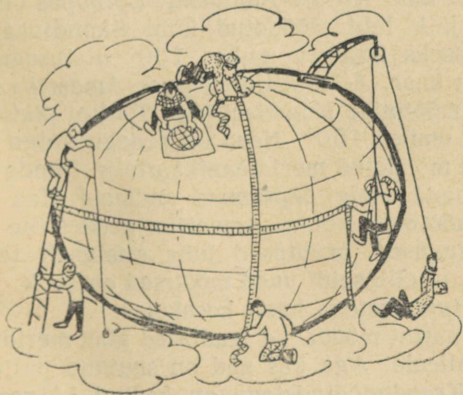
Ja laiust või pikkust ei mõõdetud nüüd mitte üksnes lõigu otstes. Kogu paljukilomeetrine kaar jagati väikesteks lõikudeks pikkusega 100 või isegi 50 kilomeetrit. Igas niisuguses «täkkes» määrati kindlaks astronoomilised koordinaadid.

Kui J. Hayford Maa mõõtmeid kindlaks määras, kasutas ta väikese ulatusega kraadimõõtmisi ja seda peamiselt Ameerika Ühendriikide territooriumil. Intervallid aga, mille tagant punktide koordinaate mõõdeti, olid küllalt suured. Hayfordi ellipsoid osutus Maa jaoks liiga suureks. Tema ekvaatoriline pooltelg tuli kõige

tagasihoidlikumate kokkuvõtete järgi 100 meetri võrra suurem tegelikust.

Paljud riigid, nende hulgas ka Venemaa, kasutasid teist ellipsoidi, mis oli välja arvatud juba möödunud sajandil saksa astronoomi F. Besseli poolt. Tema võttis aluseks 10-kraadise kaare üldpikkusega 6000 kilomeetrit, mis läbis mitut maad. «Täkked» aga olid tehtud iga 150 kilomeetri järel. Kuid F. N. Krassovski avastas, et ka see ellipsoid ei kõlba: ta oli Maa jaoks liiga väike. Tema ekvaatoriline pooltelg oli 800 meetri võrra tegelikust lühem.

Tekkis vajadus Maa mõõtmete palju täpsemaks arvutamiseks. Selle vastutava töö võttis ette F. N. Krassovski koos oma õpilase A. A. Izotoviga. Nad kasutasid kraadimõõtmisi, mis olid läbi viidud mitte üksnes meie maa territooriumil, vaid ka tähtsamates Lääne-Euroopa riikides. Lühidalt, need mõõtmised moodustasid meridiaanide ja paralleelide väga pikki kaari, mis tagas eelmiste töödega võrreldes arvutuste suurema täpsuse.



Uute arvutuste järgi osutus kaugus Maa tsentrist ekvaatorini (ekvaatoriline pooltelg) 21 kilomeetri ja 382 meetri võrra pikemaks kui kaugus pooluseni (polaarne pooltelg). Ekvaatorilise pooltelje pikkuseks aga saadi 6 378 245 meetrit. Maa lapikus tuli väiksem kui Newtonil. Ta võrdus  $\frac{1}{298}$ . Maa kuju ja mõõtmete kindlaksmääramise eest omistati F. N. Krassovskile ja A. A. Izotovile 1952. aastal Stalini preemia.

Praegu on Maa ellipsoidi suurus välja arvatud täpsusega, millest «kraadiarssina» leiutajad unistadagi ei võinud. Kuid kas tähendab see, et tema mõõtmed on juba lõplikult kindlaks määratud?

Muidugi mitte. Ometi on see tulemus saavutatud kraadimõõtmiste põhjal, mis on läbi viidud Lääne-Euroopa, Ameerika Ühendriikide ja umbes poolel meie maa territooriumist. Aga missugust kuju omab Maa pind maakera teistes osades?

Viimastel aastatel jõudis lõpule Aafrika kraadimõõtmine mööda 30. meridiaani — Hea Lootuse neemest kuni Niiluse suudmeni. Euroopas on selle kaare jätk läbi mõõdetud kuni Skandinaaviani. Tulemuseks kujunes umbes  $100^\circ$  ulatusega katkematu kaar. Alles hiljuti lõppes Ameerika meridiaani mõõtmine Kanadast kuni Tšiilini pikkusega samuti umbes  $100^\circ$ . Need on praegu kõige pikemateks mõõdetud meridiaanikaarteks. Nende järgi võib saada veelgi täpsemaid andmeid Maa ellipsoidi mõõtmete kohta. Ameerika geodeetide poolt on niisugused arvutused juba esialgselt tehtud. Selgus, et ellipsoidi uued mõõtmed on F. N. Krassovski tulemustega hästi kooskõlas.

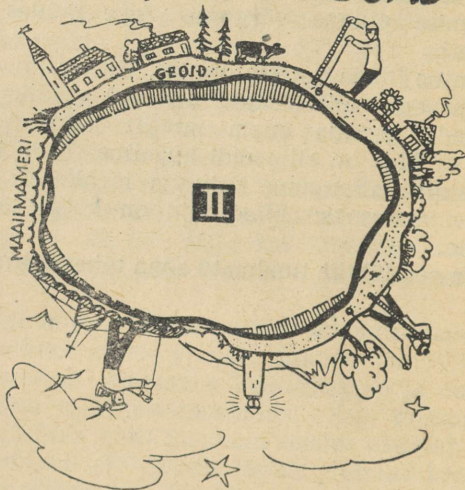
150 aastat mõõdavad teadlased Maa meridiaane ja paralleele. Aga kas nad on suutnud palju ära teha? Kraadimõõtmistega on kaetud kõigest  $\frac{1}{10}$

meie planeedist. Seda on muidugi liiga vähe selleks, et otsustada Maa tõelise kuju üle. Geodeedid unistavad juba kaua kogu planeedi katmisest kraadimõõtmise pideva võrguga. Aga kuidas seda teostada?

Peamine häda peitub mujal. Näiks, nagu ei võiks praegu, mil aastaid kestnud vaidlused on lõppenud, tekkida enam mingit kahtlust selle kohta, et Maa on ellipsoidi kujuline. Kuid küsige teadlastelt, missugune kuju on maakeral? Ja te kuulete vastuseks: Maa kuju on kõige lähemal geoidile.

Mida see lühike tundmatu sõna tähendab?

# KAALUPOMM SENTIMEETRI OSAS



## POOLUSE RANDAMINE

Igaüks, kes on lugenud Jules Verne'i romaani «Kaptan Granti lapsed», mäletab arvatavasti, missuguseid paeluvaid seiklusi tuli selle kangelas-  
tel läbi elada. Kaptan Granti otsimisel ületasid nad Kordiljeerid, läbisid paralleeli mööda kogu Lõuna-Ameerika, purjetasid üle Atlandi ja India ookeani, käisid läänest itta läbi Austraalia, seejärel aga — ikka sedasama paralleeli mööda — Uus-Meremaa. Ja lõpuks, Tabori saarel — sellel väikesel, Vaiksesse ookeani eksinud maismaa lapi-  
kesel — kohtusid nad vaprä šotlasega.

Raamatu kangelastel tuli sooritada peaaegu ümbermaailmareis mööda 37. paralleeli. Ja kõik sellepärast, et dokumentides, mis nad merest väljapüütud pudelist leidsid, oli säilinud ainult ülestähendatud laiuse märgis —  $37^{\circ}11'$ , millel toimus laevahukk. Numbrid aga, mis pidid näitama neile vajaliku aadressi teist poolt — pikkust, oli merevesi ära uhtunud ning nad jäid teadmataks.

Sellele, et Maa igal punktil on oma püsiv aadress, oligi rajatud Jules Verne'i romaani idee, võimaldades talle oma kangelasi läbi paljude maade viia ning välja arendada terve seeria huvitavaid seiklusi.

Jules Verne'i kangelased reisisid XVIII sajandil. Aga kas neil oleks õnnestunud laevahuku asukohta leida, kui nad oleksid oma otsingutele asunud praegu? Teadlased ju tõestasid, et praegune 37. paralleel, kui täpselt väljendada, ei lähe läbi hoopiski mitte sealt, kust varem, ja et Tabori saar asub mõnevõrra kõrval sellest laiusest, mis oli antud Jules Verne'i romaanis.

Sellest, et ühtede ja samade kohtade geograafiline laius maakeral muutub, teatas esmakordselt möödunud sajandi lõpus toimunud rahvusvahelisele geodeetide kongressile saksa astronoom Küstner.

Kõigil kaartidel on märgitud, et Berliin asub paralleelil  $52^{\circ}30'$ . Küstner aga kinnitas, et Berliini laius on juba üksnes mõne aastaga muutunud. Tõsi küll, vähe, kõigest sajandiku sekundi võrra. Kuid ühe kaaresekundi pikkus moodustab tervelt 30 meetrit!

Teadlase ettekanne tekitas suurt kära: ei või ju terve linn koos kõigi elanikega märkamatuult lõunasse või põhja siirduda? Küstnerilt nõuti sel-

gitust. Kuid teadlane võis ainult korrata seda, mis tema vaatlustest järeldus.

Ta määras taevavõlvil kindlaks seitsme talle astronoomilisteks arvutamisteks vajaliku tähepaari asendi. Tähtede koordinaate luges ta, nagu hariplikult, maailma poolusest. Ja niipea, kui vaatlused olid lõpetatud, avastas Küstner, et tähtede kindlaksmääratud koordinaadid erinevad neist, mis mõned aastad varem nende jaoks said vene astronoomid Pulkovos.

Küstner arvutas uuesti kõik arvud ümber: tähtede koordinaadid ei ühtinud. Jäi üle vaid eeldada, et selle ajaga, mis lahutas vene astronoomide vaatlusi tema omadest, muutusid Pulkovo ja Berliini laiused, seepärast osutubki Maalt vaatlemisel Põhjjanaela kõrgus erinevaks.

Kujutada «elavana» inimese poolt paberile tõmmatud ja tegelikkuses mitte eksisteerivaid jooni oli raske. Kuid laiuste järele otsustati siiski valvata.

Nende järele hakati üheaegselt valvama Berliinis, Potsdamis, Prahast ja Strasbourgis. Ja juba aasta pärast leidsid Küstneri ebatõenäolised järeldused kinnitust: terve mõistuse kiuste muutus silmanähtavalt iga mainitud linna geograafiline laius.

Tuli isegi organiseerida spetsiaalne «teenistus», mis selle järele valvaks, kuidas laiused muutuvad. Sel eesmärgil valiti välja rida paralleelil  $39^{\circ}08'$  asuvaid punkte: Mitsuzavu Jaapanis, Tšardžou Venemaal, Carloforte ühel Itaalia saarel, Haytesburg, Cincinnati ja Ukiah Põhja-Ameerikas. Nii moodustati spetsiaalsed jaamad, mis rõngana ümbritsesid maakera.

Praegu tegutsevad meie maa territooriumil samasugused jaamad Poltaavas, Pulkovos, Kaa-

sanis, Moskvas, Irkutskis, Blagoveštšenskis ja Kitabis. Aga alles päris hiljuti, 1957. aastal, lülitus sellesse teenistusse Hiina vaatlusjaam, mis asub Suure-Hiina kanali kaldal Tianjini lähedal.

Üle viiekümne aasta töötab rahvusvaheline geograafilise laiuse teenistus. Praegu ei ärata enam üheski teadlases kahtlust, et ükskõik missuguse koha laius meie planeedil aja jooksul muutub.

Vaat kui «usaldatav» aadress! Tuleb välja, et me, ise seda aimamata, kogu aeg ümber kolime, või õigemini, niisugust «ümberkolimist» sooritavad paralleelid, millest meie geograafiliste laiuste arvestust peame.

Kes siis paralleelide nähtamatuid niite nihutab? Selgub, et kõige põhjuseks on paigalpäsimatu poolus.

See oli hämmastavaks avastuseks: poolus — matemaatiline tinglik punkt — sooritab tõelisi rännakuid! Maa olematu telje ots joonistab planeedi pinnale kummalise joonise, mis sarnaneb jalutuskepiga hooletult liivasse tõmmatud sirgeldusega. Ta liigub samas sihis, milles pöörleb Maa, joonestades sassiaetud, kord kinni, kord lahti keerduva spiraali.

Esineb aastaid, mil poolus on peaaegu liikumatu. Aga aeg-ajalt püüaks poolus, just nagu tormilisi seiklusi igatsev rändur, möödalastud aega tasa teha. Kuid kaugemale kui 10 meetrit ta oma kohalt, kus ta peaks asuma püsivalt, tavaliselt ei eemaldu. Pole imestada, et niisugune pisitilluke suurus avastati alles siis, kui astronoomilised vaatlused saavutasid erakordselt suure täpsuse.

Kuid just 1952. aastal poolus ootamatult ronis veelgi kaugemale: tema poolt moodustatud spiraal ei mahtunud vana, 20×20 meetri suuruse ruudu raamidesse, mis juba pool sajandit oli tema jaoks

olnud muutumatuks piiriks. Seekord tuli «piiruudu» iga külge veel 6 meetri võrra suuredada.

Niisamasuguseid keerulisi nimetähti joonistab ka Maa telje lõunapoolne ots, pöördudes teatava aja möödumisel oma lähtepunkti tagasi. Kuid aasta-aastalt, nagu see on meie tuntud pooluste rännete spetsialisti A. J. Orlovi poolt kindlaks tehtud, ei lange need punktid kokku: poolus läheb ikka kaugemale sellest kohast, kust ta kunagi oma teekonda alustas, ta nagu triiviks aeglaselt 69. meridiaani kõrvale, «ujudes» aasta jooksul umbes 12,5 cm võrra kaugemale.

Kunagi leppisid teadlased kokku lugeda Maa teljeks tema tsentrit läbivat sirget. Seejärel tõmbasid nad läbi tsentri risttasandi ning nimetasid selle lõikejoont Maa pinnaga ekvaatoriks. See li kindel, lõplikult kindlaks määratud süsteem, kindikava, mille alusel on loodud kogu kraadivõrk. Seepärast, et Maa oma teljel «logiseb», nihkuks nagu kogu koordinaadistik paigast ära.

Mis siis sunnib maakera «kõikuma»?

Keerutades laboratooriumis mitmesuguseid kehasid, veendusid teadlased, et need hakkavad tingimata võnkuma, kui telg, mille ümber neid keerutatakse, nende geomeetrilise teljega kokku ei lange.

Niisuguses olukorras iga ese kaotaks nagu kogu aeg mingil hetkel tasakaalu ja leiaks selle justkui uuesti, püüdes asetuda mugavamalt, end sirgu ajada ja hakata pöörlema telje ümber, mis jäotaks ta ära sümmeetriliselt. Neist võngetest tingitult nihkuvadki paigast ja rändavad mööda keha pinda ringi tema «poolused».

Kas tõesti juhtus niisugune lugu ka meie Maaga? Sellele küsimusele saadi vastus siis, kui

õnnestus lahti harutada pooluse poolt maapinnale joonistatud käänuline kõverjoon.

Ja siin tulid ilmsiks uued ootamatused.

Matemaatilised arvutused kinnitasid, et poolus hakkab ringi rändama isegi korrapärasel ellipsoidil, milleks Maad peeti. Selle põhjuseks on liigne paksenemine piki ekvaatorit, mille tekitab planeedi lapikus. Aga kui pooluse jäljed dešifreeriti, selgus, et ta liigub ovaali, mitte aga ringi mööda, nagu see oleks pidanud olema täiesti korrapärase ellipsoidi puhul.

Oli nii, nagu ripuks kuskil meie planeedi küljel mingi täiendav «mägi» — liigne mass, mille tõttu tema pöörlemistelg joonistab palju keerulisema kõverjoone. Tõsi küll, pooluse teekond erines ringist niivõrd vähe, et selle nähtavaletoomine oli seotud suurimate raskustega. Teadlased ei näinud sellega vähe vaeva. Suured teened on selles tuntud vene astronoomil A. J. Orlovil. Uurinud hoolikalt paljude aastate vältel Poltaava laiuse muutuste järgi pooluse teekonda, veendus A. J. Orlov, et maa ellipsoid pole tõepoolest korrapärane.

Ülesannete kogude viimastel lehekülgedel, kus on ära toodud lahenduste vastused, võib mõnikord näha märgikest  $\approx$ . See tähendab, et vastus on ligikaudne. Niisama ligikaudselt lahendasid teadlased ülesande Maa kujust, tõestades, et see on poolustelt lapikuks litsutud. Kõige huvitavam on see, et neil, kes kinnitasid, et Maa on külgedelt kokku surutud, oli ka osaliselt õigus. Maa osutus kokkusurutuks mitte üksnes poolustelt, vaid mingis kohas ka ekvaatorilt.

Suuna järgi, mida mööda pooluse teekond kulges, õnnestus kindlaks teha, kus asuvad kokkulitsutud ning kus kumerad kohad — planeedi omamoodi «põsesarnad».

Ekvaatorilised poolteljed, mis toetuvad idapoolkera 15. meridiaanile ja tema vastas asuvale läänepoolkera 165. meridiaanile, osutusid umbes 200 meetri võrra pikemaks nendest, mis lõpevad vastavalt 105. ja 75. meridiaanil. Indoneesia ja Peruu on sel kombel mõnevõrra sisse pressitud, Aafrika ja Vaikse ookeani keskkohad aga asuvad nagu kүүrudel.

Tuli välja, et Maal ei ole mitte kaks pikkuselt erinevat telge — polaarne ja ekvaatoriline, vaid kolm — polaarne ja kaks ekvaatorilist telge. See pärast hakati maakera nimetama kolmeteljeliseks ellipsoidiks.

Erinevalt kellamehhanismi telgedest ei ole Maa telg kandelaagritele kinnitatud ega kapslisse suletud. Temale mõjuvad mitmesugused jõud. Meie planeet elab: hingab, väriseb. Skandinaavia poolsaar koos oma linnade ja elanikega tõuseb aastast aastasse ikka kõrgemale. Taani ja Hollandi rannik vajub aga mere alla — mandrite pangad nihkuvad. Aga võimsamad nähtamatud protsessid Maa sisemuses, mille järelkaja me kuuleme vulkaanide kraatreist väljapurskuva laava mürinas või vaatleme hirmuäratavate merevärinate ajal? Kas võivad need jälgi jätmata mööduda, ilma meie planeedi väliskujule mõju avaldamata? Niisugused võimsad masside ümberpaigutused nihutavadki tõenäoliselt maakera ka tema teljelt.

Kolossaalsed massid asetuvad pidevalt ümber ka mööda meie planeedi pinda, ehkki näib, nagu oleksid nad kokku pandud peaaegu kaalutuist osakestest. Me puutume niisuguste nähtustega kokku iga päev, kuid ei mõtle hoopiski sellest, missugune suhe on neil Maa liikumisega.

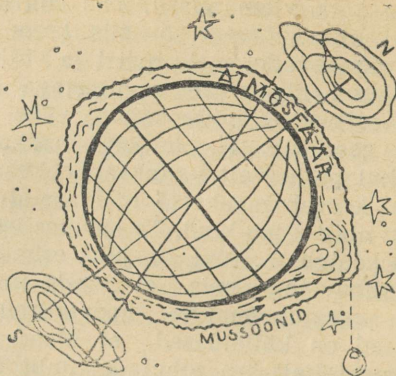
Palju kaalub näiteks vihmapiisk või roheline puuleht? Mingi murdosa grammist. Kui palju kaa-

luvad aga kõik vihmapiisad, mis sügiseste vihmade ajal alla sajavad või siis kogu roheline lehestik, mis kevadel meie metsi ja välju katab? Kui teadlased niisuguste arvutustega hakkasid tegelema, selgus, et mitte sugugi vähe.

Inglise geofüüsik H. Jeffreys hakkas kokku arvama, kui palju vett kannavad ookeanivoolud, kui palju kasvab maakeral igal aastal rohtu ja lehestikku ning sajab lund. Ta arvutas isegi välja, kui palju kaalub . . . tuul. Ja juba esimene orienteeruv kokkuvõtte veenis, et nende maapinnale rõhuvate «kaalupommide» hooajalised ümberpaiknemised on küllaldased, et Maad võnkuma panna, oma teljelt ära nihutada. Juba üksi jõed uhuvad mandrite pinnalt aasta jooksul ära umbes 31 kuupkilomeetrit kivimeid. Need koormised kutsuvad vurrkanni-Maa pinnal lisavõnkumisi esile ja pooluse teekond muutub veelgi käänulisemaks ja segasemaks.

Päris hiljuti kontrollis ja täpsustas H. Jeffreysi järeldust nõukogude teadlane N. Bõzova. Selgus, et Maad tema teljel võngutab peamiselt tuul. Näiteks talvel Vaikselt ookeanilt Aasia mandrile puhuv mussoon kannab edasi tohutuid õhumasse. Kõige jämedama arvestuse järgi koguneb talvel juba üksnes Siberi kohale umbes 15 miljardit tonni liigset õhku. Suvel hajub õhumüts laiali, valgudes uuesti ookeanile.

Oletatakse, et nende, õhust koosnevate «kaalupommide» kaal sõltub . . . Päikesest. Mitte asjata ei ole tähele pandud, et aastatel, mil Päike Maale rohkem soojust andis, oli pooluse teekond eriti «laiahaardeline». Maa läbisoojenenud atmosfääris tekivad ju tugevamad tuuled. Ja vastupidi, siis kui Päike «rahunes», liikus poolus aeglase-  
malt.



Praegu kaldutakse kõige rohkem pooluste liikumise «tuulega» seletamise variandi poole. Igal juhul väljendas seda seisukohta suurem osa suuri maailma teadlasi 1958. aastal toimunud X rahvusvahelisel astronoomide kongressil Moskvas. Kongressil töötas spetsiaalne komisjon, vaadates läbi kaasaegsed laiuste muutumised ja pooluste nihkumised meie planeedi pinnal. Pooluste liikumise vaatlusi otsustati jätkata. Samaaegselt vilakse läbi maakera paljude punktide uute geograafiliste laiuste määramine, mida rahvusvahelisel geofüüsika-aastal alustati.

Fakti avastamine, et ekvaator on laperguseks litsunud, osutus omal ajal murranguliseks tähiseks vaadetes meie planeedi täpse kuju kohta. Viimane ring, mis lapikule Maale veel oli alles jäänud — ekvaator —, ka see osutus ellipsiks. Aga salakaval planeet, mis justkui kuidagi ei tahtnud, et temal elavad inimesed ta tõelise kuju teada saaksid, valmistus juba uueks üllatuseks.

## KELL, MIS VENITAS MAA PIKERGUSEKS

Hämmastavaid iugusid juhtub mitte üksnes seiklusromaanide kangelastega. Mitte vähem fantastiliseks ei osutu tihti ka teaduslike avastuste saatus. Võtkem kas või seesama juhtum elustunud matemaatilise punkti — poolusega.

Kuid lugu poolusega on päris tühiasi võrreldes sellega, missuguse «vembu» mängis teadlastele aastat kümme-viisteist tagasi kvartskell.

Kellaga olid teadlastel omad arved. Nad ei suutnud unustada, kuidas täpseim pendelkell ootamatult kõige muutlikumaks osutus. Astronoomid oleksid heameelega sellest ebamugavast kellast loobunud, kui neil poleks vaja olnud astronoomilist aega maakeelde tõlkida.

Ammu on möödas ajad, millal leidus skeptikuid, kes Maa pöörlemises kahtlesid. Nüüd teavad kõik, et maakera pöörleb lakkamatult ümber oma telje ja teeb seda ideaalse täpsusega. Senini igatahes arvati nii. Iga ta pööre on meile ajamõduks. See ongi ju meie ööpäev.

Maakera eri paikades jälgivad teadlased spetsiaalsetes ajateenistuse jaamades väsimatult Maa liikumist — seda kõige täpsemat looduslikku kella: tegi Maa ühe täispöörde — möödus üks, tegi teise pöörde — möödus teine ööpäev. Nii jälgitakse «taevast kella», mille osutiks on Kuu, numbrilauaks aga tähistaevas. Tõsi küll, see kell on omapärane. Kuni Kuu jõuab ühe korra tähenumbrilaua ringi ära teha, suudab Maa 27 korda ümber oma telje pöörelda. Pealegi ei liigu Kuu mööda ringjoont, vaid palju keerulisemat teed pidi — proovi vaid niisuguse osuti juures täpset aega kindlaks määrata!

Vaat miks kasutatakse Maa «käigu» igapäe-

vaseks mõõtmiseks mehaanilist kella. Kella pendel võngub. Ja selle liikumine on väga ühtlane: võnkus pendel korra edasi-tagasi — möödus sekund, võnkus teise korra — möödus teine. Võnkus 86 400 korda, möödus ööpäev. Maa pöördus ümber oma telje.

Täpseimad kellad observatooriumides «hoiavad», nagu öeldakse, aega. Aga ega see polegi nii lihtne. Tõukest või pörutusest võib pendel hakata pisut kiiremini või aeglasemalt liikuma. Ja siis näitavad ka meie tavalised kellad, mida me observatooriumist antava signaali järgi seame ja kontrollime, ebaõiget aega.

Et seda ei juhtuks, seatakse aega hoidvad kellad üles sügavasse keldrisse, kuhu ei ulatu ükski heli ja kus temperatuur talvel ega suvel isegi mitte poole kraadi võrra ei kõigu. Häirimatus vaikuses ja üksinduses viibivad need tõelised aja valvurid oma maa-aluses elamus.

Nad ei puhka iialgi. Ükskõikselt ja tühimatult loendavad nad päev päeva järel piinliku täpsusega aega, mida Maa ümber oma telje pöördumiseks vajab.

Ja ometi, nagu me teame, nad eksivad. On ju seesama raskusjõud ise, mis pendli liikuma paneb, igal pool maakeral muutlik. Muidugi võivad need õigest käigust kõrvalekaldumised vaevumärgatavad olla, kuid astronoomilistes arvutustes on tähtsad ka tühised suurused. Seepärast püüavad teadlased leiutada niisugust kella, mille käik ei sõltuks igasugustest juhuslikest põhjustest.

Seda õnnestus saavutada, kui teadlased soovitasid loendada mitte pendli, vaid kvartsplaadikese võnkumisi. Kvartsist väljalõigatud plaadikesest läbi juhitud vahelduvvool paneb selle vibreerima. See vibreerimine paistab silma oma suure püsi-

vusega. Tavaliselt toimub niisuguseid võnkeid kuni 60 000 sekundis.

Kvartskella leiutajad ei võinud aimatagi, misuguse üllatuse nad sellega astronoomidele valmistavad. Nad olid väga rõõmsad uue täpse instrumendi üle. Ja maa-alustesse observatooriumidesse paigutati klassikaliste pendelkellade kõrvale nende noored kaasvennad.

Esimesteks, kes märkasid, et ajaga on midagi korrast ära, olid saksa astronoomid Pavell ja Winck. Jälginud kvartskelli Potsdami Geodeesia Instituudis ja võrrelnud nende näituseid Maa liikumisega, avastasid nad, et kellad hakkasid sügisel äkki taha jääma, talveks muutus nende käik normaalseks, kevadel aga hakkasid nad ootamatult ette käima. Suvel, nagu talvelgi, käisid kellad normaalselt.

Tõsi küll, muutused olid tühiselt väikesed. Kuid teadlasi see nähtus erutas. Tavaliselt mõeldakse, et astronome huvitavad ainult kosmilises mastaabis suurused. Tegelikult tuleb neil hoopiski sagedamini pisitillukeste suurustega tegemist teha. Vaat miks saksa astronoomid ei läinud mööda sellest sõna tõsisest mõttes vähemärgatavast faktist.

Teadlased on ettevaatlikud inimesed. Ja nad kahtlustasid vigades enne kõike vaatlusi — käisid ometi pendelkellad sama aja jooksul justkui ühtlaselt. Kuid järgmisel aastal avastati samasugune kapriis Pariisi ajateenistuse kvartskellade juures. Vaevalt küll oli see veel juhus. Aga peagi selgus, et ka Washingtoni ajateenistuse kellad käivad sügisel aeglasemalt, kevadel aga kiiremini.

1950. aastal arutati seda küsimust rahvusvahelisel konstantide-alasel nõupidamisel Pariisis. Inglise astronoom Spencer Johns teatas, et ka Greenwichi observatooriumis, mis on tuntud oma vaat-

luste täpsusega, ei käi kvartskellad sügisel ja kevadel ühtlaselt.

Probleem omandas järjest suurema teravuse. Kvartskelli prooviti kontrollida. Hoolikad uuri- mused näitasid, et «kvartsielektri» ühtlasi vön- keid ei suuda miski rikkuda. Ja ka see fakt, et kõik kvartskellad maakeral omasid täiesti ühesu- guseid kõrvalekaldumisi, veenis, et põhjus peitub väljaspool kelli endid.

Ja siis tulid teadlased üllatavale järeldusele: mitte kellad ei jää taha sügisel ega käi ette keva- del, vaid Maa pöörleb aasta kestel kord kiiremini, kord aeglasemalt, erinedes oma käigult kellade käigust.

Kui uskumatu see ka näib, kuid see on tõesti nii. Praegu on tõestatud, et meie Maa pöörleb eba- ühtlaselt: kõige kiiremini liigub ta augustis, kõige aeglasemalt aga märtsis-aprillis. Tähendab, meie ööpäevad on muutlikud. Sügisel on nad lühemad kui kevadel, ehkki vahe ei ületa sekundi sajan- dikke.

Inimkätega loodud kell osutus täpsemaks loo- duslikust — Maast endast. Maa aga ei ole kau- geltki niisuguseks täpseks «mehhanismiks», mis- sugusena teda varem kujutleti. Selgus, et ta pöör- leb ebaühtlaselt mitte üksnes aasta vältel, vaid ka sajandite kestel. Kunagi ta pöörles kiiremini kui praegu. Seetõttu on ööpäev viimase kahe tuhande aastaga pikenenud peaaegu 0,002 sekundit sajan- dis.

Peale selle juhtub, et mõnedel aastatel Maa kii- rus ootamatult järsku kasvab, teistel aastatel aga kahaneb rohkem kui igal aastal kevadel ja sügi- sel. Need «hüpped» esinevad ebakorrapäraste vaheaegade järel ega allu mingile nähtavale seaduspärasusele.

Kuid te mäletate Newtoni sõnu sellest, et meie maa on sellepärast lapik, et ta pöörleb. Hiljem aga tõestati, et niisuguse kuju nagu praegu, säilitab meie planeet ainult täiesti kindla pöörlemiskiiruse juures. Nii-öelda — normi piirides oleva kiiruse juures viibib lapik ellipsoid püsivas tasakaalus. Teiste sõnadega, kui mingid jõud väljastpoolt, näiteks kosmosest, — lähemad planeedid või Kuu — võtavad nõuks maakera venitada, siis ei muutu ta kuju kauaks. Niipea, kui nad ta «lahti lasevad», võtab maapind, nagu vedru, taas oma endise kuju.

Ent kui pöörlemiskiirus hakkab suurenema, hakkab samuti kesktõukejõud ekvaatoril järjest suurenema. Ta venitab veelgi tugevamini Maad ristisihis — meie planeet surutakse märgatavalt kokku, tema ekvaatoriline raadius aga suureneb.

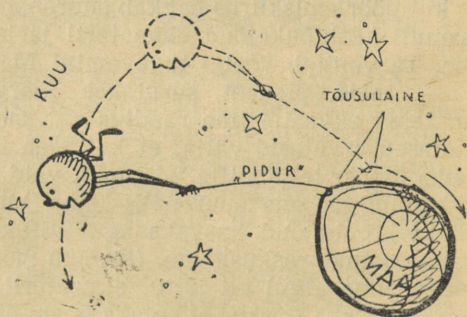
Teadlased arvutasid välja, et kui Maa hakkaks pöörlema ümber telje mitte 24 tunni, vaid 1 tunni ja 25 minutiga, siis suureneks tema kiirus 17 korda, kesktõukejõud kasvaks aga 289-kordseks ja tasakaalustuks raskusjõuga. (Praegu moodustab see, nagu juba algul oli juttu, ekvaatoril täpselt  $\frac{1}{289}$  raskusjõust.) Raskus ei hoiaks enam Maa osakesi kinni ja kõige väiksemast mõjustusest väljastpoolt piisaks, et meie planeet puruneks.

Veel enam, Maa ei suudaks juba pöörlemisperioodi puhul alla 2 tunni ja 39 minuti enam ellipsoidi kuju säilitada. Muidugi on need arvutused ainult puhtteoreetilised ja niisugune katastroofiline kiiruse suurenemine meie planeeti ei ähvarda. Olemasoleva pöörlemisrütmi juures on maakeral tohutu vastupidavuse tagavara. Vaatlustega kindlaks tehtud kiiruse suurenemised on talle täiesti kahjutud.

Aga milleni võib viia pöörete aeglustumine? Kuid enne, kui sellele küsimusele vastata, püüame

välja selgitada, mis Maad pidurdab ja mil määral.

Maa salapärase piduri olemasolu eeldas juba Kant. Ta arvas, et Maad pidurdavad mere tõusud, õigemini, tõusulainete hõõrdumine vastu Maa pinda. Kuid tõsisemalt tegeldi selle uurimisega alles hiljuti. Oma kaalutlusi Maa pidurdamise põhjuste kohta väljendasid mitmesuguste maade ja mitmesuguste erialade teadlased. Ülemaailmse kuulsuse võitsid meie kodumaa uurijate tööd selles valdkonnas — eriti geofüüsiku N. N. Pariiski oma.



Selleks et vastata küsimusele, mis siis nimelt Maad pidurdab, tuli astronoomidel ja geofüüsikutel ajutiselt matemaatikuteks ja mehaanikuteks hakata. Nad asetasid maakera justkui laboratooriumi ja asusid hoolikalt uurima selle hiiglasliku ja keeruka mehhanismi kõigi detailide koostööd, olgugi et selle ehitus lisaks kõigele veel kaugeltki päris selge pole.

Maa uurijad valmistasid mitu erineva maakera mudelit ühes neid ümbritseva atmosfääriga. Need mudelid vaid ei meenutanud tavalisi mehaanilisi mudeleid. Nad olid «ehitatud» paberile tindisu-

lega ja koosnesid numbritulpadest ja reast valemitest. Ja teadlased asusid neid arvusid uurima.

N. N. Pariiski arvab, et planeedi kiirust oleksid suutelised muutma, nii nagu see ettenägematute «hüpete» ajal toimub, ainult miljon meteoriiti kaaluga miljon tonni igaüks, kui nad äkki kõik ühekorruga ekvaatori rajooni langeksid. Või kui mingi erakordse katastroofi tagajärjel umbes poole miljoni ruutkilomeetrise pindalaga ja nelja kilomeetri kõrgune Tiibeti taoline kiltmaa ootamatult merepinna tasemele vajuks. Või kõige halvemal juhul, kui kõik passaadid, mis, nagu teada, alati ekvaatorile puhuvad, äkki oma suunda muudaksid ja õhumassid poolustele ajaksid.

Nagu näete, pole meie planeedi pidurdamine mitte sugugi mikroskoopiline, kui selleks juba nii gigantseid jõude tarvis läheb.

Taalised sündmused ei saa aga loomulikult märkamatuks jääda. Seepärast arvab praegu enamik teadlasi, et Maa pöörlemiskiiruse «ebaseaduspäraste» hüpete põhjus peitub planeedi enda sise-muses.

Nõukogude teadlased on arvamusel, et need häired looduse «kellamehhanismis» võivad olla maa-sügavuses toimuva kivimite ümberkristalliseerumise protsessi järeltuleks. Meie spetsialistid arvutasid välja, et kui taoline protsess toimub umbes 80 kilomeetri sügavuses, siis on küllaldane Maa sisemiste kihtide tihedust ümberkristalliseerumise tulemusena muuta  $\frac{1}{10}$  võrra. Kui see juba tema pöörlemiskiiruses märgatava hüppe esile kutsub.

Kõige huvitavam on, et kivimite tiheduse muutumist, vaatamata sellele, et see tohutus sügavuses toimub, on võimalik Maa pinnal raskusjõu muutumise järgi kindlaks teha.

NSV Liidu Teaduste Akadeemia Maa Füüsika Instituudis viiakse juba raskusjõu niisuguste võnkumiste vaatlusi läbi. Eriti intensiivselt teostati neid vaatlusi rahvusvahelise geofüüsika-aasta kestel. Kui nende vaatluste tulemused on läbi töötatud, võib otsustada, kuivõrd õige see oletus on.

Mis aga kevadistesse ja sügisestesse kiiruse muutustesse puutub, siis, kõige järgi otsustades, pidurdab esimesel juhul Maad, teisel juhul aga tõukab tagant . . . tuul. Needsamad miljardeid tonne kaaluvad õhust «kaalupommid» ongi need, mis Maad tema teljelt ära «nihutavad» ja sunnivad pooluseid rändama. Nad rikuvad kogu maamehhanismi rütmilist töötamist, muutes «koormiseid», mida tema mitmesugustel «detailidel» tuleb kanda.

Kuid kas on siis veel mingi saladuslik, sajandite vältel püsivalt tegutsev pidur?

Kui alustati selle otsimist, langes esimene kahtlus väheuuritud jäämandrile. «Aga võib-olla,» mõtlesid teadlased, «on tõepoolest Antarktis kõiges süüdi?» Kuuenda mandri miljoneid tonne kaaluv jääkilp peab ju maamehhanismile tohutut mõju avaldama. Kui see ära sulaks, tõuseks kõikide ookeanide veepind 50 meetri võrra. Kui aga Antarktise mandrijäästik, vastupidi, kasvama hakkaks? Piisaks, kui see sajandi jooksul kõigest 3,2 meetri võrra kasvaks, kui juba selle lisaraskus õigustaks Maa pikaajalist pidurdamist.

Ometi räägivad praegu kuuendal mandril töötavate teadlaste vaatlused pigem Antarktise mandrijäästiku üldisest sulamisest kui selle kasvamisest.

Praegu ühtivad teadlaste seisukohad selles, et Maad pidurdab tema taevane kaaslane — Kuu, ja meie täht Päike. Nende taevakehade poolt tin-

gitud tõusud liiguvad vastu Maa pöörlemisele ja aeglustavad seda.

Kuid ehkki piduri enda olemus ei ole veel täiesti selge, tegutseb ta juba aastatuhandeid. Ja olgugi et kiiruse kõikumine on iseenesest tühine, on ta sajandite vältel kogunedes ööpäeva pikkust märgatavalt suurendanud.

On välja arvatatud, et ainuüksi arhaikumis meie ööpäev 4 tunni võrra pikenes. See tähendab, et 3 miljardit aastat tagasi tegi Maa pöörde ümber oma telje 20 tunniga, mitte aga 24 tunniga, nagu praegu. Aeglustanud oma käiku, Maa «sirgus» selle aja jooksul umbes 44 kilomeetri võrra.

Teoreetiliselt arutledes võib öelda, et Maa pöörlemise kiirus aeglustub niikaua, kuni tema telje ümber pöördumise aeg muutub algul võrdseks lunaarkuuga. Seejärel aga võrdsustub ta maakera ümber Päikese liikumise kestusega, s. o. aeglustub niikaua, kuni Maa ööpäevad saavad võrdseks aastaga. Seda kinnitavad meile päikesesüsteemi teiste planeetide vaatlused. Nii on Merkuur nähtavasti juba «tasakaalu» perioodi jõudnud: «ööpäev» ja «aasta» vältavad sellel planeedil 88 Maa ööpäeva.

Maa pöörlemisele ja sellega seotud täpse aja kindlaksmääramisele pühendati selsamal rahvusvahelisel astronoomia kongressil, kus pooluste rännakuid arutati, spetsiaalne diskussioon. Viimaste andmete kohaselt lühendab tõusulaine tõepoolest maakera ööpäeva sekundi viiesajandiku osa võrra sajandis. Öhu kaalupomm on aga võimeline esile kutsuma 10 korda suuremaid, kuid perioodilisi muutusi.

Nii seda kui teist mikroskoopilist suurust tuleb täpse aja hoidjatel arvestada. Selleks kasutavad nad praegu uut, veelgi usaldatavamast instru-

menti — aatomi- ja molekulaarkella. Molekulaarkell arvestab aega aatomite võngete järgi ammoniaagi molekulis. Need võnked toimuvad 23870 miljonit korda sekundis. Neid vaadeldakse aga muutuste järgi, mida nad esile kutsuvad ammoniaagi spektris. Aatomikell on «ehitatud» teisiti. Seal määratakse aega kindlaks sageduse järgi, millega elektronid tseesiumi aatomi sisemuses ühelt tasapinnalt teisele hüppavad. «Vaadeldakse» seda samuti spektrogrammi järgi.

Maa aeglasest «pikenemisest» muutub tema juba väljakujunenud kuju. Kuid meie planeet ei ole midagi kõva ega monoliitset ning pidurdub ebahühtlaselt. Esimeses järjekorras pidurdatakse maakoort. Sisemised, sügavad kihid aga jäävad pealmistest veidi maha, liikudes mõni aeg inertsitõttu endise kiirusega.

Edasi: Maa pinna eri punktid pöörlevad erisuguse kiirusega. Kõige kiiremini liiguvad ekvaatoril asuvad punktid — nad liiguvad keskmiselt 28 kilomeetrit minutis. Mida lähemale aga poolustele, seda aeglasem on nende liikumine. Moskva laiusel suudavad nad näiteks minutis edasi liikuda kõigest kilomeetrit 15. Nad ka pidurduvad erinevalt. Seepärast, kui meridiaanid oleksid Maa pinnale kantud kaardi kraadivõrgu taoliselt, kõverduksid nad järk-järgult. Ekvaatori lähedal läheksid need jooned põhjast lõunasse veel otse, kuid põhjapoolkeral painduksid kirdesse, lõunapoolkeral aga — kagusse.

Kuidas siis niisuguse kõvera kraadivõrgu järgi kindlaks määrata Maa täpset kuju? Ja missugust kuju hakkaksid nüüd määrama geodeedid? Tuli ju nüüd isegi maa kolmeteljelise ellipsoidi kujutlusest loobuda. Tegelik Maa osutus kontuuride

poolest veelgi keerulisemaks ja kõige vähem sarnanes korrapärase geomeetrilise kehaga.

Ikka rohkem veendusid teadlased, et meie planeedi kuju on ebakorrapärane ja sõltub sellest, kuidas on Maal raskuselt erinevad massid jaotatud.

## MAAL ON MAA KUJU

Me räägime, et Tšomolungma (Everesti) kõrgus on 8848 meetrit merepinnast. Moskva asub aga merepinnast ainult 120 meetri võrra kõrgemal. Missugust merd on seejuures silmas peetud?

Musta mere veepind on näiteks madalam Balti mere omast. Viimase oma on aga omakorda madalam Valge mere pinnast ja kõrgem Vaiksest ookeanist. Vaikne ookean on jälle kõrgemal Atlandi ookeanist.

Kui rääkida tõsiselt, siis ei asu ka üks ja sama meri alati ühesugusel tasapinnal. Balti merel, Kroonlinnas, on vesi sügisel — vihmade perioodil — alati kõrgem kui talvel või kevadel. Taolisi nähtusi on märgata ka Mustal merel. Siin on suvel vett rohkem kui sügisel. On tähele pandud, et Atlandi ookean on Mehhiko lahe rannikul ida poole kaldu, aga peale selle on needsamad Atlandi ookean ja Vaikne ookean pisut kergitatud põhja poolt ja «voolavad» lõunasse. Ka Balti meri on kaldu, kuid, vastupidi, põhja poole ja tema nivoo on kõrgem lõunarannikul.

Kuidas siis niisugusest ebapüsivast alusest kõrgust lugeda?

Selgub, et kõneldes «kõrgusest merepinnast», pole sugugi silmas peetud ei seda ega teist konkreetset merd, vaid maailmamere teatavat keskmist nivood. Kui täiesti vaikse «keskmise» ookeani

pinda mõtteliselt mandrite alla jätkata, siis see kujutletav pind moodustabki selle nivoo, millest loetakse mis tahes maakera punkti kõrgust.

Vaat siin me jõuamegi geoidi mõisteni.

Kui selgus, et meie Maa ei ole ei kahe- ega ka kolmeteljelise ellipsoidi sarnane, ja sai selgeks, et maakera ei kujuta endast üldsegi mingit korrapärast geomeetrilist keha, tuli välja mõelda ebakorrapärase kühmulise Maa mõõtmise mingi uus viis.

Kuid kõigepealt tuli välja selgitada see, kas planeedi pinnaks lugeda maad või vett? Maad ennast polegi siin kuigi palju. Veest väljaulatuv maismaa võtab enda alla ainult neljandiku üldpinnast. Aga kui palju ta üle ookeani taseme ulatub? Isegi kõige kõrgemad mäed on tühisteks liivaterakesteks tohutu planeedi palgel. Keskmiselt on mandrid ookeanist kõrgemal kõigest maa raadiuse tuhandiku osa võrra. Ookeanid ja mered aga moodustavad üksteisega ühinenult peaaegu katkematu sileda pinna.

See viiski mõttele, et Maad võib esimeses lähen-duses ette kujutada ainult ookeanidest koosnevana. Keskmise ookeani pind, mis Maad endaga justkui ümbritseks, nimetatigi geoidiks.

See sõna on teadlaste poolt eriliselt Maa kuju väljendamiseks välja mõeldud. Selle pani ette tuntud saksa füüsik ja astronoom J. Listing. Mingisugust geomeetrilist tähendust tal ei ole. Sõna-sõnalt tähendab ta keha, mis on Maa sarnane. See-pärast, kui te palute nimetada mingit geoiditaolist geomeetrilist kuju, kuulete vastuseks, et geometrias ei ole niisugust olemas. Kõige rohkem sarnaneb temaga üksnes meie Maa, mis kujutab endast väga keeruliste kontuuridega ebakorrapä-rast keha.

Ainsaks «tugevaks» tunnuseks, millega geoidi saab iseloomustada, on see, et raskusjõu suund mis tahes tema punktis peab olema tema pinnaga risti. See on kõik, mis geoidist on teada.

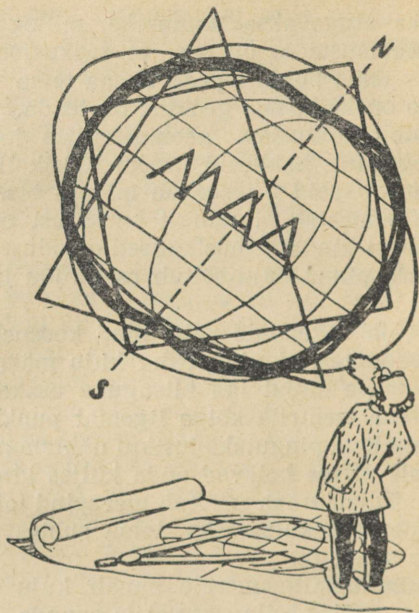
Me juba kohtusime geomeetriliste joonte ja punktidega, mis hakkasid järsku füüsikalisi omadusi evima. Geoid — see on midagi otse vastupidist. Geomeetriaga mingit sarnasust omamata on tal täiesti kindlad füüsikalised omadused: tema kujutletava pinna kuju sõltub raskusjõu jaotusest temal.

Merede ja ookeanide vaba pind koosneb liikuvatest veosakestest ning tema kuju määrab raskusjõud, mille mõjul iga niisugune osake püüab hõivata Maa tsentrile kõige ligemat punkti. Maa külgetõmbejõud pingutaks justkui nähtamatuid niidikesi, mis meres hoiavad enda küljes kinni veepiisakesi. Tulemusena muutub merepind mis tahes punktis perpendikulaarseks tema suhtes mõjuva raskusjõu suunaga.

Kui juba maailmamerele annab kuju raskusjõud, siis, mõõtes selle suurust ja suunda, on võimalik kindlaks teha tema pinna kuju, sellega aga ka meie planeedi peaaegu täpset kuju. Nii lülitus Maa kuju uurimisse veel üks teadus — gravimeetria, mis mõõdab raskusjõudu Maal.

Algul paistis, et geoidi kindlaksmääramine polegi nii keeruline. Tarvitseb vaid leida seadus, millele alludes raskusjõud jagatakse ära geoidi pinnale.

Praegu ei kahtle enam keegi selles, et ühtede ja samade esemete kaal võib Maa eri kohtades erineda. Kõik teadsid, et raskusjõud on kõige suurem poolusel, ja et mida lähemale ekvaatorile, seda väiksemaks ta jääb. Kui õnnestuks kindlaks teha, kui palju see koos laiuse muutumisega muu-



tub, siis võiks raskusjõu maakera eri punktides otse tema koordinaatide järgi välja arvutada ja geoidi kaju osutub ilma vaevata leituks.

Kuid ootamatult tulid ilmsiks küllaltki imelikud asjaolud.

Paistab, nagu langeks geoid meredel veepinnaga ühte, mandritel jätkudes aga siirduks kuskile nende sisemusse. Igale juhul pidi nii käituma teoreetiline geoid. Kuid teadlasi varitses järjekordne üllatus.

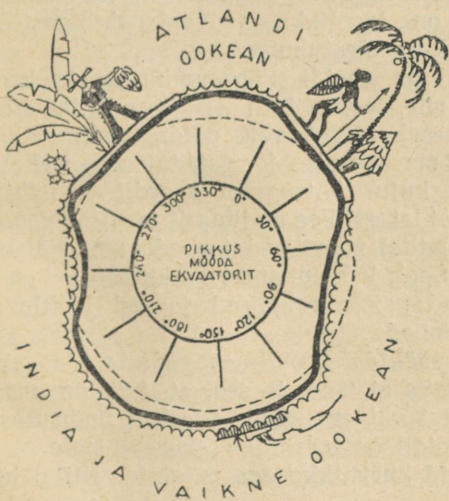
Möötnud Moskva ümbruses suure täpsusega raskusjõudu, avastasid vene gravimetristid, et kogu

linna alt, alates Kremlist ja edasi kuni Zamoskvo-  
retšjeni, kulgeb mingisugune väga kerge riba.  
Selle uurimisega hakkasid tegelema tuntuimad  
teadlased.

Vaatamata alanud maailmasõjale sõitis tuntud  
astronoom P. K. Sternberg ise Podolskisse, Kijo-  
vosse, Uzkojesse ja teistesse Moskva lähedastesse  
paikadesse, mis salapärase tühjusega ristsihis löi-  
kuvad, raskusjõudu mõõtma. Need uurimused kin-  
nitasid, et Moskva ümbruses on raskusjõud mär-  
gatavalt väiksem harilikust: Kolomenskoje küla  
kaudu kulges läänest itta mingi mõistetamatult  
kerge riba. Tuli välja, et «tasasel» geoidil asub  
sel kohal küllaltki suur nõgu.

Niisama ebaühtlaseks osutus raskusjõud ka teiste,  
kõige ootamatumates kohtades.

Nüüd on kindlaks tehtud, et Maal on kaks suurt  
geoidi kõrgendikku ja kaks niisama suurt mada-



likku. Euroopa ja Vaikse ookeani kohal tõuseb geoid «künkana» üles, India ja Ameerika lebavad aga «nõos».

Kui maakera ekvaatorit mööda lahti lõigata ja tema profiili vaadata, siis selgub, et Lääne-Euroopas kooldub geoid väikeseks kühmuks, mis järkjärgult alaneb, umbes Moskva meridiaanist alates sukeldub geoidi pind aga 140 meetri võrra alla. See nõgu kulgeb läbi kogu Siberi kuni Irkutskini. Edasi ida poole hakkab geoid uuesti kõrgenema ja 180. meridiaanil keset Vaikset ookeani saavutab järjekordne «küngas» peaaegu 100-meetrise kõrguse. Põhja-Ameerika läänerranniku lähedal on jälle 75-meetrine «nõgu», siis aga 125 meetrini tõusev «küngas», pärast seda taas alanemine.

Niisugused tõusud ja langused justkui võotaksid maakera nähtamatute lainetena. Pisut väiksemad lained kulgevad aga pooluste vahel. «Tasane» geoid on tegelikkuses üleni «küngastest» ja «nõgudest» ülestuhnitud.

Nüüd on geoidi kõrgendike kohta koostatud kaart, mis, loomulikult, on väga ligikaudne.

Esimesel pilgul võib näida imelikuna, kuidas ometi õnnestus üles joonistada seda, millel ei ole kindlat kuju? Niisugusel kaardil te nähtamatut geoidi ei leiagi. See on lihtsalt tavaline poolkerade kaart, millel värvilised jooned kummaliselt looklevad. Seal, kus punane riba kulgeb — on geoidi «künkad», kus rohelised jooned looklevad — tema «nõod».

Kui rääkida geoidi «nõgudest» ja «kühmudest», siis ei tähenda see, et jutt on maapinna mägedest või orgudest. Moskva ümbruses, seal, kus geoidil on märgatav «korts», pole ei küllalt sügavaid kuristikke ega mägesid. Nii põhja- kui

lõunasuunas kulgeb siin täiesti sile tasandik. Need «nõod» ja «künkad» on niisama nähtamatud nagu geoid isegi. Ja kui vaid õnnestuks Moskva tasandikku kanali abil ookeaniga ühendada, siis veenivoo Moskva all oleks madalam kui temast põhja ja lõuna pool. Vaat need kujutletavad veekünkad ja -lohud ongi geoidi lained.

Tegeliku geoidi kuju osutus niisiis väga keeruliseks.

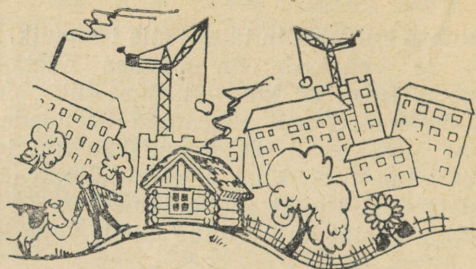
Millega seda seletada?

Maakoore ja maa sügavuste keerulise ehitusega. Asi seisab selles, et Maa sisemus on väga ebahütlane. Tema sügavustes leidub niihästi raskeid kui ka kergeid kihte. Maakoore, selle all asuv kest ja tuumik on erineva tihedusega ja tõmbavad, järelikult, erinevalt ookeani vee osakesi enda poole.

Asi poleks veel nii hull, kui maakera sisemuses asuvad kihid asetuksid enam-vähem ühtlaselt — oletame, et iga kiht oleks ühesuguse paksusega ja asuks Maa tsentrist võrdsel kaugusel. Kuid tegelikult on maakoore kohati õhuke, kohati aga kujukuvad ta massid tohutute, raskete tompudena. Raskete ja kergete masside jaotus Maa sisemuses mõjutabki geoidi kuju.

Kohates mingi uue nähtusega püüavad teadlased avastada seadust, millele see allub. Loomulik, et ka siin näis ahvatlevana leida mingi reegel, millele alludes jaotuvad erineva tihedusega massid Maa sisemuses ja tema pinnal.

Algul arvati, et maasiseste kihtide ehitus peab kuidagi vastama peamistele ebahütlustele maa-pinna ehituses. Iseenesest tekkis järeldus, et kontinentide rasked tombud tasakaalustatakse kergemate kivimitega maakera sisemuses, ookeani kerge vesi aga tema põhja all laiuvate raskete kihtidega.



Näis, et ainult nii võibki maakera üldine tasakaal püsida.

Kuigi vaatlused kinnitasid ka, et niisugune seos on tegelikult olemas, ei avaldu see aga kaugeltki mitte kõikjal. Raske kontinentaalne India, näiteks, või mitte vähem kergem Pamiir, Indoneesia, Kaukasus, Uraal ei paikne hoopiski mitte «kergemal alusel».

Eksimatu ennustamine, kus võib geoidi ülestõusu või alanemist oodata, on seepärast seotud suurte raskustega. Enam-vähem õnnestub see mägistete ja üldse väga ebatasaste maastike puhul. Mäed kutsuvad peaaegu alati esile pikkuselt väikesi, kuid küllaltki sügavaid raskuse laineid. Kaukasuse mäeahelik näiteks moodustab geoidi pinnal 30-meetrise «kühmu».

Niisamasuguseid laineid, nagu mäe kõrval tema liigse raskuse puhul, kuid ainult harjaga alaspidi, tekib ka sügavate nõgude rajoonis, kus täheldatakse maamasside puudujääki. Baikali järv — umbes 600 kilomeetrit pikk kitsas, sügav «lõhe» — moodustab peaaegu niisama suure raskuse laine nagu hiiglaslik Kaukasuse mäeahelik. Seepärast võime öelda, et tugevasti liigestatud maastikurajoonides sõltub raskusjõud tõepoolest oma suuremas osas pinnareljeefist.

Kuid kuidas siis ära arvata, kus paiknevad geoidi «kühnud» ja «nööd», mis tekivad täiesti siledates ühetasastes kohtades ega avaldu väliselt, nagu näiteks Moskva all? Reljeefil ei ole siin ju sisemiste masside ehitusega nähtavat seost.

Aidata võivad ainult nende lainete vahetud mõõtmised kogu Maa pinnal. Selleks et luua kas või umbkaudsetki ettekujutust geoidist, saada kõige üldisemates joontes teada tema kuju, on vaja läbi viia kümneid ja sadu tuhandeid kaalumisi!

Geodeetide ette kerkisid täiesti uued ülesanded. Selgus, et ebakorrapärast geoidi ei ole võimalik välja arvutada. Teda on võimalik vaid praktiliselt mõõta, käies läbi kogu maakera. Ja geodeetid asusid niisuguste mõõtmiste kallale, varustudes mitte ainult «joonlaua», vaid seekord ka «kaalupommiga».

## MÖÖDA NÄHTAMATU OOKEANI LAINEID

Viimased raskusjõu vaatlused Moskva ümbruskonnas viis astronoom P. K. Sternberg läbi 4. novembril 1917. aastal — otse Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooni eelõhtul. Aga mõne päeva pärast juhtis Moskva ülikooli teeneline astronoomia professor ja observatooriumi direktor, kes, nagu näis, kogu oma elu jooksul ainult taevastest asjadest huvitus, juba suurtükitud.

Rahulik observatoorium Presnjäl osutus tööliste relvalaoks, revolutsionäär aga, kes juba 1905. aasta revolutsiooni ajal kuulsaks sai ja parteiliste hüüdnimede «Kuu», «Eros», «Vladimir Nikolajevitš» all tuntud on — auväärseks hallijuukseliseks astronoomiks P. K. Sternbergiks, partei liikmeks 1905. aastast alates.

Revolutsioon ja seejärel kodusõda katkestasid raskusjõu Moskva anomaalia uurimise, mida ta nii edukalt läbi viis. Kuid need vaatlused, mis sooritati sõjaliste lahingute hoos, panid aluse gravimeetritelistele töödele kogu maa ulatuses. Geodeesia tagasihoidlikust, kõrvalist osa täitvast abilisest, milleks gravimeetria oli Sternbergi aegadel, tõusis ta geodeetiliste uurimiste peamiseks suunaks, millele praegu kuulub otsustav sõna planeedi tõelise kju kindlaksmääramisel. See on teadus, mis sündis meie maal pärast Oktoobrit.

Saja aasta kestel, mil Venemaal üksikuid gravimeetrilisi vaatlusi läbi viidi, määrati raskusjõud kindlaks kõigest 400 punktis. Pärast 1920. aastat muutus uurimuste tempo järsult. Ühed teadlased siirdusid raskusjõudu mõõtma Uraali, teised uurisid keskrajoone. Leningradi Astronoomia Instituudi ekspeditsioon teostas mõõtmisi Volgamaal, Bakuu ümbruses. Poltaava gravimeetiline observatoorium «kaalus» Ukrainat.

1932. aastaks oli meie maal läbi mõõdetud üle kahe tuhande punkti. Kuid need paiknesid väga ebaühtlaselt. Paaegu riigi kogu Euroopa-osa ja kogu Siber olid neist uurimustest hõlmamata. Seejärel kuulutas Töö ja Kaitse Nõukogu, et sellest aastast alates algab kogu maa plaanipärane gravimeetiline mõõdistamine. Seisis ees mõnede viis-aastakute jooksul 22 000 mõõtmise läbiviimine.

«Kaalupõmmi» ülesannet täitis tavaline pendel — seesama pendel, millega Richer aega mõõtis ja mis kunagi andis Newtonile põhjust avalikust arvamisest hoolimata kinnitada, et Maa on poolustelt lapikuks litsutud.

Rännul Pariisist Cayenne'i Richer kord pikendas, kord lühendas teda, püüdes võngete arvu püsivana säilitada. Nüüd aga pendli varda pikkust

ei muudetud, vaid loendati, mitu korda ta uude kohta üleviiduna võnkeid rohkem teeb.

Sekundiliseks või poolesekundiliseks oli ta ainult mingis ühes punktis, näiteks ekvaatoril. Ja ta tegi seal ööpäevas 86 400 võnget. Kui pendel keskmistele laiustele üle viidi, hakkas ta kiiremini võnkuma. Tehes kindlaks lisavõngete arvu, määrati kindlaks, kui palju raskusjõud siin suurem on kui ekvaatoril. Kui juba pendel kiiremini võngub, siis tähendab see, et teda tõukab suurem jõud.

Löökide loendamiseks valmistati pendlile spetsiaalne loendaja. Kuid viia läbi mõõtmisi pika traadi otsa riputatud raskete keradega, nagu seda olid Newtoni-aegsed pendlid, oli ebamugav, ning pika niidi otsas rippuvast kerast muutus ta madalaks stabiilseks instrumendiks.

Algul tehti pendlid vasest, siis ilmusid nende asemele pronksist ja invarist, erilisest peaaegu mittepaisuvast sulamist valmistatud pendlid. Praegu valmistatakse neid järjest sagedamini kvartsist. Võnkumise aega loetakse aga tavaliselt kronomeetrilt.

On olemas mitukümmend erinevat tüüpi niisugust instrumenti. Meie maal kasutatakse kõige sagedamini seda, mis on konstrueeritud Sternbergi-nimelises Astronoomia Instituudis, täpsemateks vaatlusteks aga rakendatakse kvartsist pendlit, mis on konstrueeritud Geodeesia, Aero-fotomöödistamise ja Kartograafia Teadusliku Uurimise Keskinstituudi poolt.

Et ülesannet veelgi lihtsustada, ei mõõdetata raskusjõudu iga kord uuesti, vaid määratakse kindlaks ainult tema suuruse vahe antud punkti ja selle punkti vahel, mille kohta see on hästi teada.

Pendlid määravad raskusjõu nõutavat suurust

kuni miljondiku täpsusega. Kuid nad on väga õrnad instrumendid, kõige väiksem põrutus või tühine temperatuuri muutus rikub nende käigu.

Peale selle tuleb mõnes punktis pendli abil raskusjõu mõõtmiseks kulutada palju aega, teinekord isegi mitu päeva. Seepärast hakati viimasel 15—20 aastal nende asemel kasutama raskusjõu mõõtmiseks spetsiaalseid riistu — gravimeetreid.

Gravimeetrid meenutavad tavalisi vedrukaalusid. Nendes kaalutakse samuti ära mingi kindel koormus, näiteks väike «kuulike» elavhõbedat. Kuid selle kaalu ei tasakaalustata mitte kaalupommi, vaid mingi elastsuse jõuga — vedruga, pinguletõmmatud niidi või kindlaksmääratud mahus gaasiga.

Tasakaalustanud koormuse kontrollpunktis, viiakse gravimeeter teise linna, kus raskusjõud on teistsugune. Koormuse kaal on seal vastavalt suurem või väiksem. Niipea kui koormus muutub, oletame, raskemaks, venitab ta tugevamini vedru või keerutab niiti, mis otsekohe mõõteskaalal näha on. Kõik teised põhjused, mis võivad rikkuda nende ülitäpsete vedrukaalude tasakaalu, kõrvaldatakse hoolikalt: gravimeeter paigutatakse termostaati, suletakse hermeetiliselt, isoleeritakse võimalikest magnetilistest mõjustustest.

Gravimeetrilise mõõdistamise alguses oli meie maal üldse ainult 20 pendelinstrumenti. Nüüd aga varustavad vastavad tehased geodeete mitmesugust tüüpi pendlite ja gravimeetritega. Kvartsiiniidiga gravimeetri konstrueerimise eest omistati S. Poddubnõile ja N. Semjonovile 1948. aastal Stalini preemia. Preemiaga on hinnatud ka G. Lukavtšenko juhtimisel grupi nõukogude gravimetristide poolt konstrueeritud vedrugravimeeter.

Tänu niivõrd erinevatele «kaalupommidele» ja «kuulikestele», osutusid tohutu suured avarused esmakordselt geodeetide võimualusteks. Nad võisid lõpuks maismaa «lapikestelt», millel nad siiani olid tammunud, astuda sammu edasi ka planeedi ülejäänud ja seni uurimata kolmele neljandikule. Tõsi küll, selleks tuli «kaalupommi» täiustada, et ta tunneks end kindlana ka ookeani õõtsuval pinnal.

Esmakordselt mõõtis raskusjõudu merel hollandi teadlane Vening-Meynes. 1923. aastal võttis ta osa gravimeetrilisest mõõdistamisest oma maa territooriumil. Soises Hollandis oli raske leida pendli jaoks püsivat tuge. See panigi teda mõtlema võimaluse üle konstrueerida instrument, mis ei kardaks õõtsumist.

Katseid raskusjõu määramiseks merel tehti ka varem. Erilise instrumendi — hüpsotermomeetri abil võib vaatluste kohas mõõta keeva vee auru temperatuuri, selle järgi aga teada saada õhurõhku. Kui rõhk on normaalne, keeb ju vesi teatavasti 100° C juures. Ja on ju täiesti lihtne samaaegselt õhurõhku tavalise — elavhõbebaromeetri järgi kindlaks määrata. Suurused saadakse erinevad, sest et elavhõbedasambale mõjub peale õhurõhu veel raskusjõud, hüpsotermomeeter näitab aga «puhast», takistusteta õhurõhku. Võrreldes mõlema instrumendi näituseid, võib teada saada, kui suur on vaatluskohal raskusjõud.

Kuid selleks, et saada vajalikke tulemusi, oleks tulnud keeva vee auru temperatuuri mõõta sajatuhandiku kraadi täpsusega, rõhku baromeetri järgi aga — kuni kümnetuhandiku millimeetri täpsusega, mis praktiliselt on teostamatu.

Professor Vening-Meynes toimis teisiti. Ta kasutas selleks tavalist pendlit, ainult mitte ühte, vaid

korraga kahte vastupidises suunas võnkuvat pendlit. Selleks et pendli liikumisi lugeda, kinnitatakse talle tavaliselt külge peegel ja jälgitakse seda toru kaudu või siis püütakse peegelduva valguskiire kujutis filmilindile.

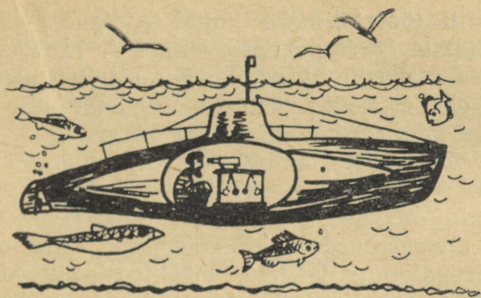
Vening-Meynes pani ette suunata see kujutis algul samale statiivile riputatud teise pendli peeglile ja alles siis ta kinni püüda. Juhuslikud mükstud hävitavad seejuures vastastikku üksteist ja registreerituks osutub mingi ideaalse pendli liikumine, mis nagu kõrvalisi kõikumisi ei tunnekski.

... 1923. aasta sügisel lahkusid Hollandi rannikult kolm allveelaeva ja suundusid periskoopide välgatledes ulgumerele. Nende teekond kulges läbi Gibraltari, Vahemere, Suessi ja India ookeani Jaava saarele. Ühel laeval asus professor Vening-Meynes oma aparaadiga.

Mitte juhuslikult ei valitud allveelaeva. Avamerel takistavad lained vaatlusi, aga tarvitseb vaid sukelduda 20 — 30 meetri sügavusse ja iga sugune lainetus lakkab.

Allveelaeva teekond kulges peamiselt mööda troopikat. Laeva sisemuses püsis hirmus kuumus, riided ja pesu ei kuivanud ära niiskusest läbiimbunud õhus. Isegi filmide ilmutamiseks mõeldud vesi läks nii soojaks, et seda oli võimatu kasutada. Merepinnale tõusti väga harva. Ekspeditsiooni marsruut läbis tugevate ja sagedaste taifuunide rajooni ja meremehed püüdsid vältida võitlust märatsevate lainetega. Teadlasele näis, et ekspeditsioon on ära eksinud põhjatusse sinasse helesinise taeva ja sinise mere vahel.

Kahe aasta pärast võeti ette uus allveeteekond jällegi Jaavale, kuid seekord Panama kanali ja Vaikse ookeani kaudu. Professor Vening-Meynes



läbis mõne aastaga Atlandi ja Vaikse ookeani, sooritas meresõidu piki Ameerika idarannikut, möötis läbi Mehhiko lahe, Kariibi-, Vahe- ja Punase mere, tegi üle 500 raskusjõu mõõtmise.

Palju tundlikuma kaksikpendli konstrueeris nõukogude teadlane L. V. Sorokin, kes möötis samadel aastatel raskusjõudu Mustal merel. Ta tegi mõõtmisi 72 punktis, seejärel läks aga üle Vaiksele ookeanile ja viis läbi veel 170 vaatlust Ohhoota ja Jaapani merel.

Jälõhkuja «Sadko» esimese polaarreisi ajal läbi Põhja-Jäämere määras nõukogude professor I. D. Žongolovitš raskusjõu kindlaks Franz-Josephi maast kuni Severnaja Zemljani: selle tulemusena kanti Arktika peaaegu tühjale gravimeetrilisele kaardile ühekorraga 80 uut punkti.

Vapra papaaninlaste neliku — esimese nõukogude triiviva vaatlusjaama «Põhjapoolus 1» kollektiivi uurimused andsid lisaks neile veel 20 punkti. Raske, ligi 70 kilogrammi kaaluv instrument tuli asendada kergema riistaga, mis spetsiaalselt valmistati kõrglaiuste ekspeditsiooni jaoks Leningradi Astronoomia Instituudis. Uus aparaat kaalus üldse umbes 7 kilogrammi. Noor

teaduslik töötaja, nüüd tuntud teadlane, Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige J. K. Fjodorov määras raskusjõu kindlaks kogu triivi ulatuses. Need olid esimesed rünnakud tundmatuisse arktilistesse avarustesse, mis nüüd on gravimeetristide poolt sõna tõsisel mõttes risti ja pikuti läbi mõõdetud.

Vening-Meynesi topelipendel oli üles seatud ka USA allveelaevadele «Barracuda», «Argonaut», «Medregal» ja teistele, mis teostasid vaatlusi Kariibi merel, Vaiksel ookeanil ja Austraalia piirkonnas. Vahemere mõõtsid läbi prantslased ja itaallased. Taanlased uurisid läbi Põhjamere ranniku, jaapanlased — ookeani oma saarte läheduses.

Ja sellele vaatamata kujutab maakera gravimeetiline kaardistus endast väga ebahõltsat võrku. Meie maa territooriumil ei ületa punktide vahemaa, kus raskusjõudu on mõõdetud, reeglina 30 kilomeetrit. Paljudes rajoonides on see isegi 10 kilomeetrit ja väiksem. Lääne-Euroopas on mõõtmiste võrk niisama tihe. Aga Tsentraal-Aasias, Kesk- ja Lõuna-Aafrikas, Austraalias ja suuremas osas Lõuna-Ameerikas moodustavad tohutud, mitu miljonit ruutkilomeetrit suured alad gravimeetrilistel kaartidel peaaegu täiesti «valged laigud». Lõuna-Jäämeri ja Antarktis olid kuni hilise ajani täiesti läbi uurimata.

Selleks et luua enam-vähem ühtlast gravimeetrilist võrku kogu maakera ulatuses, on vajalik kõigi kontinentide teadlaste koostöö. Vaat miks võeti niisugused uurimused rahvusvahelise geofüüsika-aasta programmi.

Praegu töötab raskusjõu uurimisel kogu planeedil tohtu hulk spetsiaalseid gravimeetriaajamu. Nende panus saab selgemaks, kui ette kujutada,

et ainult ühes rahvusvahelistest keskustest, kus gravimeetriliste vaatluste tulemusi kokku kogutakse, oodatakse nii rikkalikke uute andmete saamist, et need vaevu 90 köitesse, igaüks 500 lehekülge paks, ära mahuvad. Aga selleks, et jäädvustada gravimeetriliste vaatluste materjale mikrofilmidele, vajab niisugune keskus üle 100 kilomeetri filmilinti.

## GEOID MIINUS ELLIPSOID

Nii ei õnnestunudki geodeetidel ellipsoidist täiesti vabaneda. Ja vaat miks.

Oletame, et raskusjõud on juba ära mõõdetud kogu maakera pinnal, ja nii tihedalt, nagu vaja. Nüüd võime tõmmata raskusjõu leitud suundadele ristpinna, s. o. saada lõpuks, ehkki küll mitte selle, mida me eeldasime — sileda, vaid kühmulise, kuid ometi kõige tõepärasema geoidi.

Võime küll. Kuid seejuures me saame teada ainult tema pinna kuju. Aga vahemaad, mis geoidi pinda Maa tsentrist lahutab (s. o. tema suurust), ei suuda meile gravimeetria anda . . .

Täppisteadus, võimaldades Maa kuju mõnemeetrilise täpsusega välja arvutada, osutus ise äkki olevaks ennustaja olukorras, kelle ennustuste tulemuste eest on raske vastutada.

Tuli uuesti meenutada ellipsoidi. Geoidi laineline pind tõuseb kohati üle ellipsoidi, kohati aga laskub sellest allapoole. Arvutades kraadiarssina abil välja maaellipsoidi mõõtmed, geodeedid justkui lahutavad ta seejärel geoidist, s. o. leiavad ta liigsed ja puuduvad osad. Seda maaellipsoidi nimetatigi «referentsellipsoidiks», mis tähendab «ellipsoidi», millega võrreldakse.

Geoidi kuju uurimine viiski niisiis vahe kind-

lakstegemiseni tema kühmulise pinna ja tasase ellipsoidi vahel.

Kuid geoid — see on ju Maa tegelikule kujule ainult ligilähedane. Maa tegelik, füüsiline pind asub, nagu me teame, mõningal määral kõrgemal tema kohal. Seepärast on geoidi kõrguse leidmine üle ellipsoidi ainult pool ülesannet. Nüüd tuleb välja arvutada, kui palju geoid ise Maa tegelikust pinnast kõrvale kaldub.

Ja olgugi et mõiste «geoid» tarvituselevõtuga muutus maakera kuju kindlakstegemine keerulisemaks, sest et teadlastel, kes selle probleemiga tegelevad, tuleb kasutada niihästi «kraadiarssinat» kui ka «kaalupommi», jõudis meie ettekujutus oma planeedist tõe le hoopis lähemale kui varem.

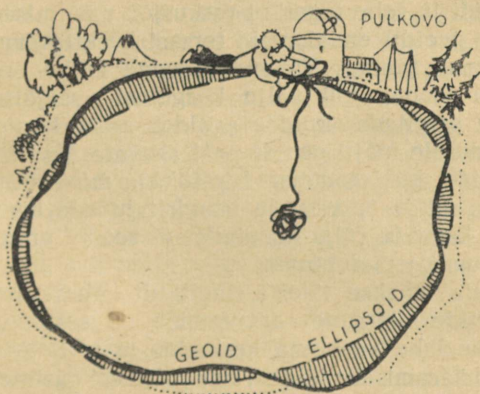
Kuidas siis seda kahekordset lahutamist läbi viiakse?

Pärast seda, kui ellipsoidi mõõtmed on küllaldase täpsusega välja arvutatud, on vaja ta nõutaval viisil kohale paigutada, Maa kehasse üles seada. Peavad ju Maa pind ja geoidi pind üksteisele küllaldaselt lähedal asuma.

Selleks märgitakse Maa pinnal ära mingi punkt ja lepatakse kokku, et siin ellipsoid maapinda puudutab. Meil valitakse selleks tavaliselt Pulkovo, kus asub Teaduste Akadeemia Astronoomia Peaobservatoorium. Siis võtab ellipsoid Maa suhtes täiesti kindlaksmääratud asendi: tema polaarne telg ja ekvaatori tasapind on Maa pöörlemistelje ja maakera ekvaatoriga paralleelsed. Kuid ellipsoidi tšenter asub Maa tsentrist kuskil kõrval.

On selge, et ühtede ja samade mõõtmetega, kuid kahes eri linnas, näiteks üks Pulkovos ja teine Taškendis orienteeritud kaks referentsellipsoidi võtavad Maa suhtes täiesti erineva asendi. See-

pärast, kui öeldakse, et geoid ühes või teises kohas ellipsoidist nii ja nii palju eemaldub, tuleb mitte üksnes näidata, missugusest ellipsoidist — Krassovski, Besseli või Haydorfi omast, vaid ka seda, missuguses punktis see ellipsoid on orienteeritud.



NSV Liidu territooriumil eemaldub geoid Pulkovo järgi orienteeritud Krassovski ellipsoidist keskmiselt 20 meetrit, kohati aga 50 ja isegi 80 meetrit. See on täiesti lubatav vahe. Piisab, kui öelda, et vana Besseli ellipsoid läks Habarovskis geoidi pinnast lahku 370 meetri võrra, Kaug-Ida ranniku piirkonnas aga tervelt 400 meetri võrra.

Niisiis on ellipsoid lõpuks ometi üles seatud. Nüüd tuleb mängu gravimeetria. Pendlite ja vedrukelladega varustatud gravimetristid saadetakse maakera eri nurkadesse raskusjõudu mõõtma.

Õigupoolest ei huvita neid raskusjõud ise, vaid selle ebakorrapärasused, kui palju ta lahku läheb sellest, mis, nagu nad väljendavad, peab vastama

«normaalsele» Maa seisule. Raskusjõu suurust «normaalsel», sileda merepinnaga ühtelangeval geoidil võib teoreetiliselt valemite järgi välja arvutada. Nüüd oleks vaja seda tegelikult mõõdetud raskusjõuga võrrelda. Kuid siitsamast algavadki uued raskused.

Viidi ju selle tegeliku raskusjõu mõõtmised läbi mitte geoidil endal, vaid temast kuskil kõrgemal, maismaa pinnal. Tähendab, enne kõike on vaja teada saada, kui palju kõrgemal, seejärel aga välja selgitada, kuidas avaldas saadud mõõtmistulemusele mõju geoidi peal asuvate Maa liigsete masside külgetõmme. Lisatükki, mis külgetõmbava «niidi» pikkusele mandril juurde lisatakse, võib katsuda välja arvutada — see ju ongi meie kõrgus üle merepinna.

Seda tehakse täiesti tinglikult. Meil on kõigi punktide kõrguse arvutamise aluseks võetud Soome lahe veepinna keskmine tase. Selle kindlaksmääramiseks jälgiti, kui palju eri aastatel peel (veeseisunäitaja) tõuseb. Kroonlinna peelist loevadki nõukogude geodeedid kõrgust üle merepinna. Teistes maades kasutatakse teiste merede nivoosid.

Nii tuleb geodeetide arvutustes ilmsiks esimene parandus ja esimene viga — lõivumaksmine ligikaudsuse eest.

Agas kuidas kindlaks teha, kas geoidi kohal lamavad rasked või kerged kivimid, kui me ei tea, mis kivimid need on? Geodeetidel tuleb välja arvutada keskmise tihedusega kivimite kaal ja mõõdetud raskusjõust nende kivimite poolt arendatav keskmine külgetõmme maha arvata. Kas pole huvitav, et niisugune parandus osutub samuti ligikaudseks?

Kuid see pole veel kõik. Mida kaugemale, seda

rohkem ja rohkem niisuguseid parandusi tuleb. Kõikvõimalikud oletused, keskmised, ligikaudsed suurused kuhjavad valemid uute liikmetega üle, komplitseerivad ja teevad arvutused keeruliseks. Ja nendest vabaneda pole võimalik.

On hästi, kui te raskusjõu tasasel maastikul mõõtsite. Aga kui niisuguseid vaatlusi teostatakse näiteks Kaukasuse mäestikis? Siis tuleb tingimata välja arvutada see liigne külgetõmme, mille tingib mäestikumassiiv.

Proovige mäge ära kaaluda. See ülesanne käiks ka muinasjutuhiiglasele üle jõu. Gravimetristid aga lähenevad oma tillukeste «kaaludega» julgelt pilvedetagusele gigandile ja leiavad väga keeruliste ning, loomulikult jällegi ligikaudsete arvutuste abil, kui palju mägi merepinnal raskusjõudu moonutab.

Ja alles nüüd on lõpuks võimalik ideaalse ja tegeliku geoidi pinnal mõjuva raskusjõu vahet teada saada. Geoidi kuju kindlaksmääramiseks on niisiis vaja küllaldast hulka gravimeetrilisi mõõtmisi.

Kuid isegi siis, kui maailma gravimeetriline mõõdistamine lõpule viiakse, saame me vaid geoidi pinna ligilähedase kuju teada. Ebatäpsused, nagu juba juttu oli, tekivad peamiselt sellest, et meile on teadmata maapõue ehitus ja, järelikult, tiheduste paiknemine meie planeedi sisemuses. Need vead on eriti märgatavad mägistes rajoonides. Nad moonutavad tugevasti maapinna kaarti.

Missuguseid kavalusi küll teadlased pole kasutanud, et vältida takistusi, mis geoidi kaasaegsetes tingimustes täpselt kindlaks määrata ei lasel!

Kord taheti uut geoidi tõmmata läbi maismaa kõige kõrgema punkti nii, et kõik mandrid, mis

varem Listingi geoidist väljapoole jäid, oleksid jäänud sissepoole. Kuid see päästis asja vähe. Kõrguste asemel üle merepinna oleks nüüd mõõta tulnud sügavusi uue geoidi nivoost allapoole. Ülejäänud osas oleks aga kõik jäänud endiseks — ikkagi ei oleks ka sellel geoidil võimalik olnud raskusjõudu vahetult mõõta.

Pandi ette ka teine variant: kujutleda kõiki liigseid, üle geoidi pinna ulatuvaid mandrimasse kui tema sisemusse kummuli pööratud. Siis oleksid kõik Maa pinnal läbiviidud raskusjõu mõõtmised nii-öelda «õhku rippuma jäänud» ja see pärast tuleb üle mere-geoidi pinna mõõta ainult üht kõrgust. Selle kõrguse aga välja arvutanud, võib ette kujutada, nagu oleksid mõõtmised läbi viidud vahetult geoidil, kummulipööratud liigsete masside suurus aga liita Maa tiheduselt ebaühtlaste sisemiste kihtide ülejääkide või puudujääkidega, mis samuti, nagu teada, sileda geoidi kuju moonutavad. Niisuguse «parandatud» geoidi kuju sõltuks niisiis ainult temasse suletud maamasside ehitusest.

Ent ka need mõõtmisviisid nõudsid Maa sise-ehituse tundmist. Ja teoreetikud-geodeedid asusid Maa kuju leidmiseks põhimõtteliselt uue viisi otsimisele. Oli vaja vabaneda vajadusest teada maasügavustes asetsevate kivimite tihedust.

Rohkem kui kümme aastat tagasi lahendas selle väga keerulise matemaatilise ülesande meie kaasmaalane M. S. Molodenski. Praegusel ajal on tal nii Nõukogude Liidus kui ka välismaal palju järgijaid. Nõukogude Liidus juurdus Molodenski teooria geodeetilisse praktikasse.

Meie geodeedid ei püüa enam geoidi ega Maa pinna punktide kõrgust üle geoidi kindlaks määrata. Vahendajana kasutatakse sel korral teist,

abipinda, mida nimetatakse *quasi*-geoidiks, s. o. peaaegu geoidiks.

Kui rääkida täpselt, siis mingit *quasi*-geoidi tegelikkuses ei eksisteeri, nagu ei ole tegelikult olemas ei geograafilisi pooluseid ega kraadivõrku. Nii see kui teine on tinglikud, s. t. on olemas vaid teadlaste kujutluses puhtmatemaatiliselt tuletatud joonte või kujunditena. Ja matemaatiliselt just õnnestuski ellipsoidi ja maa pinna vahele «tõmmata» veel üks kujutletav kontuurilt geoidile väga lähedane pind.

Arvutused näitavad, et *quasi*-geoid eemaldub Listingi geoidist nii ühele kui teisele poole mitte rohkem kui 2 või 3 meetri võrra. Ja seda ainult mägisel maastikul, tasandikul vaid vaevalt 2—3 sentimeetri võrra. Meredel langevad nad aga täiesti ühte.

Erinedes oma kujult ehtsast geoidist nii vähe, ei ole tema kunstlikul kaasvennal peamist puudust, mis Maa kuju kindlaksmääramisel komistuskiviks sai: ta ei sõltu meie planeeti moodustavate kivimite tihedusest.

Niisiis on *quasi*-geoidi abil võimalik Maa kuju kindlaks määrata üksnes kraadi- ja gravimeetri-liste mõõtmiste järgi, sõltumata sellest, missugune on Maa sisemine ehitus.

Kaugus Maa pinnast ellipsoidini on ka sel juhul kahte ossa jagatud. Nagu varemgi, eraldatakse oma kontuurilt väga keerukast Maast kõige korrapäratum välimine osa, millest annavad ettekujutuse kõrgused üle *quasi*-geoidi. Teine, ülejäänud osa — on võrreldamatult tasasem. Selle üle võib otsustada, määrates juba täiesti sileda ellipsoidi kohal kindlaks *quasi*-geoidi kõrguse.

Kuid erinevalt vanast meetodist võib neid mõlemaid osi väga täpselt välja arvutada. Nüüd ole-

neb ju arvutuste täpsus ainult mõõtmiste õigsusest ja tulemusele ei avalda mõju meie teadmised maa-  
kera «sisikonnast».

Maamassiivi ehitusest sõltuv geoid muutis Maa osade, nii väliste, temast kõrgemale ulatuvate, kui ka sisemiste, ellipsoidi poolt hõlmatud osade, kõrguse mõõtmise pigemini geoloogiliseks ülesandeks, millel puudub täpne lahendus. *Quasi-geoid* võimaldab seda aga puht matemaatilisele, kergesti saavutatavale lahendusele taandada.

Sellest hoolimata ei anna uus viis, või õigemini, uus, M. S. Molodenski töödega rajatud teadus — geodeetiline gravimeetria —, võimalust ilma «kaalupommi» osavõtuta toime tulla. Maa kuju uurimiseks vajatakse endiselt maailma gravimeetrist mõõdistamist.

### «MAGNETVÕTI»

Sellega, et geodeetide poolt leiutatud geoid, vaevalt sündinuna sõna ei kuulunud ega end Maal sinna ei laotanud, kuhu talle koht kätte näidati, teadlased juba leppisid. Loodus ei mänginud neile niisuguseid vingerpüsse mitte esimest korda. Ja suundudes meresõidule mööda geoidi korrapäratuid laineid, püstitasid nad endale ainult ühe eesmärgi: esialgu needained kas või kõige üldisemates joontes ära mõõta.

Kuid ikka sagedamini ja sagedamini kerkis nende ette küsimus: kas nad ongi nii korrapäratud? Võib-olla peitub siiski mingi kord selles suurte ja väikeste raskuste kaoses?

Kas on näiteks juhuslik, et geoidi mõlemad suured harjad ookeanidele, mõlemad nõod aga mandritele vastavad? Kui ka ookeanide põhjad

uurimistele võeti, selgus, et need koosnevad kõikjal rasketest basaltidest. Mandrid koosnevad kergematest graniitidest. Vahe jõus, millega basaldid ja graniidid kehasid külge tõmbavad, on küllalt tunduv.

Tuli välja, et maakooses on kaks piirkonda, kuhu on keskendunud geoidi kõrgendeid moodustavad rasked massid, ja kaks rajooni, kuhu on grupeerunud geoidi madaldumist esile kutsuvad kontinentide vähemrasked massid.

Niisugusel juhul aitab tõenäoliselt teadus, mis uurib mandrite ja ookeanide tekkimist maakeral, lahti šifreerida küsimust, miks geoid kooldub nimelt nii ja mitte teisiti.

Vaatlused aga toovad juurde uusi hämmastavaid avastusi. Ilmnes, et Maa magnetism on niisama ebaühtlane nagu tema pinnale mõjuv raskusjõud. Kõige ootamatumates kohtades osutus Maa tugevamini magnetiseerituks kui naabruses. Ühed niisugustest magnetilistest kondensatsioonidest kulgevad kõigest mõne kilomeetri ulatuses, teised hõlmavad sageli terveid mandreid.

Nõukogude magnetoloog V. P. Potštarjov juhtis tähelepanu sellele, et need magnetilised lained just nagu jooksevad meridiaanist meridiaanini mähkudes ümber maakera. Igal juhul on nii paigutatud kõige suuremad lained. Kuid just nendes samadesse kohtadesse on mööda Maa pinda jaotatud ka geoidi peamised lained. Gravitatsioonilained ja magnetilised kondensatsioonid ning lüngad osutusid justkui üksteisesse asetatuks, nii nagu kahe rihvelpleki tüki kokkupandud lainelised pinnad.

Selgus, et kergemad mandrid on raskest ookeanipõhjast ka nõrgemini magnetiseeritud. Euroopas lamab näiteks geoidi nõos ainult Skandinaa-

via poolsaar. Kuid just siin, Skandinaavias, on maakera nõrgemini magnetiseeritud kui Euroopa kõigel ülejäänud territooriumil.

Üks geoidi «kühmudest» paikneb Lõuna-Aafrika kohal. Aafrika põhjaosa hõlmab aga «nõgu». Ja Aafrika mandri põhjaosa on vastavalt ka nõrgemini magnetiseeritud. Kaspia-äärsel tasandikul läheb geoid alla ja tõuseb üles alles Vaikse ookeani rannikul. Ja kuulekalt «laskub» siin skaalat mööda alla ka magnetomeetri osuti. Niisama tihedalt koos asetsevad magnetilised ja gravitatsioonilised ebatasasused Põhja- ja Kesk-Ameerikas.

Lõunapoolkeral langes Austraaliasse kuuluv gravitatsiooniline magnetilise kondensatsiooniga ühte. Aga Arktikast raskem Antarktis on ka märksa tugevamini magnetiseeritud.

Kust niisugused magnetilised kondensatsioonid tulevad? Sellele küsimusele ei suuda kaasaegne teadus veel täpset vastust anda. Tal lihtsalt puuduvad veel paljud andmed. Magnetiline ookeanise avastati ju alles võrdlemisi hiljuti. Selle olemasolu reetis kõigile hästituntud magnetnõel, sirutudes alati magnetiliste pooluste suunas lõunast põhja. Seesama nõel saigi Maa magnetismi esimeks mõõtjaks.

Tavalise kompassiga ühendati lugemisskaala ja hakati magnetnõela võnkumisi ja temale mõjuvate jõudude suurust igas punktis mõõtma. Kui aga niisugusele magnetomeetrile kinnitati «sulg» ja paberilint, hakkas ta paljude tundide ja päevade kestel magnetnõela liikumist ja muutusi tema asendis mööda Maa pinda edasisiirdumise puhul üles kirjutama. Magnetograafide poolt maakera eri nurkades joonistatud loogelised kõverad jutus-

tasid teadlastele magnetilise ookeani ligikaudsest ehitusest.

Paistab, nagu poleks midagi lihtsamat: mõõta magnetiline ookean risti ja pikuti ära ning määrata kindlaks kõik tema ebaühtlused. Kuid selleks peavad arvukad spetsiaalsed ekspeditsioonid maa-keral lõunast põhja ja läänest itta läbi käima. Iga 20—25 kilomeetri järel peatus: vaja mõõteriistad üles seada, need hoolikalt välja reguleerida, teostada mõõtmine — ja uuesti teele asuda.

Niisugust tihedat ja ühtlast mõõdistamist ei ole kerge isegi ühel maal läbi viia. Aga kogu maa-keral? Kuidas rajada magnetimarsruuti Brasiilia troopilistes põlismetsades, elaniketa Sahaara liivas, ookeani ääretutel avarustel?

Vaat miks on teadlastele maamagnetismist veel väga vähe teada. Enam-vähem on ta läbi uuritud vaid meie riigi territooriumil, Lääne-Euroopas, Ameerika Ühendriikides ja Jaapanis. Aga tervetel hiiglaslikel mandritel — Aafrikas, Lõuna-Ameerikas — on magnetiliste mõõtmiste võrk veel väga hõre. Niisuguse hõreda mõõtmistevõrgu järgi on endale nähtamatu magnetilise ookeani sügavustest ja madalikest raske ettekujutust luua.

V. P. Potštarjov, avastanud geoidi ja maamagnetismi vahel salapärase seose, arvab, et kõik tema ebaühtlused tekivad Maa pealiskihis — maakoos. Magnetiliste omaduste kandjaks on needsamad massid, mis moodustavad maa raskuse. Kas nad on rasked või kerged, sõltub sellest, kui suur on nende tihedus. Aga see, kas nad on magnetiseeritud nõrgemini või tugevamini — sõltub nende võimest magnetiseeruda, või, nagu ütlevad spetsialistid, nende vastuvõtlikkusest magnetismile.

Need omadused ei lange mitte alati ühte, mis-

pärast gravitatsiooni- ja magnetilised kondensatsioonid ei «asetse üksteises» mitte igal pool. Kuid just tihedamad basaldid magnetiseeruvad sadu kordi tugevamini kui vähemtihedad graniidid. Seepärast osutuvadki graniidist mandrid nõrgemateks magnetiteks kui ookeani basaltpõhi. Aga seepärast, et geoidi harjad on nähtavasti basaltide, nõod aga graniitide poolt moodustatud, nad langevadki magnetiliste lainetega ühte.

Teisel tuntud magnetoloogil professor J. D. Kalininil on teistsugune veendumus. Pole sugugi vajalik, et magnetilised kondensatsioonid oleksid moodustatud tugevasti magnetiseeritud kivimite poolt. Niisama edukalt võivad nad olla tekkinud ka Maa massiivis toimunud mingite protsesside tulemusena: näiteks elektrilaengute ümberpaiknemisest — muutub ju elektrivooluga käivitav elektrijuht ka magnetiks.

Ja vaat kui kõik see, mis nendest magneti ebaühtlustest juba teada on, matemaatiliste valemita keelde ümber panna, siis selgub, et nende põhjuseks pole hoopiski mitte mitmesuguste omadustega kivimite see- või teistsugune jaotus maakoos, vaid midagi märksa sügavamal toimuvat. J. D. Kalinin nimetas isegi sügavuse umbes kuskil maa raadiuse keskkohas, kus toimuvad saladuslikud elektrilised protsessid.

Missugune neist hüpoteesidest kinnituse leiab, on praegu raske öelda. Kuid võib-olla saab just maamagnetism aja jooksul selleks võtmeks, millega õnnestub avada maasügavuste salaurkad, mis hoiavad geoidi ebatasasuste saladust. Esialgu aitas magnetvõti avastada, et geoid ei jää mitte kogu ajaks üheks ja samaks.

Selgub, et magnetilised lained jääksid geoidi lainetest aja jooksul just nagu maha ja ühtelange-

mised ei tule enam nii täpsed välja. Seda huvitava nähtust uurivad magnetoloogid tulid järeldusele, et nii võib olla sel juhul, kui eeldada, et geoidi lained nihkudes liiguvad läände. Nähtavasti tähendab see, et Maa sisemuses toimub mingi masside ümberpaiknemine.

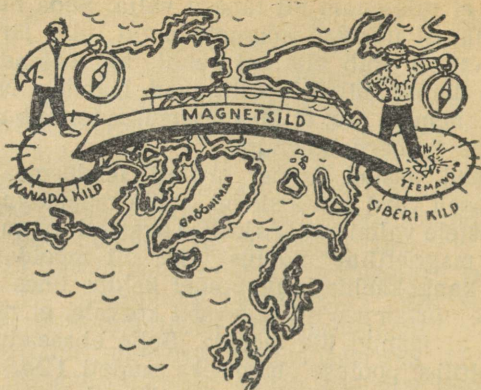
Mõned aastad tagasi arutati teadusmaailmas laialdaselt teist sensatsiooni, mida maamagnetism teadlastele valmistas. Arktikas avastati, nagu näis, teine magnetiline poolus. See oli mõeldamatu. Kuid kangekaelne magnetnõel kaldus ühes kõrglaiuste piirkonnas nii tugevasti kõrvale, et midagi muud ei jäänud üle mõelda. Selle ebaseadusliku magnetilise pooluse otsimiseks saadeti 1948. aastal välja nõukogude polaaruurijaist koosnev ekspeditsioon.

Mingit lisapoolust ekspeditsioon ei avastanud. Selle asemel tehti huvitavaim geograafiline avastus: veealune mäeahelik ookeani «lamedal» põhjal! Aga Uus-Siberi saarte rajoonis, kus teise pooluse olemasolu eeldati, täheldati kolossaalset magnetilist anomaaliat, millele tugevuselt võrdselt ei esine kuskil maakeral. Magnetilised meridiaanid, mitte ühte koondatud, nagu see päris poolusel peab olema, kulgevad siin kitsa tiheda kimbuna läbi Jäämere. Ja see saladuslik magnetsild kulgeb just üle veealuse Lomonossovi mäeaheliku harja.

Milles peitub selle põhjus?

Täpset vastust ei ole veel leitud. Kuid juba täheldatakse imepäraste seoste ja avastuste uut ahelat magnetiliselt pooluselt kuni Jakuutia teemantideni. Ja jälle selgus, et siiagi, kuigi kaudselt, on segatud Maa kuju.

Teatud mõttes on põhjapoolkeral olemas siiski kaks magnetilist poolust, räägib nõukogude uurija J. J. Hakkel. Saab ju Maa magnetilist jõudu



mööta kahes suunas — horisontaalses ja vertikaalses. Ja vaat kui käsitada ainult tema vertikaalset komponenti, siis selgub, et kõige suurema väärtuse saavutab ta mitte magnetilisel poolusel, nagu oleks võinud oodata, vaid saladusliku magnetsilla otstes — Kanada ja Siberi kristallkilpidel.

Kanada ja Siberi kilbid on kõige huvitavamateks geoloogilisteks keskusteks, ainulaadsed omas liigis kogu maakeral. Need on maismaa kõige liidsemad osad, maakoore moodustumise niinimetatud «tuumad». Kilpide keskkohas, mida kunagi ei ole üle ujutanud mered, lõhkes kunagi maakoore, siit hargnesid igasse külge kiirtena laiall praod ja murded.

Tuhandemeetriste pragude ämblikuvõrk laienes kaugele kilpide endi piiride taha, muutes Maa palge tundmatuseni: seal, kus kulgevad murrete kiired, pressib välja lõõmavat magmat; jõed, kohates oma teel lõhanguid, põlkavad kõrvale, pragude servad kägarduvad mäekurdudeks, meri aga

tungib pragusid mööda kaugele kontinentide sügavusse.

Nendes keskustes tekkisid võimsad mandripankade liikumised, arenesid koletud pinged, kohutav temperatuur, kolossaalne rõhk. Ja just talumatus kuumuses ning tohutu rõhu all sündisid magmast sädelevad teemandid.

On selge, et Kanada ja Siberi kilbid olid tsentriteks, kust niisugune kolossaalne energia läbi murdis, mille järelkaja me vaatleme nüüd magnetnõela meeletlikes võnkumistes ja kõige kõvemate ning kallimate kivide kaevandustes.

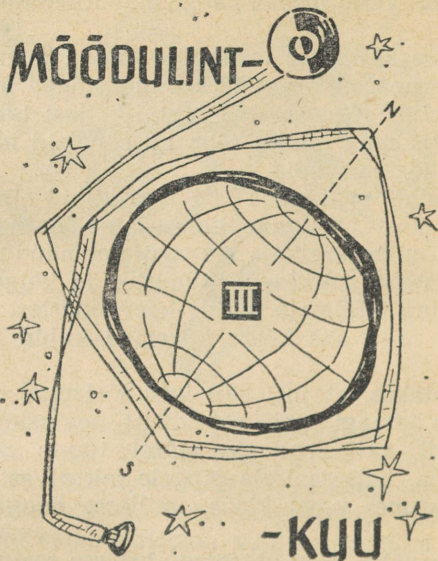
Kuid miks siis kõige kõvemad kilbid purunesid?

Oletatakse, et just siin kuskil sirutas end sirgemaks kunagi oma pöörlemist aeglustav Maa. Planeedi väljasirutamise järel tõusis maakoor küüru ja kolossaalsele pingele mitte vastu pidades, purunes nagu klaas, millesse hooga visati kivi.

Nagu näha, pole ühtsesse ahelasse seotud mitte üksnes Maa magnetism ja meie planeedi poolt arendatav raskusjõud, vaid ka mäetekke, kivimite moodustamise protsessid.

Ja kas ei räägi mitte iga uus avastus naaberteaduse valdkondades sellest, et geoidi saladuste mõistatamist tuleb taotleda koos magnetoloogide, geofüüsikute, geoloogide, geokeemikute ja teiste eriteadlastega, kes uurivad selle elu eri külgi, mida elab meie planeet? Kannab ju Maa paleendal selle tormilise ja mitte veel lõpuni lahendatud elutegevuse jälgi.

Küsimus Maa kujust muutus üha keerulisemaks. Tugevnes idee, et üksnes maapealsete mõõtmistega selle lahenduseni ei jõuta. Aga mis siis, kui proovida Maad «kaaluda» kosmosest?



## KUU «KAPRIISID»

Kirjades sõpradele kurtis Newton sageli, et Kuu põhjustab talle oma muutliku liikumisega palju ebameeldivusi.

Tõepoolest, ükski meie planeet ega tema kaaslane ei liigu nii korrapäratult kui see taevakeha, mis on väga tundlik Maa külgetõmbejõus toimivatele kõige väiksematele muutustele. Kuid just see viiski mõttele kasutada Kuud «kaalupomina». Oleks ju väga ahvatlev loobuda tuhandete kulukate ekspeditsioonide varustamisest ja

nende laialisaatmisest meie planeedi eri kohtadesse ning mõõta selle asemel Maad observatooriumist väljumata.

Kuu on meile kõige lähem taevakeha. Ta asub meist kõigest 60 Maa raadiuse kaugusel, kus Maa külgetõmme on veel küllalt tugev. Tänu sellele külgetõmbele liigubki Kuu nagu köidikus pisut väljavenitatud ellipsit mööda ümber maakera läänest itta, nihkudes tunnis umbes poole kraadi võrra edasi.

Kuu liigub palju kiiremini kui teised planeedid, seepärast on tema liikumist kerge jälgida. Pealegi muutuvad seejuures ka tema nähtavad kontuurid. Ta ilmub nähtavale kitsa sirbina, mis iga päevaga muutub laiemaks, kuni lõpuks moodustab täiesti ümmarguse ketta. See tähendab, et Kuu asub nüüd Maa taga — just vastu Päikest, mis valgustab meie poole pööratud Kuu pinna osa.

Seejärel hakkab kuuketas kahanema ja kõik kordub vastupidises järjekorras. Selleks ajaks, kui meie kaaslane satub Maa ja Päikese vahele, kaob ta, olles pöördunud meie poole oma valgustamata küljega.

Iga tema ilmumise ja kadumise vahel jõuab Maa end 30 korda oma teljel ümber pöörata. See ajavahemik ongi kuu — meie kalendri põhialus.

Kuid kui küsitleda astronoomi, siis selgub, et nad teavad oma tublit viit erinevat kuud. Ja kõiki neid arvestatakse Kuu heitliku liikumise järgi.

Esimene kuu — see on ajavahemik, mille jooksul Kuu jõuab tagasi samasse asendisse Päikese suhtes. Teda nimetatakse veel lunaar- ehk sünoodiliseks kuuks ja ta kestus on 29,5 ööpäeva.

Aga kui välja arvestada, kui pika aja pärast jõuab Kuu tagasi samade tähtede keskele, siis selgub, et selleks kulub tal 27 ööpäeva. See kuu,

mille vältel Kuu sooritab ringi ümber Maa, nimetati täheliseks ehk sideeriliseks kuuks.

Kuid kõige lähemale Maale — perigeesse — ilmub Kuu alati veidi pärast tähelise kuu lõppu. Ajavahemikku, mille möödudes Kuu uuesti jõuab Maale kõige lähemale — s. o. ajavahemikku kahe järjestikuse perigee vahel — nimetavad astronoomid anomaalseks kuuks. Ta on umbes poole päeva võrra pikem tähelisest kuust.

Lõpuks lõikub Kuu tee kaks korda iga kalendrikuu jooksul ekliptikaga — selle teega taevavõlvil, mida mööda rändab tähtede keskel Päike. Kuid ajavahemik ekliptika kahe lõikumise vahel Kuu teega, loetuna ühes ja samas suunas — neid lõikepunkte nimetatakse Kuu orbiidi sõlmedeks — osutub tähelisest kuust pikemaks. Nii loodi kujutlus veel ühest kuust, mis nimetati «tagasipöördumiseks piki laiust». See vältab pisut üle 27 päeva.

Kuude loetelu võiks veelgi jätkata. Kuid meid huvitab teine asjaolu: kust võetakse rohkearvulised lunaarkuud? Neid Kuu hilinemisi ja ettejäudmisi võib seletada ainult tema liikumiskii-ruse muutumistega. Aeg-ajalt ta nagu peatuks kuskil, osa teest aga läbib kiiremini kui tavaliselt, otsekui seda õgvendades. Tuleb välja, et tema tee ei ole hoopiski mitte täpne ellips, nagu seda algul kujutleti. Mis siis kõverdab Kuu teed?

Selgub, et need on meie naabrite — teiste planeetide tembud. Kui Kuu jõuab neile kõige lähemale, hakkavad nad teda tugevamini külge tõmbama ja kallutavad õigelt orbiidilt kõrvale, sundides teda tegema väikest ringi. Kõige suurem süüdlane selles on Päike.

Naaberplaneedid — need asuvad Kuust ikkagi küllalt kaugel ja neil ei jätku jõudu tema tee nimetamisväärseks muutmiseks. Aga võimas Päike talitab Kuuga täiesti oma heaksarvamise järgi.

Kui Kuu läheneb Päikesele, võib viimane juba ainult kolme päevaga meie kaaslane õigelt orbiidilt tuhande kilomeetri võrra kõrvale tirida. Maalt aga näib meile, et meie kaaslane «kargas» 4 nurgasekundi võrra oma teelt kõrvale. Et aga Jupiter niisama palju kallutaks kõrvale talle lähenevat Saturni, oleks vaja kolm aastat või isegi rohkem.

Peamised häired Kuu liikumises kutsub Päike esile. See on tema, kes peab kinni kuu orbiidi «sõlmed», sundides neid justkui taganema, ja tõukab edasi perigee punkti, mis seetõttu Kuud «ennetab». Peale selle surub Päike pidevalt kokku ja muljub laperguseks Kuu orbiidi ning teeb selles veel terve hulga suuri ja väikesi muudatusi.

Kuu tee uurimine taevavõlvil — see on peaaegu astronoomia üks kõige raskemaid ülesandeid. Arvukate häirete otsingutega Kuu orbiidis on tegelnud sajad teadlased ja seda mitte ainult ühe sajandi kestel. Ja peaaegu iga aasta töö uusil tõendeid Maa kaaslane heitlikkusest.

Euler ütles, et kõigi Kuu õigelt teelt kõrvalekaldumiste kindlakstegemine on ülesanne, mis ületab inimhõimuse võimed. Praegu võivad aga astronoomid sellega hoobelda, et see ülesanne on nende poolt peaaegu lõplikult lahendatud. Newtonile oli teada 7 «häiret» Kuu orbiidis. Ameerika kuu-uuriija Brown loetles neid möödunud sajandi lõpus juba 751. Kaasaegsed Kuu asendit taevas kindlaksmääravad valemid sisaldavad

aga veelgi rohkem niisuguste kõrvalekaldumiste suurust väljendavaid liikmeid.

Kuu tee on läbi uuritud hämmastava täpsusega. Piisab, kui öelda, et tal ei õnnestu kõrvale kalduda isegi mitte 200 meetrit, ilma et see astronoomidele teada ei oleks.

Palju raskemaks osutus kõigi nende kõrvalekaldumiste seletamine. Kord tekkis isegi aramus, kas Kuu liikumine on tingitud üksnes üldisest gravitatsioonist?

Suurimadki matemaatikud, kes Newtoni õpetust edasi arendasid, hakkasid algul selle seaduse universaalsuses kahtlema. Võib-olla et need korrapäratud Kuu liikumises, mille põhjust leida ei õnnestunud, räägivadki just sellest, et taevakehade vahel eksisteerib mitte üksnes vastastikune külgetõmbejõud, vaid veel mingid meile tundmatud jõud?

Newtoni üldine gravitatsioon, välja kannatanud juba sündimisel võitluse oma olemasolu õiguse eest, asetati uuesti löögi alla. Peterburi Teaduste Akadeemia — üks kõige nooremaid Euroopa akadeemiaid — kuulutas välja preemia põhjendatud vastuse eest küsimusele: «Kas kõik need ebavõrdsused, mida Kuu liikumises täheldatakse, on njuutonliku teooriaga kooskõlas ja missugune peab olema kõigi nende ebavõrdsuste tõeline teooria, et selle järgi oleks võimalik Kuu asukohta mis tahes ajal suure täpsusega kindlaks määrata?»

Konkurss äratas suurt tähelepanu. Võitjaks osutusid ise Newtoni arutluste õigsuse kohta kahtlust külvanud prantsuse matemaatikud. Kogu asi seisab selles, et Kuu liikumine on palju keerulisem, kui seda mõeldi neil aegadel, mil rajati õpetus üldisest gravitatsioonist. Nii avastati Kuu

liikumises veel üks korrapäratust, vari aga, mis Newtoni paljukannatanud teooriale langes, hajutati lõplikult.

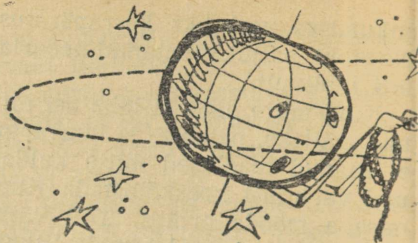
Kuid mitte alati ei lähe asi nii lihtsalt. Võrrelnud, näiteks, päikese- ja kuuvarjutuste daatumeid, ei saanud teadlased mitte kuidagi ammu toimunud varjutusi kooskõlastada Kuu praeguse liikumisega mööda orbiiti. Tuli välja, et Kuu oleks varem justkui aeglasemalt liikunud. Nii otsustati alguses, et ta oma jooksu järjest kiirendab. Kuid millest see on tingitud?

Eeldati, et süüdi on ikkagi Päike. Surudes kokku Kuu orbiiti, lühendab ta Kuu teed, ja lühema ellipsi jookseb Kuu kiiremini läbi. Kümneid aastaid peeti seda seletust õigeks. Kuid kui katsuti kontrollida, kui palju kiiremini siis Päike Kuu liikuma paneb, selgus, et meie taevakeha ergutab teda ainult 6 sekundi võrra aastas. Vaatlused aga näitasid, et ta iga aastaga läbib tee 10 sekundi võrra kiiremini kui varem. Kust tulid need ülejäänud 4 sekundit — mis tähendab kõrvalekaldumist tervelt 8 kilomeetri võrra?

Ja alles siis, kui avastati, et Maa ise nüüd veidi aeglasemalt pöörleb, sai selgeks, et Kuu kiirustamine on ainult näiline. Piisab meie ööpäeva pikemisest 100 aasta jooksul 0,001 sekundi võrra, et meile näiks, nagu käiks Kuu aastas 4 sekundit ette — mahub ju tähelelisse kuusse pikenevaid ööpäevi vähem, seepärast ta lühemana näibki.

Nii avastati, et mitte üksnes Päikese «iseloome», vaid ka Maa omapärane «olemus» annab end Kuu teele küllalt tugevasti tunda.

Ja pole midagi imestada. Olgugi et Päikese mass Maa omaga võrreldes on tohutult — 330 000 korda — suurem, asub ta Kuust 400 korda kaugemal kui Maa. Ja just niisugusest lähedusest tin-



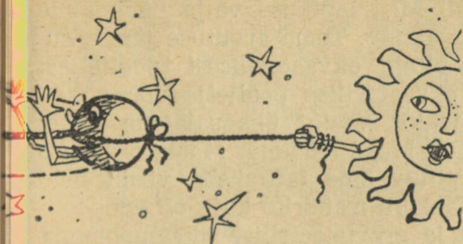
gitult peavad Kuu teele mõju avaldama mitte üksnes muutused Maa pöörlemise kiiruses, vaid ka kõik Maa kuju iseärasused, mis on esile kutsutud ebakorrapärasustest teda moodustavate masside ehituses. Nende poolt Kuu liikumises tekitatud «häireid» nimetataksegi «Maa kujust tulenevateks liikmeteks».

Iga 27 päeva pärast — üks kord tähelise kuu vältel — muutub Kuu laius mõne sekundi võrra. Selle põhjuseks on Maa lapikus, sest kui Maa on pööratud Kuu poole oma lameda poolusega, on ka tema külgetõmme nõrgem kui siis, mil ta tema vastu on pööratud kumera ekvaatoriga. Ja olgugi et külgetõmbejõud seejuures ainult  $\frac{1}{1\,000\,000}$  võrra väheneb, on Kuu tee märgatavalt moonutatud.

Üks kord iga  $18\frac{1}{2}$  aasta järel sunnib Maa oma kaaslast tervelt 7 sekundi võrra muutma oma geograafilist pikkust.

Need perioodilised õigest teest kõrvalekaldu-mised ongi kuulsateks «Maa kujust tulenevateks liikmeteks». Tähistanud igaühe neist kindla matemaatilise sümboliga, asetatakse nad kogukasse võrrandisse, mille järgi teadlased välja arvutavad, kus järgneval kuul Kuu taevavõlvil on.

Teades aga, kui palju ja kuidas muutub Maa



lapikuse tagajärjel Kuu orbiit, saame kindlaks teha maa lapikuse enda. Siin on võimalikud mitmesugused viisid.

Kogunedes sajandite jooksul, muudavad alalised hüpped kuu orbiiti niipalju, et meie kaaslane hakkab Maale kõige lähemale tulema hoopiski mitte selles kohas, kus varem, ning lõikuma Päikese nähtava teega uutes punktides. Nende (sekulaarsete) Kuu orbiidi perigee ja sõlmede kohamuutmiste järgi saab kindlaks teha, kui palju maakera on lapikuks liitsutud.

Kuid need sajandilised «häired» kuu orbiidis «kogunevad» ju ebameeldivalt kaua. Seepärast neid geodeetide poolt praktiliselt ei kasutata, kuigi möödunud sajandil Maa lapikus sekulaarsete «häirete» abil küllalt täpselt kindlaks määrati. See moodustas  $\frac{1}{294}$ .

Niisama ebamugav on Maa kuju kindlaksmääramiseks ka Kuu geograafilise pikkuse muutusi kasutada. Ei nõustuks ju keegi selleks, et valemisse üht väikest arvu juurde lisada, peaaegu 19 aastat ootama. Palju sagedamini kasutatakse ekvaatorilise ja polaarse pooltelje pikkuse väljaarvutamiseks kõrvalekaldumist geograafilises laiuses, mida võib jälgida iga kuu. Kõige täpsemalt

arvutas sel viisil Maa lapikuse välja nõukogude astronoom K. L. Bajev. Tema arvutuse järgi osutus polaarne pooltelg ekvaatorilisest poolteljest lühemaks  $\frac{1}{296}$  ekvaatorilise pooltelje võrra.

Geodeetidel tekkis veelgi üks salajane mõte: kuidas panna Kuu Maad mõõtma. Maakera igasse kolkasse sisse piiluv öine taevakeha viiski neid uuele ideele. Maakera mandrite kuju on geodeetilise «joonlaua» ja gravimeetrilise «kaalupommi» abil küllalt hoolikalt läbi uuritud. Aga meredega on lugu halvem. Siin on praktiliselt teostatavad ainult gravimeetrilised mõõtmised.

Kuid võib-olla leidub siiski niisugune «mõõdulint», millega saaks võtada tohutu ookeani ulatuse?

Mitte väga ammu tulid teadlased järeldusele, et selleks võib saada Kuu.

Ja siiski, miks nimelt KUU?

## JOONISTATUD KILOMEETRID

Uhel varahommikul 1528. aastal sõitis mööda Suurt Põhjateed Pariisist välja kaless, milles istus François II õukonna arst Jean Fernel. Kuid ta ei rutanud mitte haige juurde. Ja kohvrikeses, mida ta käes hoidis, ei olnud mitte meditsiinilised, vaid astronoomilised instrumendid. Noor arst harastas astronoomiat.

Aeg-ajalt palus ta kutsarit peatuda ja mõõtis Päikese kõrgust. Fernel kavatses määrata meridiaani kraadipikkust Pariisist põhja pool, et seejärel uuesti välja arvutada Maa mõõtmed. Kolme päeva pärast jõudis ta lõpuks väikesesse linnakesse Amiens'i. Tema instrument näitas, et Päike seisab siin keskpäeval täpselt ühe kraadi võrra madalamal kui samal ajal Pariisis.

Fernel ööbis seal. Hommikul asus ta aga tagasiteele. Seekord ei vahtinud ta taevasse, vaid loendas hoolsalt oma kalessi ratta pöördeid. Pariisini loendas ta neid 17 024. Fernel väljus kalessist ja mõötis ära ratta übermöödu. See osutus täpselt 20 prantsuse jala pikkuseks. Siis korrutas Fernel kalessi rattapöia pikkuse tema pöörete arvuga: selgus, et Pariisi ja Amiens'i vahemaa võrdus 56 747 *toise*'iga.

Loomulikult, praegu ei arvuta enam keegi linnadevahelisi vahemaid kalessi rataste pöörete järgi, nagu seda XVI sajandil tegi prantslane Fernel. Kuidas vahemaid kraadides mõõdetakse, me juba teame. Aga kuidas maapinnal ära mõõta rohkem kui 100 kilomeetrit, mis kraadi joonpikkuse moodustab? Ei veeta ju üle 100 kilomeetri enda järel mõõdulinti.

Vanaaja matemaatikud, olles välja mõelnud küll teravmeelse viisi kaare määramiseks kraadides, ei suutnud aga leida sobivat moodust kraadi joonpikkuse ja üldse suurte joonkauguste mõõtmiseks. Eratostenes, kui tal oli vaja teada, kui kaugel on Süene Aleksandriast, kasutas karavanaiajajatelt saadud andmeid, kes, nagu teada, kaameli samme lugesid. Teadlased aga, kes Araabia kõrbes meridiaani kraade mõõtsid, aetasid kümnete kilomeetrite ulatuses maha puitlatti.

Aga kuidas praegu mõõdetakse kaugust kas või Riist Vladivostokini — maa läänepiiridest selle idarajani?

Praktikas kõige otstarbekohasema suurte joonkauguste mõõtmise viisi leiutas peaaegu sajandi võrra pärast Ferneli poolt Pariisi ümbruskonnas sooritatud sõite hollandlane Snellius. Ta tegi ettepaneku mõõtmise Maalt paberile üle viia.

Oletame, et tahame teada saada, millega võr-

dub seesama kaar Pariisist Amiens'ini. Selleks ei ole üldsegi vaja mõõta kogu linnadevahelist kaugust. Piisab, kui ära mõõta väike tükk — nii kilomeetrit kümme. Seejärel tuleb ümbruskonnas valida mingi märgatav objekt, mis selle otspunktidest on hästi nähtav, ja äramõõdetud lõigu otsad mõtteliselt äramärgitud kellatorni või torniga ühendada.

Nüüd on küllalt, kui ära mõõta saadud kolmnurga nurgad, et seejärel hõlpsalt välja arvutada, millega kolmnurga teine külg võrdub. Selle võib võtta uue kolmnurga aluseks, valides tema tipuks naabruses asuva künka või kõrge puu.

Niiviisi, ühelt kaugelt paistvalt objektilt teisele üle minnes, võib Maa pinnal — piki mis tahes meridiaani või paralleeli — kolmnurkadega katta tohutu riba, ja, mõõtmata joonlauaga midagi peale esimese lõigu, välja arvutada kraadivõrgu nende lõikude pikkuse. Kõik ülejäänud arvutused sooritatakse paberil, millele on kantud kujutletavad kolmnurgad.

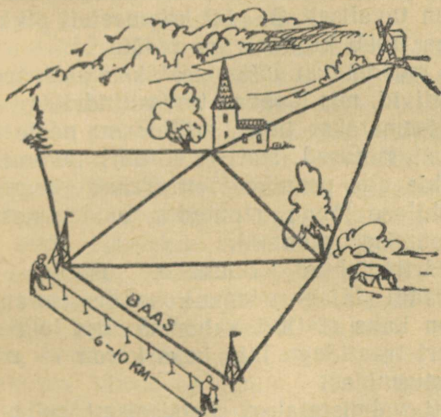
See meetod, saanud triangulatsiooni nimetuse (ladinakeelsest sõnast *triangulum* — mis tähendab «kolmnurk»), on Maal suurte kauguste mõõtmise peamiseks viisiks.

Esimese kolmnurkade ahela tõmbas Hollandis põhjast lõunasse uue mõõtmismeetodi leiutaja Snellius ise. Liudlamedal Hollandi lausikmaal olivad arvutud tuuleveskid ja kirikutornid justkui ise moodustasid loomulike kolmnurkade tipud.

Aga La Condamine'il, kes rajas kolmnurki Peruu mägedes, ja Maupertuis'il, kes töötas soises Lapimaa taigas, oli palju raskem. Nad olid sunnitud ronima ümbruskonna mägedele ja kolmnurkade tippudesse isegi spetsiaalseid torne ehitama, et naabruses asuvaid «signaale» näha. La Con-

damine ehitas oma kaarel 32 kolmnurka, Mau-  
pertuis tuli toime kolm korda väiksema arvuga.  
Struve kaar koosnes aga 258 kolmnurgast.

Sel viisil muutus ülesanne nurkade, mitte aga  
joonte mõõtmiseks. Kujuteldavate (mõtteliste)  
kolmnurkade nurki mõõdetakse samuti nagu Päi-  
kese või Põhjanaela kõrgust nende laiuse määra-  
misel. Ainult et vaatleja püüab instrumendi pikk-  
silmasse Põhjanaela asemel alguses ühe, seejärel  
teise kolmnurga tipu. Ja niisamuti loetakse see-  
järel kraadijaotustega ringil ära nurga suurus.



Kuid puust tornid on suurest kaugusest halvasti  
näha. Seepärast mõõdeti nurki suuremalt jaolt  
õõsiti, süüdates nende tipus lambid.

Siis mõeldi välja, kuidas nurki mõõta ka päe-  
val. Üks geodeetidest ronis torni ja laskis naaber-  
nurga tipule päikese peegelduslaigukesi — ainult  
mitte taskupeegli, vaid terve keerukate peeglite

süsteemiga. Teine vaatleja püüdis need peegeldus-  
lalgud kinni.

Peegelduv päikesekiir on väga kaugele nähtav. Seepärast sai võimalikuks moodustada suuri kolmnurki. Tasastes stepirajoonides rajatakse tavaliselt kolmnurki, mille iga külg ulatub 20—25 kilomeetrini, mägistel ja metsarikastel maastikel aga 30 kilomeetrini ja rohkem. Niisuguste ristamisil asetsevate kolmnurgaahelatega moodustatakse hiiglaslik võrk, mille iga silm moodustab juba 200 kilomeetrit pikuti ja niisama palju laluti.

See lõik aga, millest kolmnurkade rida alguse saab, on tavaliselt 6—10 kilomeetrit pikk. Kuid ka tema tuleb kuidagi ära mõõta.

Piki mõõdetavat lõiku seatakse üles spetsiaalsed statiivid, mis lõpevad terassilindritega. Nende peale tõmmatakse traat, millele on peale kantud täpsed alajaotused, statiivi silindri pealmise otsa keskohta aga peenike joon. Traati pingutatakse alati ühtlase jõuga, riputades tema otstesse 10-kilogrammised pommid.

Silindrile tehtud jooneke on «osutiks». Missugune traadi alajaotus tema kohal (vastu) on, niisugune on kahe statiivi vahemaa. Iga lõik mõõdetakse eri traatidega läbi kaks korda — nii otse kui vastusuunas.

Traati valmistatakse spetsiaalsest sulamist — invarist, mis temperatuuri kõikumiste puhul peaaegu üldse ei paisu. Enne iga maapinnalõigu mõõtmist tehakse traadiga läbi hoolikas kontroll Geodeesia, Aeromõõdistamise ja Kartograafia Teadusliku Uurimise Keskinstituudis. Siin võrreldakse keeruliste instrumentide abil tema pikkust etaloniga.

Terved teaduslikud kollektiivid arvutavad välja võimaliku mikroskoopilise suuruse, mille võrra

niisugune temperatuuri kõikumistele vastupidav traat ikkagi võib oma pikkust vahelduva ilmastiku tagajärjel muuta. Mõõtmiste rajoonis arvestavad geodeedid isegi õhu tihedust. Nad saavutavad väga suure täpsuse, eksides kõigest vaid mõõdetava pikkuse ühe miljondiku osa võrra.

Traadiga joonkaugusi mõõta on keeruline ja vaevarikas. Seepärast soovitasid füüsikud «tõmmata» punktide vahele mitte traat, vaid valguskiir. Tema jookskiirus on teada. Jääb üle vaid kindlaks teha aeg, millega ta mõõdetava vahemaa läbi jookseb, et kauguse suurust teada saada.

Valguskiir lastakse välja läbi kitsa värava — elektronkiiretoru ekraani kaudu. Tal tuleb sel korral mängida mitte päris tavalist osa — ta asendab geodeetidele omalaadset kella. Kui valgusvälgatused korduvad 20 — 25 korda sekundis, siis näeb vaatleja ekraanil mitte üksikuid välgatusi, vaid eredat punkti. Jooksnud lõpuni läbi maapinna löigu, mida tahetakse mõõta, ja kohanud seal tõket — peeglit, pöördub valgus tagasi.

Aga kuni valgus peegli ja tagasi rändab, «hargneb» helendava punkti kujutus ekraanil nii-öelda horisontaalsuunas laiali. Selle «laialihargnemise» kiirus on teada. Kuid meie poolt väljasaadetud valgusimpulss pöördus tagasi. Ja ekraanile ilmub esialgsest mõningal kaugusel teine helendav punkt. Kaugus nende vahel ongi aeg, mille valgusimpulss kulutas peegli ja tagasi jooksmiseks. Ainult et see ei väljendu sekundites, vaid millimeetrites.

Kuid valguskiir ei osutunud mitte väga usaldatavaks töötajaks. Mõõtes kaugusi valgusimpulside abil, eksisid geodeedid sageli mitme meetri võrra. Asi seisab selles, et valgusimpulsi tagasi-

pöördumine registreeritakse televisioonitoru ekraanil ikkagi mõninga hilinemisega.

Mõõtmise täpsus tõusis märgatavalt, kui üksikute valgusimpulsside asemel hakati kasutama valguslaineid.

Kui valgusvihku enne tema kaugusse väljasaatmist «elektronsulu» abil sundida oma intensiivsust teatava kindlaksmääratud sageduseni muutma, siis muutub ta mööda veepinda levivate lainete sarnaseks. Nende pikkus määratakse kindlaks selle sagedusega, millega toimis «elektronsulg». Loendades, kuipalju niisuguse pikkusega laineid tee peegli ja tagasi teatava ajavahemiku jooksul läbisid (see saadakse teada valguse vastusjälje heleduse järgi), tehakse kindlaks ka vahe- maa ise, mille nad läbisid. Mõõtmiste täpsus tõuseb seejuures korda viis.

Valguslained asendatakse mõnikord raadiolainetega. Nende abil on lühikese ajaga võimalik mõõta sadu kilomeetreid pikki joonkaugusi. Selleks otstarbeks kasutatakse ainult «sirgeid» raadiolaineid: lühi- ja ultralühilaineid. Pikad ja keskmised lained ei kõlba, sest nad levivad kõverjooneliselt.

Punktidesse, mille vahelist kaugust on vaja määrata, seatakse üles raadiomajakad, nende vahekeskkohas lendavale lennukile aga raadiosaatejaam. Saanud «järelpärimise», saadab iga raadiomajakas välja vastussignaali, mis satub lennuki lokaatori ekraanile.

Nii saadakse teada, missuguse ajaga raadiolained jõudsid majakast lennukini ja kui pikk tee tuli neil läbida. Teades aga seda kaugust, lennuki lennukõrgust ja Maa raadiust, saab jällegi kolmnurkade, ainult mitte Maad mööda siruli pandute,

vaid justkui vertikaalselt asetatute, järgi leida, kui kaugel üksteisest asuvad linnad.

Selle viisiga on kindlaks tehtud kaugus Florida ja Bahama saarte, Šotimaa ja Norra, Kreeta ja Põhja-Aafrika vahel.

Kuid mõõtes suurt lõiku osade viisi, eksime me tahtmatult: mõõdame kuskil mitte küllalt täpselt nurga või loeme kuskil puudulikult meetri jaotusi. Isegi iga tüki hoolika mõõtmise juures teeme me tillukese vea. Kuhjudes moonutavad need vead tegelikke kaugusi ja, järelikult, meie ettekujutust maapinna kujust.

Niisuguseid vigu ei õnnestu täielikult vältida — need peituvad geodeesias rakendatavate väga täpsete instrumentide täpsuspiiride taga. Seepärast tuli teadlastel niisuguste vigade paratamatust tunnustada. Et aga siiski nendega kuidagi võidelda, loodi isegi spetsiaalne distsipliin — vigade teooria. Kuid isegi selle abil ei õnnestu ebatäpsustest täielikult vabaneda. Teine asi, kui oleks olemas niisugune mõõdulint, mille abil võiks kauguse Riiast Vladivostokini või Ameerikast Euroopani korruga, ilma seda tükeldamata, ära mõõta.

## MAAD MÕÕDETAKSE MAAGA

Kuid millega ka maapinda ei mõõdetaks — traadi, valguskiire või raadiolainega — vaja on neid mõõtusid endid millegagi võrrelda, et teada saada, kui palju kordi siis see «miski» traadipikkusesse või valguslainete harjade vahele mahub.

Kui Picard, kelle tööde lõppu Newton nii suure kärsitusega ootas, Kesk-Prantsusmaal kolmnurki rajas, võrdles ta oma mõõdulatti *toise*'iga.

Prantsuse *toise* — õigemini, tema etaloon — kujutas endast rauast latti, mis oli paigutatud vanaaegse Châtelet' kuningalossi trepiastmesse Pariisis. Kõik uuesti valmistatud mõõtelatid viidi lossi ja asetati trepiastmele. Kui need osutused õigeteks, siis mahtusid nad täpselt klambrite vahele, millega raudlatt otstes lõppes. Kui etaloon oleks juhuslikult kaotsi läinud, oleks ta tulnud taastada meie jaoks mitte päris tavalisel viisil: *toise*'i pikkusesse mahtus täpselt kuus korda kuninga jalatald, mille pikkuse omakorda moodustasid kaheteistkümne suure varba liigese pikkus.

Araablased, mõõtes meridiaani kraadi Põhja-Mesopotaamias, märkisid üles, et selle pikkus võrdub 56 $\frac{2}{3}$  araabia miiliga. Kuid teadlased ei suuda tänapäevani kindlaks teha, kas seda on palju või vähe. Araablased arvestasid ju, et nende miil võrdub 4000 küünraga, iga küünar — 8 rusika laiusega, rusikas aga — 4 sõrmega, sõrm juba — kuue eeslikoonu karvaga, mis on üksteise kõrvale asetatud.



ÜKS MIIL = 4000 KÜÜNART

Kuid mine tea jalatsi suurust, mida kandis ammu surnud kuningas, või eeslikoonu karvade jämedust! Seepärast on paljudest muistsetest

mõõtudest jäänud järele ainuüksi nimetus, nagu näiteks sellest samast egiptuse staadiumistki, milles näiteks Eratostenes esmakordselt maakera raadiuse välja arvutas. Tänapäevani mõistatavad teadlased, palju see küll meie arvestuste järgi välja teeb? Kuid nii ei olegi teada, missuguse täpsusega esimene maamõõtja Maa mõõtmeid määras.



Venemaal täitis etalooni ülesannet mitte rauast latt, vaid Peterburi admiraliteedihoone kellatorni võlvi läbimõõt. See oli ära mõõdetud inglise jalgades. Siirdudes maakera meridiaane või paralleele mõõtma, võrdlesid vene geodeedid tema pikkusega oma mõõdulatte.

Kul aga vaja oli kraadi pikkust üle viia vene arssinatesse, osutus see küllaltki raskeks asjaks. Vene arssin võrdus pooleteise küünraga ehk nelja vaksaga. Igasse vaksa mahtus neli verssokit. Küünart kui pikkusmõõtu rakendati mitmetes maades, kuid igal maal oli oma küünar.

Kõige suuremaks peeti babüloonია, veidi väiksemaks egiptuse küünart. Venemaal oli ta aga kõige väiksem. Kolm vene küünart moodustasid kord sülla. Siis tehti süld ümber kolmearssina-

liseks. Kuid neil kummalgi süllal ei olnud midagi ühist kahe teise sülla — «põik» ja «käsüsüllaga».

See tekitas tohutut segadust. Ühel maal võrdus toll suure varba liigese pikkusega, teisel — kolmele, tingimata viljapea keskkohast välja tõmmatud ja teravate otstega üksteise vastu asetatud odraterale. Ühed teadlased võrdlesid kraadi pikkust kaugusega kuninga ninast kuni tema väljasirutatud käe otsani. Teised lugesid piki meridiaani tavalise sureliku samme. Millele siis lõpptulemusena Maa raadius võrdus?

Kahtlus selle kohta, kas maakera on nii võimalik täpselt mõõta, tekkis juba Picard'il. Kui ta oma mõõdulinti Châtelet' lossi tõi, selgus, et pikkade aastate jooksul oli rauast *toise* sügiseste vihmade ja suvise palavuse mõjul roostetanud ja tervelt 5 liini võrra lühemaks jäänud.

Valmistudes ärasõiduks Perusse, valmistas La Condamine ise Châtelet' lossis oleva rauast lati järgi uuesti kaks etalooni. Ja kõiki uusi mõõtelatte võrreldi nüüd nende järgi. Üks niisugustest raudvarrastest sattus isegi Venemaale ja seda kasutas Fr. G. W. Struve oma kaare mõõtmisel. Perusse siirdudes võttis La Condamine oma *toise* kaasa, teise andis aga Maupertuis'le, kes Lapimaale sõitis. Esimese ekspeditsiooni juhiks loeti ametlikult Godini, kes pärast ekspeditsiooni lõppemist ei tahtnud Prantsusmaale tagasi pöörduda. *Toise*'i jättis ta endale ja alles mitme aasta pärast õnnestus Prantsuse Teaduste Akadeemial seda tagasi saada. Kuid selle aja jooksul muutus poleeritud raudlatt roostest söödud metalliribaks.

Lapimaa *toise*'i saatus ei osutunud sugugi paremaks. Tagasiteel uppus ekspeditsiooni varustust vedav laev. Lapimaa mõõtelati puudumist poleks võib-olla märgatudki, kui Peruu ja Lapimaa eks-

peditsiooni mõõtmised oleksid ühte langenud. Kuid La Condamine ja Maupertuis said, nagu teada, Maa lapikuse erineva. Oli vaja mõlemaid mõõtelatte võrrelda ja kindlaks teha, kas mõõtmised mõlema teadlaste grupi poolt ühe ja sama moodsuga läbi viidi.

Tuli sukelduda merepõhja uppunud *toise'*i järele. Lõpuks see leitiigi tuukrite abiga ja toodi päevavalgele. Kuid kas võis vastutada rauatüki täpsuse eest, mis oli mitu aastat merepõhjas lebanud? Loomulikult mitte.

Vahe selle ja peruu *toise'*i pikkuse vahel moodustas nüüd  $\frac{1}{9}$  liini. See tähendas, et maa ümbermõõdu pikkus, mis oli mõõdetud ühega neist, erineks tervelt 5 kilomeetri võrra sellest, mis oli mõõdetud teisega.

Sai selgeks, et on vaja mingit ühtset, alati käepärast olevat mõõtu, et teda võimalik oleks kergesti kontrollida või isegi uuesti valmistada, tarvitsemata taga otsida ammu surnud kuninga vanu saapaid.

Siis panigi Huygens, nendesamade pendelkelade leiutaja, mis Maa lapikuks litsusid, ette kõiki pikkusmõõte sekundpendli — tema oletuse kohaselt kõikjal Maal konstantse pikkusega võrrelda.

«Hakakem lugema jalaks mitte teadmata jala-talla pikkust, vaid täielikult kindlakstehtud suurst — kolmandikku sellest niidist, millel ripub sekundis ühe võnke sooritav pendel,» rääkis Huygens.

Picard ise soovitas toimida veelgi lihtsamalt — võrrelda kaugusi sekundpendli niidi kogu pikkusega. Uut mõõtu pani ta ette nimetada «astronoomiliseks raadiuseks».

Kuid Richer' õnnetu reils ekvaatorile veenis, et

ka see suurus ei ole püsiv. Kui Picard'i ettepanekul oleks seda tõepoolest kasutatud, siis oleks kraadimõõtmine ekvaatoril ja keskmistel laiustel jällegi toimunud erinevate mõõtudega — on ju sekundpendli pikkus nii ühes kui teises kohas erisugune.

Vaja oli niisugust mõõtu, mis eksisteeriks looduses endas ja oleks muutumatu ning konstantne kogu Maa ulatuses ega muutuks pikemaks suvel ja lühemaks talvel, nagu see juhtus prantsuse *toise*'iga. Ja siis otsustatigi pöörduda abi saamiseks Maa enda poole.

Prantsuse Teaduste Akadeemia tegi ettepaneku võtta pikkusmõõdu ühikuks  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osa Maa meridiaanist. See ongi meie praegune meeter. Ja kui me räägime, et maakera raadius võrdub umbes 6000 kilomeetriga, siis tähendab see teiste sõnadega, et Maa raadiusesse mahub tema meridiaani  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osa 6 000 000 korda. Kui me aga kõneleme, et meridiaani kraad võrdub 100 kilomeetriga, siis tähendab see, et selle lõigu pikkusele mahuks meridiaani  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osa 100 000 korda.

Maad hakati nii siis mõõtma Maa endaga.

Mechaini ja Delambre'i ekspeditsioon, keda Konvendi otsusega kohustati siirduma Prantsuse revolutsiooni tulekahjus Pariisi meridiaani mõõtma, pidid samaaegselt kindlaks tegema ka meridiaani  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osa pikkuse. Vabariigi vaenlastega võitleva revolutsioonilise armee suurtükimürina saatel liikus Delambre Dunkerque'ist Barcelona poole, Mechain aga Barcelonast temale vastu.

Maa kubises vandeseltslastest, kes unistasid kuningavõimu taastamisest. Igas külas organiseeriti kaitseks nende vastu relvastatud salgad, kes

võtsid valve alla kogu ümbruse, püüdes kinni kahtlaseid isikuid.

Rahulik teadlaste ekspeditsioon pääses vaevaga mööda revolutsioonilise Prantsusmaa teid edasi. Arusaamatu kogukas koorem ja teadmata otstarbega instrumendid, mida nad kaasa vedasid, ning üksikasjalik ümbruse uurimine põhjustas enam kui üks kord kohalike elanike kahtlustusi, kes neid kuninga spioonideks pidasid. Ja juhtus harva, kui teadlastel, Delambre'i sõnade järgi, õnnestus «vaatlusi märkamatult lõpule viia».

Lisaks kõigele algas Prantsusmaa ja Hispaania vahel sõda ja Mechain, kes mõötis kolmnurki Pürenee mägedes, võeti hispaanlaste poolt vangi.

Teadlastel kulus kuus aastat, et lahingute tules oma mõõtmised lõpule viia.

Meeter kinnitati ja valmistati platinast joonlauataoline liist pikkusega  $\frac{1}{40\,000\,000}$  meridiaanist. Seda normaalmeetri põhietalooni hakati nimetama «arhiivi meetriks».

Hiljem valmistati selle alusel plaatina ja iriidiumi sulamist 31 etalooni prototüüpi, mis jagati riikidele, kes kirjutasid alla niinimetatud «meetri konventsioonile». Piki etalooni latti kuni selle otsteni kulgevale õnarale on ühe sentimeetri kaugusel kummastki otsast tõmmatud peenike kriips. Pikkus nende kriipsude vahel ongi meeter. Venemaa sai kaks: nr. 28 ja nr. 11. Mõlemad etaloonid toodi Peterburi ja siin võeti neilt mitu kooplat, mis asuvad tänaseni Üleliidulises Metroloogia Instituudis Leningradis.

Meeter sai kõikide mõõtude — pikkus-, pinna-, mahu- ja raskusmõõtude aluseks.

Ja mida te ka praegu ei hakkaks mõõtma, kas kilogrammi võid, liitrit bensiini, oma toa pindala

või riidetüki pikkust — alati võrdlete te neid maakera meridiaaniga.

Etaloonidega ei mõõdetata midagi. Nad vaid säilitavad meetri pikkust. Selleks on loodud kõik tingimused. Instituudi keldris, kus meetrid-säilitajad peavad oma lõppematut valvet, ei käi ühtki kõrvalist isikut. Neid kaitstakse kõige väiksemate temperatuuri, õhurõhu ja -niiskuse kõikumiste eest, et miski ei sunniks kahtlema nende pikkuse konstantsuses.

Kui aga niisugune kahtlus peaks siiski tekkima, võrreldakse riikliku etalooni võrdlusmeetriga, mis ka meetri pikkust säilitab. Kõiki teisi meetreid, millega me mõõdame meridiaani kraadi või tükki riidet, nimetatakse töömeetriteks. Aeg-ajalt kontrollitakse töömeetreid etaloonide-säilitajatega, mis samuti mõnikord harva keldrist välja tuuakse ja Pariisi viiakse, et neid rahvusvahelise meetri järgi, mis seda mõõtu kogu meie planeedi jaoks säilitab, kontrollida.

Kuid lugejal on õigus küsida, kas maksab meetrit nii hoolikalt kaitsta, kuna niigi on teada, et kõik maakera meridiaanid on erineva pikkusega? Ja kas meie meeter on tegelikult võrdne  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osaga meridiaanist? Aga kui ta isegi võrdne on, siis missugust meridiaani seejuures silmas peetakse?

Küsimused on tälesti põhjendatud.

Nüüd on selgunud, et meie meeter on 0,2 millimeetri võrra lühem «keskmise» meridiaani  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osast. Seepärast hakati rääkima, et meeter — see pole mitte  $\frac{1}{40\,000\,000}$  osa meridiaanist üldse, vaid ainult Pariisi meridiaanist.

Kuid võib-olla ilmneb tulevikus, et just nendele 12°30', mille Delambre ja Mechain läbi mõõtsid, satuvad geoidi «kühmud» või «nõod» ja, järeli-

kult, meridiaani üldpikkus osutub väiksemaks või suuremaks mõõtmisel saadust? Kuidas, kas siis kõik etaloonid tulevad uuesti ümber teha, nad uue meetriga sobitada?

Vana meeter otsustati säilitada. Kuid see polnud enam tõeline looduslik mõõtühik. Ta muutus niisamasuguseks tinglikuks mõõduks, nagu kuulus *toise'*igi. Meie meeter, see on lihtsalt metallist latile tõmmatud kahe kriipsu vaheline kaugus.

Siiski ei loobunud teadlased ahvatlevast ideest siduda kaasaegne pikkusmõõt mingi muutumatu, looduselt laenatud näidisega. Ikka rohkem kalduvad nad selle poole, et niisuguse mõõdu ülesandeid võib täita valguskiir, mis juba korduvalt on geodeete hädast välja aidanud. Seekord huvitab teadlasi ainult igas valges kiires peituv mitmevärviline vikerkaar.

Tarvitseb kiire teele asetada klaasist prisma ja sundida teda läbi tahu tungima, kui vikerkaare ere kee punaste, kollaste, roheliste, siniste ja violetsete kalliskividena laiali paiskub.

Kust nad ilmusid? See on süsteemitu valge kiir, milles on segamini eri pikkusega lained: niihästi lühikesed, poole mikroni pikkused, kui ka pisut suuremad, mis end käigu peal ümber rühmitavad. Ja igas pikkuses lained, olles grupeerunud, hakkasid oma vooluga kaasa jooksuma. Kõige pikemaid neist näeme me punaste, kõige lühemaid aga violetsete kiirtena.

Ja teadlased tegidki ettepaneku võtta loodusliku «meetrina» kasutusele mingisugune «värviline laine». Kuid kuidas seda teha? Puhast vikerkaart saadakse ju harva kätte. Kõrvutiasuvad värvid enamasti siiski segunevad veidi ja igaühe laine-pikkus tuleb erinev, sõltudes sellest, kui suurel määral nad segunesid. Kõik toetasid järelikult

seada mõtet, et on vaja leida niisugune valgusallikas, mis osutuks väga puhtaks, lisanditeta värvitooniks.

Üks on juba leitud. Kui kuumutada kaadmiumi auru, hakkab ta helenduma. See valgus jaotatakse prisma poolt neljaks selgeks värviliseks triibuks. Õnnestus väga täpselt ära mõõta iga värvilise laine pikkus. Selgus, et helendavate kaadmiumi aurude punaste kiirte lainepikkus on 0,64385033 mikronit. Tähendab, ühes meetris sisaldub umbes poolteist miljonit niisugust lainet.

Kuid uus «meeter» ei saanud kodanikuõigusi. Hiljuti leiti uued ained, mille helendus jaguneb veelgi selgemateks värvitoonideks. Tulevase etalooni osale pretendeerivad praegu elavhõbeda kuumutatud aurude rohelised kiired ja krüptooni gaasi kollakasrohelised kiired. Nende lainepikkuste abil on võimalik mõõtmisi kaks-kolm korda täpsemalt läbi viia.

Missugusele neist lainetest langeb teadlaste valik? Aeg näitab. Kuid nii või teisiti, aga lähemas tulevikus loovad teadlased «maameetri» asemele «valgusmeetri» ja me hakkame kaaluma ja mõõtma mitte maa meridiaani osades, vaid valguslainetes. Tuleb kõik mõõdud ümber arvestada.

Vaat missuguse ülesande andis teadlastele Maa kapriisne kuju!

## MAAKERA «LÕIGE»

Nüüd me teame, kuidas Maal mis tahes kaugust mõõta. Kuid sellega geodeetide mured veel ei lõppenud.

Te tõenäoliselt mäletate, et Maa suuruse arutamiseks on veel vaja teada maapinna mõõdetava

lõigu otstes asuvate punktide koordinaate. Kuid vanad «geoidieelse» perioodi koordinaadid selleks enam ei kõlba. Nad ju näitavad punktide asukohta keral, paremal juhul ellipsoidil, ja lähevad seepärast nende tegelikest koordinaatidest tublisti lahku.

Süüdi on selles tavaline lood. Horisont, millest loetakse tähtede kõrgust, et seejärel nende laiuse järgi asukohta kindlaks määrata, leitakse ju just loodi, ükskõik missuguse vabalt rippuva raskuse niidi järgi, mis asub maapinna suhtes alati täisnurga all. Niikaua kuni Maad ellipsoidiks peeti, loeti loodi perpendikulaarseks ellipsoidi, mitte aga Maa tegeliku pinna suhtes. Tegelikult ta aga osutubki just selle jaoks õigeks, ellipsoidi jaoks aga — «viltuseks».

Määrates punktide asukohta Maal «viltuse» loodi järgi, arvutame me koordinaadid välja veaga. Kui lood kalduks kõrvale kõige rohkem 1" võrra, siis ka sel korral nihkuksid linnad meie kaartidel 30 meetri võrra kõrvale. Kuid kõrvalekaldumine on sageli palju suurem. Kaukasuses isegi näiteks 45", ja siis kasvab viga eri linnade vastastikusel asendis peaaegu poolteise kilomeetrisini.

Selleks et teada saada Maa mis tahes punkti tõelist asukohta, tuli kehtestada uued koordinaadid — geodeetiline pikkus ja laius. Neid arvestatakse õigest loodist ja nad erinevad geograafilistest täpselt seevõrra, kuivõrra selles kohas lood kõrvale kaldub sellest asendist, mis tal oleks pidanud olema siis, kui Maa oleks olnud ellipsoid.

Seejärel määratakse kindlaks kaugus mõõdetud geodeetiliste koordinaatidega punktidest naaberpunktideni. See on kolmas märgusõna, ilma milleta jääks teadmata mis tahes punkti aadress Maal.

See saadakse teada meile juba tuntud kolmnurkade abil. Teisest punktist mõõdetakse kaugus kolmandani ja arvutatakse välja selle koordinaadid. Nii, niit niidi järgi, punutakse ümber Maa nähtamatutest kolmnurkadest võrk, mille kõik küljed on mõõdetud, tippude aadressid aga täpselt kindlaks määratud.

Seesama võrk ongi aluseks Maa kuju kindlaks määramiseks. Ta võimaldab aga veel ühe ülesande lahendada — visandada maakera «lõike». Mõõta ära ümmargune, lapik või kühmuline Maa — see on ju alles pool asja. Tähtis on ta siis õigesti üles joonistada, et iga geograaf, geoloog, insener või lihtsalt reisija võiks selle järgi endale näitlikult seda planeedi osa ette kujutada, mida tal tuleb uurida.

Aga kuidas kujutada mõõdetud, kuid kõverat ja kühmulist pinda tasapinnalisel paberil?

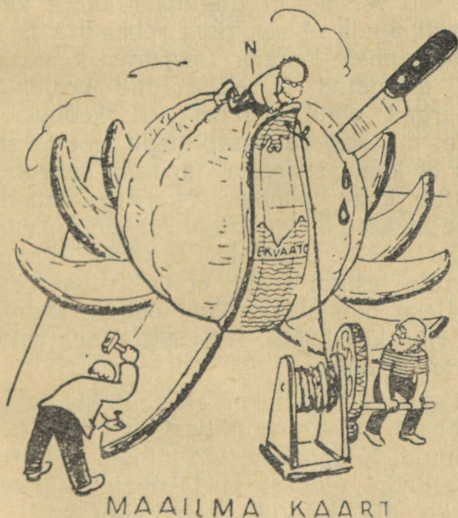
Ülesanne seisneb selles, kuidas maapinna üksikuid punkte paberile nii üle kanda, et seejuures säilitada nende vastastikust asendit ja kaugust ühest teiseni. Seda tehakse kahes etapis. Algul püütakse Maa laineline pind mahutada tasasele ellipsoidile. Seejärel aga muuta ta juba tasapinnaliseks jooniseks.

See töö on keeruline ja seotud vältimatute täpsusekadudega.

Kaua aega justkui mähiti kühmulist Maad ellipsoidile: kolmnurkade küljed ja nende vahelised nurgad kujutati viimasel ilma igasuguste paranduste ja muudatusteta, nagu oleksid need mõõdetud vahetult ellipsoidil. Kuid nii, nagu ei saa pähkli muhklikku kesta ilma teda purustamata siledale tuumale mähkida, nii ei ole võimalik ka korrapäratut maapinda ilma teda moonutamata ellipsoidile tõmmata. Mõned lähedased punktid

sattusid seejuures ühe aadressi alla, ehkki nad tegelikult olid küllaltki kaugeteks naabriteks.

Nõukogude geodeet F. N. Krassovski pani ette teise meetodi — mitte mähkida, vaid projitseerida keerukas maapind ellipsoidile, s. o. anda tema piirjooned edasi nagu plaanis. Nähtamatult maapinnale joonestatud kolmnurkade nurgad ja küljed seejuures ei võrdu enam nende projektsioonidega.



MAAILMA KAART

See-eest on nende tegelikke mõõtmeid alati võimalik määrata uue aadressi järgi, millesse peale kolme tuntud tunnusmärgi — geodeetilise pikkuse, laiuse ja asimuudi — kuulub veel üks: projekteeriva kiire pikkus, s. o. kaugus Maa pinnast ellipsoidini.

Siit on nüüd kolmnurgad vaja tasapinnale ümber asustada — joonistada Maa kaart.

Kui meie planeet kujutaks endast silindrit või koonust, ei oleks see suuri raskusi tekitanud. On küllalt, kui silindri pind pikuti moodustajat mööda või koonus selle tipust tema aluseni (moodustajat mööda) noaga lõhki lõigata, et neid lahtirullitult lihtsalt paberilehele laotada.

Kuid proovige lamedaks litsuda apelsnikoort. Ta servad rebenevad tingimata lõhki: kera ega ellipsoidi, pinda ei saa ilma rebendite ja kortsubeta tasapinnale laotada. Seepärast kantakse Maa pinnal mõõdetud ja ellipsoidile projekteeritud kolmnurgad algul silindri või koonuse külgpinnale, mis seejärel tasapinnale laotatakse. Seejuures ei kanta suurema täpsuse saavutamiseks üle mitte kogu poolkera korruga, vaid seda tehakse kitsaste  $3^\circ$  või kõige rohkem  $6^\circ$  ribadena, iga riba omale silindrile. Silinder tõmmatakse maakerale justkui peale, et ta valitud riba oma siseküljega puudutaks. Kuid puudutama peab ta ainult riba keskk kohta. Riba ääred aga painduvad silindrist eemale.

Oletame, et kolmnurga alus satubki just sellele keskkohale. Sellega ta ühtlasi ongi juba silindrile üle kantud. Kolmnurga tipp jäi aga meie riba servale, silindri pinnast madalamale: ta kantakse silindrile üle justkui vertikaalset niiti mööda üles tõstes, ja ühendatakse seejärel aluse otstega. Kolmnurk on ellipsoidilt silindrile ümber asustatud.

Nüüd «võetakse» see silinder maakeralt ära, lõigatakse moodustajat mööda lõhki ja rullitakse paberilehele laiali. Varem kumer olnud kolmnurga alus muutus sirgeks. Ja samasugused sirg-

jooned ühendavad alust tipuga. Joonis maapinna osast on valmis.

Mõnikord võetakse vahendajaks mõni keerukam kujund, näiteks hulknurk või korruga mitu üksteisega ühtesobitatud koonust. Siis saavad Maa kaardid fantastilise väljanägemise.

Ühel sarnaneb maakera kummalise naeriga, teisel meenutab ta koletut vurrkanni. Ühed kartograafid teevad maakera ellipsoidile mitmes kohas sisselõikeid ja keerutavad siis üksikud mandri-ribad justkui hiiglaslikku tähte meenutavaks lilleks. Teised joonistavad Maad gigantse seenena. Ja see on niisama seaduspärane, kui joonistada ühtlased poolkerad, millega oleme nii harjunud, või asetada mandrid ja ookeanid paralleelsete ribadena ruudukujulisele lehele. Niisuguseid keerulisi kujundeid ei vali kartograafid mitte kapriisi tõttu: nad püüavad kõiki maapinna iseärasusi võimalikult õigemini edasi anda.

Kuid alati tuleb midagi ohverdada. Ühtedel kaartidel üritatakse mandrite ja ookeanide piirjooni õigesti kujutada, kuid seejuures kannatavad nende mõõtmed. Teistel säilitatakse nende õiged suurused, see-eest moonutatakse aga kuju.

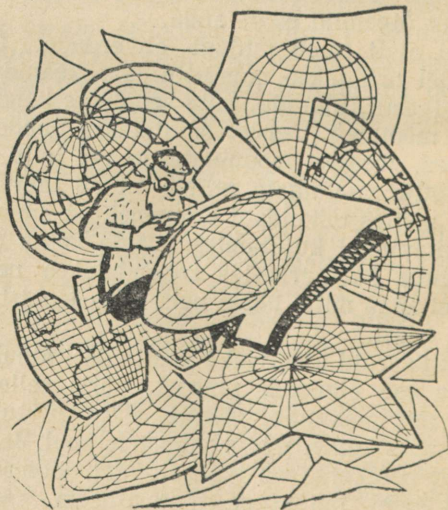
Seetõttu, vaatamata sellele, et on tehtud sõna tõsisel mõttes tuhandeid ettepanekuid ümmarguse Maa tasapinnal kujutamise viiside kohta (üksnes nõukogude kartograafias rakendatakse neid üle saja), ei anna mitte ükski neist Maa joonist täiesti õigesti edasi.

Kõik kaardid annavad õigesti edasi ainult väga väikese osa planeedi pinnast, päris selle keskkoahas, mis puudutab, ütleme, silindrit, tugevasti moonutades kõike, mis lebab äärte pool. Ja korrapärased poolkerad on tõeliselt Maa joonisest niisama kaugel kui kõige fantastilisem «seengi».

Seepärast on kaartide kasutamine väga raske ning kõige õigemaks Maa mudeliks jääb ikkagi gloobuse kera, ehkki ka tema, nagu teada, kaugeltki mitte kõiki meie planeedi kuju iseärasusi ei kajasta.

Millest vead kaardile tekivad, saab meile selgeks siis, kui meenutame, et ellipsoidile me jätsime kumera kolmnurga, millel külgedeks olid mitmesuguse kõverusega kaared, paberilehel saime aga tavalise tasapinnalise kolmnurga, mille külgedeks on sirgjooned. Tema tippude aadress oli antud kraadides, nüüd aga muutus see lineaarseks kauguseks telgedest X ja Y. Kas võis see muudatus toimuda veatult?

Kaared, mis kolmnurga nurkade tippe ellipsoidil ühendavad, on niisama nagu tasapinnaliste kolmnurkade küljedki lühimaks kauguseks kahe



punkti vahel, ainult mitte tasapinnal, vaid kumeral pinnal. Seepärast võib näida, et nende üksteisega äravahetamises midagi hirmsat ei olegi.

Kuid ehkki need geodeetilised jooned, nagu neid kaari nimetatakse, kõveral pinnal samu ülesandeid täidavad mis sirged tasapinnal, ei ole nad nendega ometi võrdsed pikkuselt.

Meie ettekujutus sellest, et kõige lühemaks jooneks on sirgjoon, on üldse väga suhteline. Kui oleks, näiteks, vaja kõige lühemat teed mööda mäe jalamilt ta nõlvale minna, tuleks meil lahendada sama peamurdmist nõudev ülesanne, nagu kärbselgi ülesannete kogust, keda sunniti kõige lühemat teed mööda ühelt seinalt teisele ronima. Selleks osutub hoopiski mitte sirge, vaid murdjoon.

Kaugused, mida me maapinnal möödame, võrreldes Maad tükiga temast endast, need on samuti «kõverad» geodeetilised jooned, mitte aga sirg lõigud, nagu me neid paberil kujutame. Kusjuures erinevatel geomeetrilistel kujunditel omavad nad erisugust järskust.

Kujult kerale lähedasel Maal võib kõige kiiremini Riiast Vladivostokki sattuda kas või siis, kui minna suuringi kaart mööda. Kui aga meie Maa oleks silinder, siis kulgeks kõige lühem tee mööda palmikuna ta ümber põimunud kruvijoont mööda.

Projekteerides maa kaugusi ellipsoidile, me juba muudame neid pisut — geodeetiliste joonte projektsioonid ei ole ju nende joonte endiga pikkuselt võrdsed. Neid õgvendades kaotame me aga igalt paberile kantud kilomeetrilt veel midagi.

Selgub, et ka lihtsat kaugust ei saa Maal mõõta ega, mis peamine, kujutada täpselt, teadmata meie planeedi õiget kuju.

Aga meie teadmiste täielikkus maapinna kujust

sõltub võimalustest, mida võimaldab triangulatsioonimeetod ise. Mandrile võib kolmnurkade võrgu rajada suuremate või väiksemate raskustega. Kuid geodeedid läbisid mandri ja jõudsid ookeani rannikule. Kuidas viia kolmnurkadeahel üle lõputute veteavaruste? Kus ääretus ookeanis leida püsiv alus väga tundlike geodeetiliste instrumentide jaoks, et nurki ja külgi mõõta?

Ja geodeedid pöördusid tagasi — kontinendi sügavusse. Nii tekkisidki geodeetilistele kaartidele tohutud «valged laigud», mis tähistavad planeedi läbimõõtmata pinda.

Siis otsustatigi kutsuda appi Kuu.

### «KUUSILD»

Ebatavalisest geodeetilisest «instrumendist» hakkas teaduslikes ajakirjades ikka sagedamini artikleid ilmuma. Nende autoriks oli meie vanimaid Maa kuju uurijaid, Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige Aleksandr Aleksandrovitš Mihhailov. Ta jutustab huvitavatest katsetest Kuu ja ta varjuga.

Jah, just varjuga! Algul mõeldi kaugete linnade või isegi mandrite vahelisi kaugusi mõõta just Kuu varjuga.

Täielike päikesevarjutuste ajal, kui Päike on Maa eest Kuuga varjatud, langeb maapinnale pikk Kuu vari. Jälgi sellest ulatub tavaliselt 10 000 — 12 000 kilomeetrini, lõigates sageli läbi ookeani. Varju otsad langevad seejuures mandritele. Nii-sugune «kuusild» viiski mõttele proovida tema abil mandritevahelist kaugust kindlaks määrata.

Mööda oma orbiiti liikudes kannab Kuu kaasas oma varju. Peale selle asetab ümber oma telje

pöörleb Maa ise tema ette ikka uusi ja uusi kohti. Seetõttu libiseb Kuu vari üle Maa pinna.

Kuu liikumise kiirus on teadlastele teada. Iga sekundiga läbib ta oma orbiidil umbes ühe kilomeetri. Samasuguse kiirusega liiguks mööda Maad ka tema vari, kui ta langeks püstloodis, Maa ise aga oleks liikumatu. Projitseerituna Maale viltu, peab Kuu vari kiiremini liikuma. See-eest aga pöörleb maakera samasse külge, kuhu siirdub Kuu vari, otsekui teda mööda teed «kaasa vedades».

Astronoomid arvutasid välja, et Kuu vari liigub Maa pinda mööda lõppkokkuvõttes umbes 560-meetrise kiirusega sekundis. Kui tema esiserv rii- vab Euroopat, vaadeldakse seal päikesevarjutuse algust. Varju vastasserv nihkub sel ajal aga juba ära Ameerika rannikult, seal varjutus lõpeb.

Määrates kindlaks varjutuse alguse ja lõpu kuu- silla otstes ja tema edasiliikumise kiiruse, saadakse teada silla pikkus — kaugus, mille vari selle ajaga mööda maapinda läbi jooksis.

1947. aasta mais üritati Kuu varju abil Atlandi ookeani laiuse mõõtmist Lõuna-Ameerika ja Aafrika vahel. Üks ekspeditsioon siirdus Brasiiliasse ja vaatles seal varjutuse algust. Teine grupp tead- lasi asus aga Kullaranniku territooriumil, seal, kus praegu asub Gaana vabariik, ja «püüdis» tema lõppu.

Kaugus Ameerika mandrist kuni Aafrikani mõõ- deti Kuu varju abil ära kõigest 200-meetrise veaga. See tõestas, et «kosmiline mõõdulint» võib geodeesias olla täiesti rakendatav.

Et täpsemalt tabada momenti, millal Kuu mele eest Päikese täielikult ära varjab, võetakse varju- tus filmilindile; seejuures kirjutatakse iga kaadri ülesvõtmise aeg üles samale lindile. Seejärel vör-



reldakse kaadrid läbi ja võetakse välja see, millel on tabatud varjutuse algus või lõpp.

Mõnikord määratakse varjutuse alguse ja lõpu fotografeerimise asemel kindlaks valguse intensiivsus, mida Kuu poolt veel katmata Päikese osa Maale saadab. Valguse kõige suurem nõrgenemise moment fotoelemendil ongi varjutuse alguseks.

Kuid täielikke päikesevarjutusi esineb harva, järelikult ei esinegi niisugusteks vaatlusteks igal aastal juhus. Aga kui esineb — osutub kuusild hoopis mujal olevaks, kui see geodeetidele vajalik oleks, teda edasi nihutada aga pole võimalik.

Aga isegi kui kõik tingimused oleksid soodsad, ei oleks võimalik neid mõõtmisi korrata ja, tähendab, kontrollida, sest Kuu vari paistab silma niisama ebakindla «iseloomuga», mida omistatakse tema omanikule endalegi. Kuu vari näiteks ei lähe

mitte kunagi enam läbi neist kohtadest, mida ta kas või ühegi korra on «külastanud».

Seepärast otsustati vaadelda lõppude lõpuks mitte päikese-, vaid tähevarjutusi — niinimetatud «tähtede kattumisi» Kuuga. Neid on võimalik vaadelda kas või mitu ühe ööga, ja seejuures igal pool maakeral.

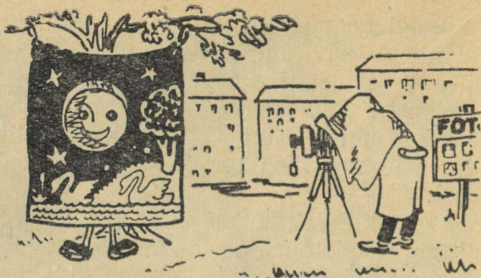
Selleks et kindlaks määrata tähevarjutuse kestust, piisab, kui fotografeerida tükike taevast Kuu ja teda ümbritsevate tähtedega. Kuid see pole enam nii lihtne.

Raskus seisab selles, et Kuud on vaja objektiivi ees hoida ainult kümnendiksekundeid, tähti aga — mitukümmend sekundit. Ja kuni fotografeeritakse tähti, on Kuu juba jõudnud kaadri piiridest välja libiseda.

Pulkovo observatooriumi direktor A. A. Mihhallov tegi ettepaneku Kuu ja tähtede fotografeerimiseks eraldi — umbes nii, nagu toimivad kinooperaatorid, kui neil on vaja võtta keerulist kaadrit. Nad võtavad üles algul ühe näitleja, kattes fooni kinni läbipaistmatu musta maskiga. Siis aga rändab mask näitleja kohale ja katab kinni tema, ülejäänud tühjale väljale ta kõrval võetakse aga kosk, milles, oletame, stsenaaristi tahte kohaselt pidi filmi kangelane asuma. Ja vaataja näeb näitlejat määratsevate veekeeriste keskel. Nii nimetataksegi seda meetodit «rändavaks maskiks».

Meie juhul on «näitlejaks» kesköö kaunitar Kuu. Astronoomid katavad ta kinni maski — läbipaistmatu ekraanikesega — ja fotografeerivad ainult tähti. Seejärel kaetakse maskiga kinni tähed ja võetakse üles peakangelanna.

Et kontrollida, kui palju täpsemini päikesevarjutustest tähevarjutused maapinnal kaugusi mõõta võimaldavad, vaadeldi 1949. aasta lõpus ja 1950.



aasta algul Ameerika Ühendriikides niisugust varjutust kahest eri linnast, millede vaheline kaugus oli maapealsete mõõtmiste järgi hästi teada. Selgus, et Kuu eksis kõigest 10 meetri võrra. Uus meetod osutus esimesest palju täpsemaks.

Kuid tal olid omad puudused. Ja küllaltki olulised.

Asi on selles, et vaadelda seda, kuidas tähed Kuu taha lähevad, õnnestub ainult siis, kui Kuu serv on tume, s. o. kahe nädala kestel noorkuu ja täiskuu vahel. Tähtede väljailmumine kuu vastaserva tagant, isegi kui see on tume, sünnib aga alati ootamatult ja seda märgatakse vaatleja poolt hilinemisega.

Kui aga kuuketta serv on hele, siis on peaaegu võimatu tema taha kaduvat või sealt väljailmuvat tähte märgata. Heleda Kuu naabruses ei taba nõrka tähehelki isegi fotoelemendi «silm», mis on inimsilmast palju teravam.

Teine häda seisab selles, et mõõdetavad kaugused saadakse mitte meetrites, vaid maakera raadiuse osades. See on tingitud sellest, et Maa enda pöörlemiskiirus kui ka Kuu ümber Maa tiirlemise kiirus, millest, nagu juba juttu oli, saadakse Kuu varju kiirus, sõltuvad maakera raadiuse pikkusest

a arvutatakse välja selle suuruse põhjal. Mis tahes punkt Maa pinnal või Kuu liigub ju aeglasemalt või kiiremini sõltuvalt sellest, missuguses kauguses Maa keskpunktist ta oma teekonda sooritab.

Tekib tõeline nõiaring. Me arvutame välja Maa mõõdmed, lähtudes nendetsamadest mõõtmetest endast. Ja kui võrd me neid ainult umbkaudselt teame, siis ei saa me neid ka Kuu varju abil täpselt teada.

Seepärast tuli Kuu varju teenustest siiski loobuda. Otsustati abi saamiseks Kuu enda poole pöörduda, sundida teda kolmnurkade tippude aadressile leidma.

Kuidas on see aga võimalik?

Lähtudes sellest, et Kuu ümber Maa keskpunkti tiirleb, määratakse tema asukoht tavaliselt just selle punkti suhtes kindlaks. Kuu koordinaadid tähendavadki tema kaugust Maa keskpunktist ja suunda, milles see punkt asub. Neid on valemil abil võimalik välja arvutada.

Kuid neis arvutustes võetakse Maad kokkusu-  
rutud ellipsoidina. Seepärast, kui me hakkame määrama neidsamu Kuu koordinaate tegeliku Maa pinnast, osutuvad nad mõnevõrra teiseks. Vahe sõltub sellest, kas Maa tegelik pind on ellipsoidist kõrgemal või madalamal, ja, järelikult, Maa tsentrist kaugemal või talle lähemal asub, aga samuti sellest, et lood võib vaatluskohal mõninga nurga võrra ellipsoidi normaalist (ristjoonest) kõrvale kalduda.

Teiste sõnadega, vahe väljaarvutatud ja vaatluste põhjal määratud Kuu koordinaatide vahel sõltub Maa tegeliku raadiuse pikkusest vaatluspunktis ja loodi kõrvalekaldumise suurusest tegelikul Maal teoreetilise ellipsoidiga võrreldes, s. o.

- selle maapinna punkti geodeetilistest koordinaatidest, kus vaatlusi läbi viiakse.

Niiviisi on, võrreldes väljaarvutatud ja tegelikke Kuu koordinaate, Maa pinnal võimalik kindlaks määrata paljude punktide aadressid, näiteks kõigi nende kolmnurkade tipudki. See võimaldaks luua kogu maakeral ühtse geodeetilise võrgu, mille abil, nagu me teame, praegu Maa kuju ja mõõtmeid määratakse.

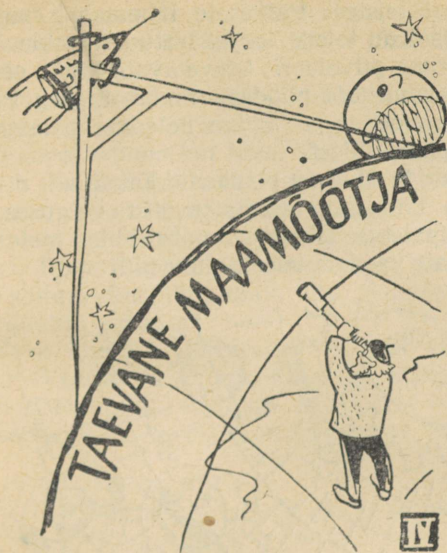
Kuid muutlik Kuu vedas siiski teadlasi alt. Ta osutus eelkõige liiga ebatasaseks. Mõiste «kuuketras» on ise küllaltki suhteline. Tema kääruline äär on kaetud niisuguste sälkudega (sageli ulatuvad need kuu mäed 4 kilomeetrit ja rohkem üle tema pinna), et teadlastel tuli koostada isegi spetsiaalne «kuuprofiili» kaart. Sakiline äär segab vaatlusi väga.

Ei ole kerge ka Kuu koordinaate välja arvutada — ei määrata ju kogu Kuu, vaid tema keskkohta asendit. Kuid proovitagu leida seda päris keskk kohta, kui Kuu paistab teleskoobis mitte ümmarguse ketta, vaid ebaühtlase lapina.

Lisaks kõigele ei ripu Kuu liikumatuna, vaid just nagu kõiguks kogu aeg kergesti, ka ta ketas ei jää süuruselt alati üheks ja samaks.

Ja pealegi on see «möödulint» väga kaugel. Isegi kui vaatlustel õnnestuks raskustest üle saada, kas saaks tema asukohta küllaldase täpsusega kindlaks määrata? Ei olegi nii lihtne jälgida, kuidas Maast 380 000 kilomeetri kaugusel asuv mööduriist liigub. Teadlased arvutasid välja, et tühine viga Kuu asendi määramises taevavõlvil pärastpoole, punktide vastastikuse asendi väljaarvutamisel maapinnal, 60 korda suureneb.

Kuid see-eest on kõigist neist puudustest vaba inimese poolt valmistatud kunstlik kuu — lunoid.



## TEHASES VALMISTATUD KUU

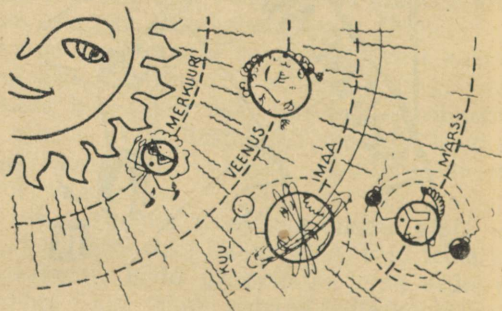
Üheksa venda on päikeseperes planeete, üheksa üksteisega mittesarnanevat eri maailma.

Kõigist kiiremini liigub Päikesele kõige lähemal asuv Merkuur. Kummaline maailm, kus ühel poolel on igavene päev ja igavene suvi, teisel aga — lõppematu, külm öö. Määratu suur loojumatu Päike — hõõgub, kõrvetav, muudaks oma väljakannatamatu kuumusega tuhaks igasuguse elu, mis söandaks tekkida talle niisuguses läheduses. Just nagu karistuseks julge katse eest jääda

kõikidest teistest Päikesele lähemale, on ta — see meie Kuu teisik — määratud surmale.

Mähituna pilveloori, kõrvetavate kiirte eest end just nagu varjata püüdes, rändab ümber Päikese kaunitar Veenus — kõige heledam päikeseperekonna planeetidest.

Veenus ja Maa on planeedid-kaksikud: niisamasuguses ühtlaselt helesinisevõitu valguses, läbi poolläbipaistva pilveloori paistab ka meie Maa, kui temale vaadata teiselt planeedilt.



Aga veel kaugemal joonestab oma trajektoori veripunane, värvilt tulekahju vastuhelki meenutav Marss, üks meie planeedile lähemaid ja kõige salapärasemaid planeete.

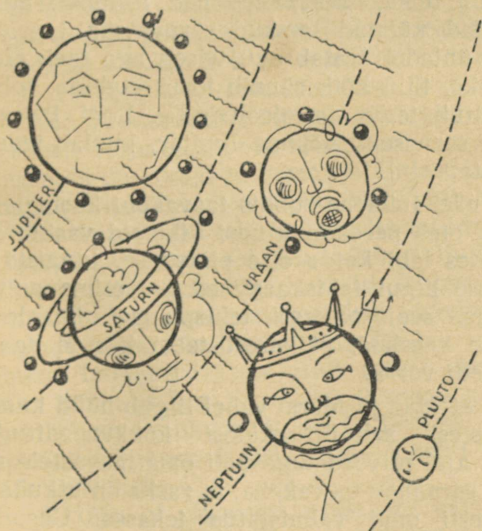
Tohutu, suursugune, aeglaselt tähtede keskel liikuv Jupiter ei sarnane hoopiski oma kaasvenda-dega. Massiivsena ja võimsana on ta lähedane pigem Päikesele endale. Aastaajad tal ei vaheldu, seal on alati külm ja üks aasta vältab kaheksateist maa-aastat.

Saturnini ulatuvad Päikese kiired juba vaevu. Seetõttu paistab ta täiesti tuhmilt ja tumedalt. Rasked mürgised metaani- ja ammoniaagipilved

tungivad tema ja ta kaksikvenna Uraani, ühe Päikesest kõige kaugemal asuva planeedi atmosfääri.

Kaugemal asuvad veel ainult Neptuun ja Pluuto. Valgust ja soojust saavad nad Päikeselt tuhandeid kordi vähem kui Maa. Neid haledaid riismeid piisab ainult selleks, et soojendada külmi planeete kõigest mõnekümne kraadi võrra üle absoluutse nulli — neid ümbritseva maailmaruumi temperatuuri. Pime jääne tühjus ümberringi, ja neil endil — sünge, kurjakuulutav, elu tundemärkidestki ilmajäetud maailm.

Neist üheksast planeedist ei oma ainult Merkuur, Veenus ja Pluuto kaaslasi. Marsil on neid kaks: Deimos — «Õudus» ja Phobos — «Hirm». Niisama palju kaaslasi on Neptuunil. See-eest lii-



gub Uraan viie, Saturn aga isegi üheksa satelliidi saatel.

Jupiter trumpas aga ka siin kõiki teisi üle: tema ümber tiirleb kaksteist «kääbust», millest mõned on isegi suuremad niisugusest iseseisvast planeedist nagu Merkuur.

Ja ainult meie Maad saadab tema teekonnal ümber Päikese ainult üks kaaslane — Kuu.

9 suurt planeeti ja 31 kaaslast — see on ühtne, vankumatu mehhanism. Niisuguseks lõi loodus meie päikesesüsteemi.

See kooskõlaline, nii täpne ja viimistletud mehhanism keerleb peatumata, et näib, nagu ei oleks selles ilma tema rütmilist käiku rikkumata mitte midagi võimalik muuta.

Üheksa planeedi peres on kõikvõimsaks Päike. See on tema, kes paneb nad liikuma, muudab tumedad külmad tombud säravateks taevakehadeks, ühtedel äratab elu, teised aga teeb elutuks kõrbeks. Siin kõik sünnib tema «tahte» kohaselt ja sõltub tema «meeleoludest». Isegi Päikesega kõige sarnasem, võimas Jupiter, kuulab teda tõrumata.

Ja näe, inimene sundis taevakehi koomale tõmbuma, oma perekonda uusi liikmeid vastu võtma. Lõigates läbi koidueelse pimeduse, tungisid kosmosesse algul tehiskaaslased — esimene, teine, kolmas, seejärel aga tehisplaneet. Maale tuli juurde kaaslasi, päikesesüsteem kasvas aga ühe planeedi võrra.

Nii et Maa ja Marsi vahel liigub nüüd kunstlik, tavalistest metallitükkidest kokkuneeditud ja samal ajal niivõrd tugevasti oma taevastele naabritele sarnanev taevakeha, et raske on uskuda, kas ta tõesti ongi valmistatud tehases. Uus, tema

kohast Päikese all sõltuva «oma» iseloomuga planeet.

Aga lähedases taevas piirab Maad uus Kuu. Tehiskaaslaselt nähtuna paistab Päike sassispäise, leegitseva, õhuloorist varjamatu koletisena. Halasamatult soojendab ta uut Kuud. Peites aga end tema põletavate kiirte eest Maa varju, sukeldub tehiskaaslane jäisesse musta sügavikku. Uus taevakeha — uus, meie maailmaga mittesarnanev.

Olgu pealegi tehiskuud ja -planeedid tõeliste planeetide ja nende satelliitidega võrreldes mikrokoopiliselt väikesed. Mis sellest, et nende ilmumine ei muutnud mitte ühegi vana planeedi sissetallatud püsivat teerada ja et isegi ehtsa Kuu liikumisele võistleja ilmumine mingit mõju ei avaldanud, on see ikkagi inimese võit, millele võrdselt ta pole kunagi varem saavutanud.

Esmakordselt päikesesüsteemi kogu eksisteermise jooksul hakkasid 9 planeedi ja 31 kaaslasega ühtses rütmis tiirlema jooniste järgi Maal valmistatud taevakehad. Ja see ei lakka mitte kunagi meie kujutlusvõimet rabamast.

Inimesel ei ole olnud julgemat ja ühtlasi ka julgunumat unistust kui see: rebida end lahti Maast ja siirduda kaasakiskuvale teekonnale mööda kosmose tundmatuid sügavusi. Alles üsna hiljuti võis kosmilistest lendudest lugeda vaid fantastilisest romaanist. Praegu aga teatab sellest ajaleht nappide ridadega kui tõestisündinud asjast.

Esimene inimeste tahtele alluv maine ese hülgas Maa piirid ja liigub ruumis. Inimene alustas võistlust võimsa konkurendi — Päikesega. Vaat, mis peitub lühikese fraasi taga: saadeti välja kunstlik taevakeha.

Selle faktiga, et planeedil, millel me elame, ei ole nüüd enam ainult üks Kuu, harjusime me kül-

latki ruttu. Ja justkui midagi täiesti endastmõistetavat loetakse tavalist ajaleheteadet: «Tänaseks sooritas Maa kunstlik kaaslane . . . tiiru ümber Maa.» Tehiskaaslaste kontuurid on tuttavad pisimate detailideni ja kunstliku kuu fotod võtsid tehnilistes raamatutes oma kohad nii kindlalt sisse, et näib, nagu oleksid nad seal kõrvuti rakettide ja kaasaegsete lennukite fotodega alati olnudki. Ja ometi igakord, kui pöördud tagasi mõtte juurde, et uus taevakeha on loodud Maal, hämmastud ikka uuesti ja uuesti lihtsa metallist kera või koonuse sellekssamaks taevakehaks muutumise üle.

Ainult et ta oli raketti paigutatud lihtsaks laadungiks ja liikus koos temaga. Kuid kaitsekest, mis teda kattis, eemaldus, tõuge — ja endine reisija asus iseseisvalt teekonnale ümber Maa. Nüüd on ta juba tehiskaaslane.

Aga mis siis õigupoolest muutus? Niisugune metallist kera või koonus, missugune ta oli raketi sisemuses, niisuguseks ta jäigi. Kuid, küsime, miks ta on siis just «Kuu», mitte aga ümber Maa maailmareisi sooritav lennuk, helikopter, või veel mõni teine ebatavaline «iselendaja»?

Mõistatuse lahendus peitub tema lendamisviisis endas. Selle lendamisviisiga ongi tehiskaaslase Maa mõõtmisteks kasutamise kõik plaanid seotud.

Mis juhtus sel momendil, kui tükk metalli raketist välja paisati? Miks ei kukkunud ta alla Maale, nagu langeb selle pinnale iga teine ese, kui tal puudub tugi, vaid ilma jäetuna igasugusest mootorist, omas imepärasest võimet iseenesest lennata?

Mitte kellelegi ei tule pähe küsida: millel püsib ja miks liigub, — isegi kui tegu on Maa enda või tõelise Kuuga. Need küsimused on lahendatud juba astronoomia koidikul ja õige vastuse neile

on saanud igaüks koos koolitarkusega. Kuid taeva-  
mehaanika seadustele alluvad ainult kauged, kos-  
mosesse laialipaisatud planeedid.

Meil Maa peal on aga selleks, et mingit eset  
ühest kohast teise siirduma sundida, vaja teda tin-  
gimata kogu aeg lükata, nihutada. Kui ta aga  
juba end Maast lahti on rebinud, siis peab ta sel-  
leks, et mitte alla langeda, millelegi toetuma —  
olgu see siis kas või nähtamatu ja peaaegu kaa-  
lutu õhk. Näiteks nagu lennuk.

Ja tahtmatult rakendame me kõiki neid maiseid  
seadusi Maal loodud tehiskaaslase liikumise kohta,  
ehkki too, niipea kui ta vaid raketist välja lendas,  
juba kosmilise maailma elanikuks muutus, kus  
kõigi kehade peamiseks liikumapanevaks jõuks  
on tõmbejõud. Seesama külgetõmbejõud, mis  
annab võimsuse Päikesele, tehes temast meie  
päikesesüsteemi käskija.

Konstrueerides lennukeid, helikoptereid ja teisi  
lendavaid masinaid, võitis inimene õhu: sundis  
teda kinni hoidma esemeid, mis on õhust endast  
palju raskemad. Lastes aga välja tehiskaaslase,  
saavutas ta võidu raskuse üle — selle kõikjal eksis-  
teeriva, koletu jõuga rõhuva «kaalupommi» üle,  
mis kõiki maiseid esemeid meie planeedi külge  
seob.

Rebides puruks meid Maa vangiks tegeva  
raskuse nähtamatud köidikud, sundis inimene teda  
uut taevakeha ringi keerutama. Ja selles on tema  
teine suur võit, mis on kätketud nendessesama-  
desse lihtsatesse sõnadesse: lasti välja Maa tehis-  
kaaslane.

Seda võitu ei saavutatud kergelt. Ja mitte see-  
pärast, et taevakeha ennast oleks olnud raske  
luua. Lendamise jaoks selle keha ehitus otsusta-  
vat tähtsust ei oma. Vaat miks on esimene Nõu-

kogude lunoid oma konstruktsoonilt nii erinev teisest, teine aga — kolmandast.

Selleks et taevakehaks saada, ei pea lunoid sugugi mingite haruldaste, ebamaiste omaduste kandjaks olema. On vaid tähtis, et ta omaks kaalu, s. o. oleks allutatud maakera külgetõmbejõu mõjule.

Ja siis pole talle vaja ei tiibu-tugipunkte ega mootorit-tõukejõudu. Kõigist lennuomadustest on talle tähtis ainult üks: mitte osutada suurt vastu-panu kokkupuutel õhuga, mitte takistada lendu, s. t. olla võimalikult voolujooneline.

Kuid see-eest, et lendamist ennast ilma tiibade ja mootorita võimalikuks teha, on vaja paisata kaaslane väga kõrgele — sinna, kus ta suudaks end salakavala raskuse jõust lahti rebida. Lennutada tulevane lunoid Maa pinnast sadade kilomeetrite kõrgusele — selle suutmisele oligi suunatud uue taevakeha loomise ülesanne.

Lahendada õnnestus seda alles siis, kui oli loodud spetsiaalne transpordivahend, millele osutus jõukohaseks toimetada tehases kokkumonteeritud metallist kest koos aparatuuriga õhuookeani põhjast peaaegu päris selle pinnale.

Ja mitte ainult lihtsalt kohale viia, vaid anda sellele metallitükile tohutu — kosmiline — kiirus, et ta jõuaks enne kihutama pista, kui raskuse võimas käsi teda Maa ligi tõmbama saaks hakata.

Niisuguseks kosmiliseks ülevedajaks sai raket. Startimisel raketi väljalasketorust väljapaiskuvate ja teda Maa pinnast kolossaalse jõuga lahti-tõukavate gaaside ulgumine kuulutas tibatillukese kääbuse ja lüüasaamisi mittetundva raskuse võimsuse ennekuulmatu kahevõitluse algust. Õhumassiivi tungivale kosmilisele laevale saatis ta vastu õhutakistuse orkaanijõu. Niisugune, väliselt

efemeerne õhk muutus kõvaks ja tihedaks nagu teras, kui inimese saadik sellest läbi püüdis tungida.

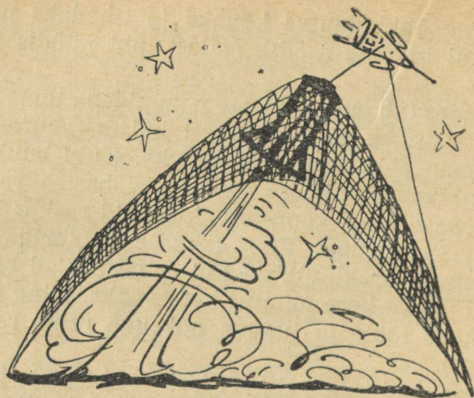
Rippudes tuhandepuudaste pommidena tema võimusest pääseda püüdva raketi küljes, suurendas raskus oma võimsuse sajakordseks. Kuid kuuletudes vankumatu inimese taatele, vabastas rakett end niipea liigsest koormast, kui vaid raskus hakkas ülevõimu saama. Koos esimese mootoriga heideti minema ärakulutatud kütteaine tühjad reservuaarid, laeva kere muutus kergemaks, teine mootor hakkas tööle ja tugeva nõksuga rebis rakett end edasi.

Nõrgenenud selles ebavõrdses võitluses ja kulutanud lõpuni kütteainevarud, sai näiliselt juba allaandmiseks ja alandlikult Maale tagasipöördumiseks valmistuv rakett ikka ja ikka uut toetust inimeselt, kes oli võitluse kõik etapid ette näinud ja vaenlase jõudu viimse piisani arvestanud.

Tema soovile alludes paiskas kergemaks muutunud raketi ülespoole uus, vajalikul minutil sisselülitunud mootor, ja mitte kunagi varem taandunud raskus oli sunnitud taanduma.

Tugev nõksak — ja vajalik kõrgus oli saavutatud. Metallist kera vabanes raketist ja kihutas edasi juba üksi. Rakett täitis oma ülesande: ta toimetas koorma «ohutusse» kõrgusse ja andis talle edasi kogu lennu ajal kogunenud kiiruse. Viimane, mida inimene sundis teda tegema, — oli ära tõugata temast eralduv koorem. Heidetud vabanemise momendil üles, kihutas metallist kera edasi veelgi kiiremini kui lendas rakett.

Raskuse nõrgaksjäänud käsi sirutas veel viimase jõuga inimese poolt kosmilisse kõrgusse heidetud metallitüki järele, ja see — mitte võimeline olles ära lendama ega alla langema — hakkas



tiirlema ümber Maa. Seda oligi aga inimesele vaja. Võimetu raskus andis alla ja pani kuulekalt ilma tiibadeta ja mootorita masina lendama.

Surnud metallist koorem muutus oma iseseisvat elu elavaks taevakehaks. Tõmbusid sirgeks antenni «tundlad», alla, kaugele, pilvedega kaetud Maale lendas «pip-pip-piip» — esimene raport sellest, et kosmose uus elanik nägi ja kuulis.

«Tehiskaaslane jõudis oma orbildile», märgiti see nõukogude teadlaste poolt vastuvõetud raport vaatluste päevikusse. Ja, avanud hommikul ajalehe, võisime lugeda: «Eile, 4. oktoobril 1957. aastal, toimus Nõukogude Liidus Maa tehiskaaslase edukas väljalaskmine...» Ja edasi — kaal, suurus, lennukõrgus — tavalised, nii proosalised andmed, nagu oleks jutt mitte uuest taevakehast, vaid hoopiski mingisugusest maisest mehhanismist.

Rahulike, kindlate sõnadega, nagu ei oleks võidudki selle titaanliku võitluse õnnelikus lõpus kahelda, nii väikese ja nõrga inimese võidus, kui

ette kujutada võitluse kosmilisi mastaape, ning nii tugeva, kui otsustada selle võitluse tulemuste järgi.

Võimsaks teevad teda mitte üksnes ühe inim-põlve kestel kogutud teadmised ja tarkus. Teadmised, mis võisid kehastuda reaalses teos ainult kõige eesrindlikuma tehnikaga maal. Teadlased teadsid ka varem, kuidas tehiskaaslast välja saata. Kuid selle hulljulge idee teostamine osutus jõukohaseks ainult nõukogude inimestele. Loova mõistuse võit, nõukogude teaduse võit, kolmandaks — hämmastav võit, mille puhul ei saa jääda ükskõikseks, lugedes lühikest teadet tehiskaaslase välja-saatmisest.

Niisiis, lunoid ei lange, vaid lendab. Lendab seepärast, et Maa teda külge tõmbab, täpselt niisamuti, nagu Päikese võimas külgetõmme planeete paneb liikuma. Kuid ometi ei saa ka lihtsalt öelda, et ta ei lange.

Ta ju ainult seda teebki, et langeb, nagu pidevalt Päikese poole langeb ka meie Maa ise ja kõik teised planeedid. Kuid nii nagu nemad ja nagu looduslik Kuu ei saa temagi alla langeda. Segab see, et nad langedes ühtlasi ka edasi liiguvad.

Kui seesama meie tehiskaaslane lihtsalt üles kosmosesse heita ja ta seal peatada, siis ei saaks temast üldsegi Maa tehiskaaslast, vaid ta kukuks tingimata alla, nagu oleksid Päikesele kukkunud kõik planeedid, kui neilt liikumise võimalus oleks ära võetud.

Niikaua kui nad liiguvad, hoiab neid tagasi inertis, — seesama, mis teid kangekaelselt tagasi kallutab, kui juht trammi liikuma paneb, ainult miljon korda tugevam, — laskmata neil Päikesele langeda. Nii palju, kui Päike planeete, planeedid aga oma kaaslasi ligi tõmbavad, niisama

palju veab inerts neid ka edasi. Ja tulebki välja, et planeedid ja kaaslased kogu aeg langevad, see langemine ei lõpe aga mitte kunagi. Kaaslased ja planeedid oleksid justkui nähtamatu tugipunkti külge riputatud. Vaat miks ka öelda ei saa, et lunoidi ei hoia mitte miski kinni.

Aga mis siis, kui äkki see kõikjal eksisteeriv raskus kaob, kui Päike ja planeedid oma külgetõmbevõime kaotavad? Kogu päikeseperekond laguneks samas, lennates igas suunas laiali: kaaslane kihutaks eemale Maast, Maa aga — eemale Päikesest.

Tuleb välja, nii paradoksaalne kui see ka ei ole, et seesama raskus, mis paneb kaaslase ümber meie planeedi lendama, täidab ühtlasi ka teda ruumis kinnihoidva tugipunkti ülesannet. Seesama njuutonlik külgetõmbejõud, mis sundis Galilei kivi alati Maale tagasi pöörduma, Kuuni heidetult aga ise Kuuks muutus, samuti allalangevaks, ainult mitte enam Maale langeda suutvaks.

Newtoni pooleldi unistus, pooleldi fantaasia näis kõlblikuna vahest ainult «maise» ja «taevase» raskuse identsuse tõendamiseks! Mäletate: kui visata Galilei kivi nii kaugemale, et ta muutuks Kepleri Kuuks . . . Kui aga juba välja lasta tehiskaaslane — tähendabki see maise eseme viskamist niisugusesse kõrgusse, et see enam Maale tagasi pöörduda ei suuda.

Vaat miks kosmoses ümber meie planeedi liikuv konteiner koos aparaatidega ei ole mingi ebatavaline lendav aparaat, vaid kõigepealt «kivi», mis muutus oma kauguse tõttu taevakehaks — Newtoni üldise gravitatsiooni seadusele alluvaks tehiskuuks.

Gravitatsiooni enda juurde, selle juurde, kuidas ta taevakehi sunnib edasi liikuma, oleks võinud

vahest ka mitte enam tagasi pöörduda, kui mitte raamatu alguses jutustatud lool poleks olnud järge.

## MIKS RASKUS ON TUGEV

Laboratooriumi vaikust justkui lõikav purustatud klaasi heli pani teadlase võpatama: jälle avas keegi ukse! Kuipalju kordi on ta palunud katse ajal mitte siseneda! Kui juba pole võimalik ära õppida täpne olema, siis ei tasu niivõrd peenes katses abistama hakatagi. Nii ongi: ehmatatud seile ootamatu terava heli poolt, kõigutas ta kogemata anumad, ja nüüd õõtsus läikiv läbipaistmatu vedelik vaevumärgatavalt.

Ta vaatas ärritatult koridori. Kuid seal polnud kedagi näha. «Nähtavasti tuul,» mõtles professor juba rahulikumalt. Ta närvises ilmselt. Muide, see pole tark. Justkui oleks tal ees seisnud lahing niisuguse tavalise tõmbetuulega... Ja harjunult, nagu nüüd alati, kui tal tuulega kokku põrgata tuli, taastas ta mõttes kuni pisimate detailideni selge pildi.

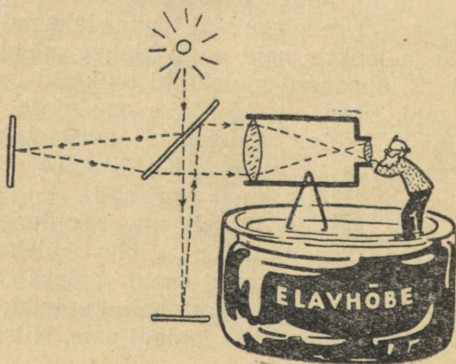
Vaat tuul lõi hooga ukse lahti, klirises purustatud klaas. Terav kõrge heli tõukas lähemaid õhu molekule ja jooksis neid nagu klahve mööda kiiresti edasi, lähedased molekulid tõukasid naabruses asuvaid, need andsid tõuke omakorda edasi, kuni lõpuks kõige kaugemad neist vetruvalt professori kõrva tõukasid. «Klirdi!» Ta pöördus vihaselt ümber: jälle löödi uks lahti.

Jah, kõik see oli täpselt nii. Koridor ainult näib tühjana. Tegelikult on ta õhu molekulidest üleni täidetud. Ometi, kui neid poleks olnud, poleks ta purunenud klaasi heli kuulnud. Heli ei saa levida tühjuses, kus midagi pole. Nitsamuti,

nagu, muide, gravitatsioongi... Aga see põlk-  
pea Newton kinnitas veel, et raskusjõud ulatub  
isegi kuni kõige kaugema esemeni silmapilkselt,  
lábides teadmata kuidas neid lahutava maailma-  
ruumi tühjuse. Ja see oli, loomulikult, kõige hel-  
lemaks kohaks tema teoorias.

Nüüd arvas enamik teadlasi, et kõigi kehade  
— nende «mateeriatompude» — vahel ei asu  
mitte njuutoni tühjus, «absoluutne ruum», nagu  
tema väljendas, vaid mingisugune vahepealne,  
harilikule silmale nähtamatu keskkond. Läbi  
selle tõmbavadki kehad üksteist ligi. Taoliselt  
mööda pisimaid õhuosakesi rändavale helile kan-  
dub tõenäoliselt Päikese ja Maa vahelist ruumi  
täitva «eetri» pihustatud terade kaudu edasi ka  
Päikese külgetõmbejõud Maale.

Professor Michelson vaatas veel kord labora-  
tooriumis ringi. Suurde anumasse kallatud läi-  
kiv, sulatinataoline vedelik oli juba rahunenud.  
Jah, seda oli ta õigesti välja mõelnud — paigu-  
tada oma aparaat elavhõbedas ujuvale suurele  
plaadile. Tema abiline askeldas projektsiooni-  
aparaadiga, reguleerides valguse tugevust.



Projektsiooniaparaat, kaks peeglit valguse peegeldamiseks, aparaat valguskiire lõhestamiseks ja ujuv vastuvõtja, kus mõlemad kiirtekimbud pidid uuesti ühinema — need ongi õigupoolest kõik need lihtsad seadised, mille abil ta otsustas «eeterlikku tuult küttida», nagu seda üritust nimetati.

Paljud tema kaasaegsed leidsid, et hääle õhus ja valguse eetris levimise vahel on palju ühist. Kuid hääle jõuab meieni kiiremini päri-, mitte aga vastutuult. Täpselt samuti peab ka valgus mingist allikast, mis meist ida pool asub, paistma meile kiiremini levivana, sest et liikudes koos Maaga ümber telje, ajame me temale justkui peale. Aga valgus vaatelejast lääne pool asuvast projektsiooniaparaadist peab sellevõrra taha jääma, sest ta kihutab meie kannul. Seda kõike muidugi sel juhul, kui eksisteerib valguse edasikandja ülesandeid täitev, kuid ise liikumatu kurikuulus eeter.

Eeter on valguse jaoks seesama, mis õhk hääle jaoks. Aga meie planeedi liikumine läbi eetri, ja mõju, mida viimane valguse levimisele avaldab, on analoogiline tuule mõjuga hääle levimise kiirusele. Avastada see «eeterlik tuul», see tähendab mõõta valguse kiiruse vahe selle levimisel läänepoolsest ja idapoolsest projektsiooniaparaadist, mõtles ameerika teadlane. Kui lisada, et võimalik vahe peab moodustama mitte rohkem kui ühe miljondiku osa valguse normaalsest kiirusest, siis saame selgeks, missuguse raske ülesande ta endale võttis.

Mõistagi ei saa juttu olla sellest, et niisugust mikroskoopilist suurust tõepoolest mõõta. Võib juba võiduks lugeda isegi seda, kui valguse mahaäämist ennast korda läheks märgata. Selle sihiga professor Michelson lõhestaski valguskiire kahte

ossa, sundides neid edasi liikuma lahus: ühte läänest itta kuni peegli ja tagasi, teist lõunast põhja, samasuguse peegli.

Kui «eeterlik tuul» eksisteerib, siis jääb esimene kiir, liikudes meie järel, maha. Hiljem uuesti ühendatuna ei lange mõlemad kiired enam täpselt kokku. Aga selleks, et vältida igasuguseid kõrvalisi kõikumisi või tõukeid, mis võiksid vaatluste tulemusi moonutada, asetatigi «eeterliku tuule» püünis tihedale elavhõbedale.

Niisiis, kõik oli ebatavaliseks eksperimendiks valmis. Michelson heitis pilgu sekundimõõtjale ja noogutas oma abilisele. See lülitas sisse projektsiooniaparaadi, esimene valguskiir libises peegli poole. Veel sekund, teine — ja püünis rabeleb, nihutades paigalt kiirte peegeldusi ning laskmata neil ühineda, salapärane «eeterlik tuul» . . .

Kuid möödus mitu tundi, kõik jäi aga endiseks, muutumatuks. Üksteise järel lõhestusid ja ühinesid uuesti valguskiired, aga kuidas Michelson oma püünist ka poleks pööranud, kord itta, kord põhja, kord läände, ei jäänud mitte ükski neist maha ega jooksnud ette, just nagu poleks mingit «eeterlikku tuult» üldsegi olemas.

Paljude aastate jooksul kordas professor Michelson visalt oma täpselt väljaarvestatud katset, milles isegi kõige parandamatamad skeptikud ei suutnud mingit arvutusviga avastada. Samasuguse ebaõnne osaliseks said ka teised, mitte vähem teravmeelsed «eeterliku tuule» avastamise katsed.

Ja kuna palju kordi korraldatud eksperiment ikka ühtesid ja samu tulemusi andis, teatas professor Michelson, et mingit «eeterlikku tuult» looduses ei ole, nagu ei eksisteeri ka eetrit ennast. See oli 1929. aastal.

Kuidas aga levib raskusjõud, mille kaudu

kehad üksteist külge tõmbavad? Selge oli ainult üks: mitte mõistatuslik njuutoni tühjus, ega ka nii kahtlane eeter ei võinud olla vahendajaks kehade vastastikusel mõjus.

Newtoni aegadel oli teada ainult üks kauguse taha mõjumise viis — külgetõmme raskusjõu mõjul. Nüüd on avastatud, et ka elektri- või magnetilaengut omavad kehad võivad üksteist samuti külge tõmmata. Aga alles päris hiljuti avastati ka aatomisisestel osakestel samasugune võime, mis esineb tänu erilisele tuumalaengule.

Kaasaegne füüsika seletab hämmastavat võimet, mis võimaldab raskusjõul, magneti-, elektri- ja tuumaenergial mõjuda tohutute vahemaade taha sellega, et kehade vahel, mis neid energiasid sünnitavad, tekib eriline mateeria liik — väli.

Kui kaks keha on elektriga laetud või magnetiseeritud, tekib nende vahele vastavalt elektri- või magnetväli. Aatomituuma üksikute osakeste vahele tekib tuumaväli. Ka gravitatsiooni- või raskusvälja võib täheldada mis tahes kehade vahel. On ainult vaja, et need omaksid vähemalt mingisugust massi, seda aga, nagu teada, omavad absoluutselt kõik kehad. Vaat miks ta tekib isegi aatomi sisemusse suletud tibatillukeste osakeste vahele.

Väljal ei ole kindlaksmääratud geomeetrilist kuju, nagu mis tahes teisel materjal — olgu see meie hiiglasuur planeet või pisike aatom. Kuid, nagu igasugusel materjalil, on ka väljal teatud energia, mis võib temas asuvaid esemeid liigutada, ühest kohast teise nihutada või mingit muud tööd sooritada.

Kuigi tal pole kindlaid piire, on väljal ruumis teatud ulatus; samuti ei ole võimalik ära näidata täpset piiri, mille taga tema mõju lõpeb. Kõige

võimsam on väli teda tekitanud allika liigiduses, kuid mida kaugemale, seda rohkem ja rohkem ta nõrgeneb.

Veel üks imetusväärne erinevus eraldab välja mis tahes teisest materia ainelisest kujust. Niihästi tohutu kosmiline keha kui ka tilluke aatom võtavad enda alla teatava ruumi. Mitu planeeti või aatomit võivad asetseda vaid üksteisega kõrvuti. Magnet-, elektri- või raskusväljad asetsevad aga rahulikult ühes ja samas ruumi osas, just nagu üksteise sisse laotult.

Vaat miks mis tahes taevakeha võiks üheaegselt oma kaugete naabritega justkui kolmes keeles vestelda: ühekorraga välja kiirata magnet-, elektri- ja gravitatsioonivälja. Nagu näiteks meie Maa.

Praegu ei hakka enam keegi kinnitama, et kompassinõela pöörab Põhjanaan, nagu alles mõni sajand tagasi tõsiselt arvati. Ja tüürimees, kes kompassi järgi lennukit läbi polaaröö juhib, marsruudile siirduv geoloog või lihtsalt koolipoiss, kes rännakutest alles unistab, teavad hästi, et meie Maa ise on — hiiglasuur magnet.

Maad ümbritsev magnetiookean aga, mille lained kohati nii hämmastavalt hästi geoidi kühmade ja nõgudega kokku langevad, — see ongi meie planeedi magnetlaengu poolt sünnitatud magnetväli. Maa tohutu mass aga moodustab ta ümber tugeva raskusvälja.

Kaugust, mille taha maakera gravitatsioonivälja mõju märgatavalt tunda on, hindavad astronoomid umbes 900 000 kilomeetrile. Ta ümbritseb maakera üsna soliidises paksuses ja valdab niisugust võimsust, et sunnib rasket Kuud kiiresti ringi ümber Maa kihutama. Too aga asub meist peaaegu 400 000 kilomeetri kaugusel. Selle

võimsa külgetõmbevälja võimusesse sattus ka tehiskaaslane.

Veelgi võimsam on Päikest ümbritsev raskusväli. Tema ulatus on miljardeid kilomeetreid. Ja isegi Pluuto, asudes Päikesest 6 miljardi kilomeetri kaugusel — s. o. nelikümmend korda kaugemal kui Maa —, ei liigu kaugeltki veel tema «piiri» mööda.

Päikese gravitatsiooniväli suudaks liikuma panna veel palju kaugemaid planeete, kui niisuguseid oleks. Igal juhul alles meie planeeti Päikesest lahutavast kaugusest üle tuhande korra suuremas kauguses muutub tema külgetõmme lähemate tähtede omast nõrgemaks. See tähendab, et kui sinna tõe poolest mingi planeet äkki satuks, siis hakkaks ta liikuma mitte ümber meie Päikese, vaid ümber teise päikese, näiteks ümber tähe alfa Kentauri tähtkujust.

Külgetõmbejõudu kolossaalsete kauguste taha ülekandvad võimsad, tormilised gravitatsiooniväljad teevadki raskuse nii kõikvõimsaks.

Maa magnetlaengu ligikaudne mõõtmine või samuti tema massi umbkaudne määramine ei ole enam nii keeruline. Ka see on teadlaste poolt juba ammu läbi tehtud. Kuid isegi, kui teada, et maamagnet ei ole väga võimas ja tõmbab kehasid ligi umbes samuti kui kooli «hobuseraud» 10—15 sentimeetri kauguselt ja et maakera kaalu väljendatakse, vastupidi, 22-kohalise arvuga, ei ole meil veel siiski võimalik täpselt öelda, kuidas meie planeedi magnetväli mingile elektriga laetud kehale mõjuks. Või kuidas liigub maa gravitatsiooniväljas seesama tehiskaaslane. Selleks et võida sellele küsimusele vastata, on ju vaja teada välja üksikasjalikku joonist.

Pärast kõike, mis oli öeldud nähtamatust, kind-

lat kuju mitteomavast väljast, võib see kõlada täieliku absurdsusena. Kuidas üles joonistada seda, millel ei ole piirjooni? Kuid kuidas nõukogude teadlased omal ajal nähtamatu geoidi üles joonistasid?

Nad märkisid Maa kaardil ära punktid, kus geoid oli mõõdetud, s. t. oli teada tema kõrgus ellipsoidi suhtes, ja ühendasid nendest need, mis täiesti ühesugust väärtust omasid. Saadi terve grupp kõverjooni.

Umbes niisamuti toimivad teadlased, kui neil on vaja «üles joonistada» magnet- või, ütleme, elektrivälja. Nad asetavad välja paljudesse kohtadesse väikese laengu või pisitillukese magnetikese ja märgivad ära selle asetussuuna. Kui seejärel tõmmata sujuvad kõverjooned, mis nendele suundadele on puutujateks, siis saadakse pidevad jooned, mis näitavad välja mõjumissuunda. Neid nimetatakse tavaliselt jõujoonteks.

Jõujoonte abi kasutavad teadlased siis, kui neil on tarvis paberil mingit välja kujutada. Heites pilgu niisugusele joonisele, võivad nad otsekohe kindlaks määrata välja iseloomu: mida tihedamalt asetsevad ühes või teises kohas jõujooned, seda energilisemalt mõjub siin väli liikuvale esemele. Aga missuguses suunas — seda näitavad jooned ise.

Võimsa kimbuna paiskuvad magneti jõujooned välja Antarktise rannikust ja paindudes ruumis ümber Maa, tungivad nad kuskil Kanada arhipelaagi saarte vahel põhjapoolkerasse. Sellest jutustaski ju seesama kompassinõel, mis sai Maa magnetvälja esimeseks mõõtjaks. Tema täidabki alati piki jõujooni suunduva magneti osa.

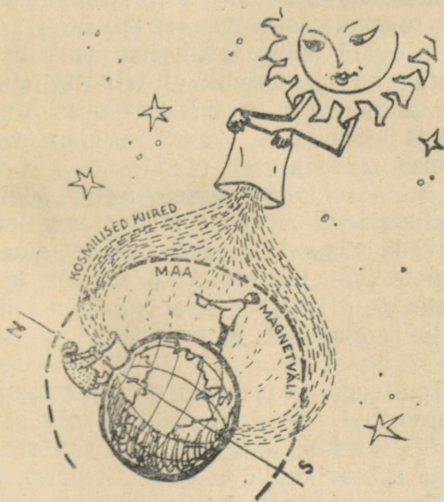
Maa gravitatsioonivälja joonis on niisama keeruline. Suunda, milles raskusjõud mõjub, näitab

meile tavaline ripplood — niit väikese raskusega selle otsas.

Teadlased oskasi ühe väljadest — magnetvälja, teha isegi kombatavaks.

Seda lihtsat koolikatset mäletavad tõenäoliselt kõik. Magneti kohale asetatud paberilehele riputatakse peent rauapuru. Ja ootamatult hakkavad nad rivistuma ringikujuliselt — nähtamatud jõujooned, mille eksisteerimist tuli uskuda sõna peale, muutusid äkki nähtavaks, justkui oleksid nad fotoplaadile ilmutatud.

Niisuguste «rauapuru» otsingutega tegelesid hiiglaslikku maamagnetit uurivad teadlased. Osutus, et rauapuru osa võivad täita kosmilised kiired, mis lakkamatu vooluna maailmaruumist maakerale voogavad. Põrgates Maad ümbritsevale



nähtamatule magnetbarjäärile, elektriliselt laetud osakesed justkui «komistaksid».

Maa magnetvälja läbida ei õnnestu neist mitte igapähele. Kõige nõrgemad laskuvad alistunult polaarjoone lähedastesse rajoonidesse, libisedes alla mööda jõujoonte liikumatut lehvikut. Kõige jõulisemad aga, läbistanud magnetvälja, tungivad keskmistele ja ekvatoriaalsetele laiustele.

Maamagnet just nagu sorteeriks kosmilisi kiiri. Ja ära mõõtnud, kui palju osakesi ja missugust võimsust nad erinevatel laiustel Maa pinnal arendavad, kujutavad teadlased endale nendes või teistes kohtades esineva maa magnetvälja suurust selgesti ette. Nad saavad justkui kosmiliste kiirte poolt üles võetud magnetvälja foto.

Miks oli vaja tema struktuuri tundmaõppimiseks nii keerulist teed kasutada? Kas ei oleks olnud lihtsam võtta rauast kera, magnetiseerida ta sama tugevalt nagu maakeragi, ning ta mitte kosmilise, vaid kõige tavalisema metallipuruga üle riputada? Kunagi umbes nii talitatigi. Ja kõik, mida lihtsa metallist kera magnetväljas õnnestus «näha» ja «kombata», kanti maa magnetvälja «joonisele» mehaaniliselt üle.

Kuid mida rohkem magnetomeetri nõel koos magnetoloogidega mööda tõelist magnetiookeani rändas, seda silmanähtavamaks sai, et maa magnetväli pole kaugeltki nii lihtne, kui see, mis ühtlaselt sileda metallist kera ümber moodustub. Maa pole ju hoopiski mitte niisugune ideaalne kera.

Nüüd on teada, et maakeragi on asümmeetriliselt magnetiseeritud. Tema magnetiline telg ei lange geograafilisega kokku. Ta on 11°30' võrra pöörlemistelje suhtes kaldu ja Maa tsentrist tervelt 1140 kilomeetri võrra Vaikse ookeani poole nih-

kunud. Ka magnetväli pole lääne- ja idapoolkeral võimsuselt ühesugune.

Péale selle avastati maa magnetväljas tunduvad ebaühtlused. Jõujooned, selle asemel et sujuvaid kaari moodustada, koolduvad, liginduvad kõige ootamatumates kohtades, just nagu asuks siin kuskil mingi lisamagnet. Ühes niisuguses kohas prooviti magnetvälja suurust mõõta. Selgus, et ta on siin palju suurem, kui ta oleks pidanud olema. Niisuguste magnetiliste kondensatsioonide põhjuste üle teadlased, nagu me teame, vaidlevad.

Niisama ebaühtlane on ka maa gravitatsiooniväli. Metallist kera ümber tekkivast gravitatsiooniväljast eraldab teda kaks erinevust. Metallist kera — see on tegelikult kera ja tema gravitatsiooniväli mõjub ühesuguse tugevusega kõigis suundades. Maa on aga lapik, seepärast on tema gravitatsiooniväli ebaühtlane: ühel ja samal kaugusel planeedi pinnast omab ta erinevat suurust pooluste kohal ja vastu ekvaatorit.

Peale selle on metallist kera tihedus täiesti ühesugune tema mis tahes kohas, mispärast võib arvata, et tema gravitatsiooniväli tekib ühes punktis — kera tsentris. Siis on teda ka väga kerge üles joonistada.

Maa aga, nagu teada, on ebaühtlane ja tema eri osad arendavad ka erinevat külgetõmbejõudu, mispärast maa gravitatsiooniväli muutub väga keeruliseks, koosnedes justkui paljudest kohalikest väljadest. Teda on niikaua raske üles joonistada ja, järelikult, jõudu, millega ta ühes või teises kohas mõjub, ette välja arvestada, kuni ta ei ole sõna-sõnalt risti ja pikuti täpselt läbi mõõdetud.

Vaat, miks teadlastele, kes tehiskaaslase küll

Maa gravitatsiooniväljas liikuma panid, osutus õmeti üle jõu käivaks uue kuu täpset marsruuti kogu tema eluajaks ette öelda.

## SÕNAKUULMATU SPIRAAL

«Kuidas siis nii,» küsib lugeja. «Isegi juba kõige esimeses teadaandes kunstliku Kuu väljalaskmisest oli öeldud: kaaslane jõudis määratud orbiidile, — ja toodud selle eraldustunnused — kõrgus üle maapinna, kaldenurk Maa suhtes ja nii edasi. Kas siis tehiskaaslane teadlasi ei kuulunud ja liigub mitte selles kõrguses ning mitte selle nurga all, mis talle olid määratud?» Peatume sellel üksikasjalikumalt.

Tohutu kõrgus ja suur kiirus on, nagu öeldi, kõige tähtsamad tingimused tavalise «kivi» planeedi kaaslaseks muutmiseks. Ja mitte lihtsalt suur kõrgus ning suur kiirus, vaid juba varem täielikult kindlaks määratud ja kaua aega enne, kui tulevane tehiskaaslane oma pilvetagust rändu alustas, ette välja arvutatud.

Imestusväärne lend ilma igasuguse mootorita — langemine, mis iialgi langemisega ei lõpe — algab sellest momendist, kui on saavutatud jõudude, nii selle, mis «kivi» Maa ligi tõmbab, kui ka selle, mis teda veelgi kaugemale kosmosesse püüab paisata, tasakaal.

Selleks peab aga meie «kivi» kihutama kiirusega umbes kaheksa kilomeetrit sekundis. Ainult sel tingimusel ei pöördu ta Maale tagasi ja jääb ta ümber ringi ringi järel tiirlema. Seepärast niisugust kiirust nimetataksegi ring- või orbitaalseks kiiruseks, kuna antud juhul viibib «kivi» nagu iga taevakehagi oma orbiidil.

Edasiliikumise kiirust, mis kõiki maapealseid kiirusi palju ületab, võib saavutada ainult mitmeastmeline raket. Tavalisel, astmeteks jagamata raketil tuleks endaga kaasa vedada nii suurt kütuse varu, mida ta poleks lihtsalt võimeline üles tõstma. Vabanedes aga ühest oma osast, muutub raket kergemaks. Ja nüüd vajab ta ka palju vähem kütust. Vaat miks raket vihase heitluse ajal raskusega oma astmed üksteise järel minema heitis. Ainult see võimaldaski tal tehiskaaslase orbiidile viia.

Kuid miks teadaandes öeldi, et lunoid liigub ümber meie planeedi mitte ringi, vaid ellipsit mööda?

Asi seisab selles, et kiirus 8 km/sek. on antud justkui tagavaraga. Ta ei lase «kivil» Maale langeda isegi siis, kui me oleksime ta visanud otse Maa pinnalt. Aga kuna isegi meie esimene tehiskaaslane hakkas liikuma peaaegu tuhande kilomeetri kõrguses (teine ja kolmas veelgi kõrgemal), kus raskusjõud juba kauguse tõttu nõrgenes, siis sai ta just nagu mõninga kiiruse ülejäägi. Raskusel osutus seetõttu tema tee kõverdamine raskemaks ja lunoidi tee venis välja, muutudes ellipsiks.

Teades Maa külgetõmbejõudu ja seadusi, mille järgi Maad ümbritsev gravitatsiooniväli toimib, arvestasidki teadlased selle ellipsi suuruse ja kuju ette ära.

Maa keskpunkt asub selle ellipsi ühes fookuses. Seepärast tehiskaaslane kord läheneb Maale, kord eemaldub sellest. Esimese tehiskaaslase orbiidi kõige kaugem punkt asus Maa pinnast umbes 900 kilomeetri kaugusel. Ellips oli ainult pisut välja venitatud ja erines ringjoonest vähe. Tema kalle Maa ekvaatori suhtes moodustas  $65^\circ$ .

Niisugune oli raketi juhtimise automaatsele aparaadile Maal antud ülesanne. Sellest, kuivõrd õigesti ta seda täidab, sõltus — kas rakendatud laadung muutub tehiskaaslaseks või mitte.

Kui teadlaste arvestustes oleks esinenud kas või pisemgi arvutusviga ja raketi mootor ei oleks vajalikku kõrgust saavutanud või oleks teda viimasel momendil tõuganud veidi aeglasemalt või ebaõiges suunas, oleks lahingust võitjana väljunud raskus, lunoid aga oleks uuesti lihtsaks kiviks muutununa Maale tagasi pöördunud, nii nagu senini kõik ülesvisatud esemed on tema pinnale alla langenud.

Aga mis siis juhtub, kui kosmosesse paisatava keha kiirus osutub 8 km/sek. suuremaks?

Tema orbiit venib rohkem välja. Näiteks teine Nõukogude tehiskaaslane, saanud 4. oktoobril saavutatuga võrreldes mõnevõrra suurema kiiruse, jõudis Maast juba 1500 kilomeetri kaugusele, tungides veelgi sügavamale kosmosesse.

Kiiruse edasine suurendamine venitab tehiskaaslase orbiidi veelgi tugevamini välja, kuni lõpuks ellipsi mõlemad pooled täiesti katkevad ja tehiskaaslane neist üht sirgestunud kõverat mööda Maast eemale kihutab, muutudes tehisplaneediks või meteoriks.

See võib toimuda siis, kui raketi viimane aste arendab kiirust üle 11 kilomeetri sekundis, s. o. kiirust, mille juures maine ese maa külgetõmbe köidikuist täielikult vabaneb. Just niisuguse «vabastuskiirusega», nagu teda nimetatakse, startiski Maalt rakett, mis lähetati Kuu poole ning mis muutus Päikese tehiskaaslaseks.

Nagu näeme, tuleb tehiskaaslasel, et saada selleks tõeliselt, väga täpselt täita kõiki inimese ettekirjutusi ja liikuda rangelt väljaarvestatud

teed mööda. Juba üksi see fakt, et tehiskaaslaste väljasaatmine on toimunud edukalt, annab tunnistust nende arvutuste suurest täpsusest. Uue taeva-keha väljalaskmise raskeim teaduslik ja tehniline ülesanne lahendati hiilgavalt nõukogude teadlaste poolt ja kõik meie tehiskaaslased jõudsid just nendele orbiitidele, mille kuju ja suurus oli neile ette kindlaks määratud.

Ometi ei tähenda tehiskaaslase orbiidile jõudmine hoopiski seda, et see kogu aeg nagu köidikusse pandult ühte ja sedasama marsruuti mööda liiguks. Tema orbiit ei jää muutumatuks. Talle avaldavad mõju kaks põhjust: õhutakistus, isegi väga tugevasti hõrenenud õhu, ja Maa gravitatsioonivälja ebaühtlus.

Vastutulev õhk täidab omalaadse piduri ülesannet, vähendades tehiskaaslase liikumise kiirust. See pidur mõjub orbiidi erinevates punktides erineva jõuga. Kõige suuremat takistust tuleb tehiskaaslasel taluda siis, kui ta Maale ligineb. Sukeldudes maapinda piiravatesse tihedamatesse kihtidesse, kulutab ta nende võitmiseks rohkem jõudu. Ja vaatamata sellele, et Maa pinnalt kaugemale jäävatest hõredamatest kihtidest lendaks tehiskaaslane just nagu väljalülitatud piduriga läbi, ei suuda ta enam eelmisel korral samas kohas saavutatud kõrgusele tõusta.

Nõrgenenud võitluses õhutakistusega ja laskunud madalamale, pöörab Maa külgetõmme ta tagasi, laskmata tal orbiidi «lõpuni» minna. Järgmise ringi ajal siseneb tehiskaaslane tihedatesse õhukihtidesse veelgi madalamal ja need pidurdavad ta jooksu veel tugevamini. Tema esialgne elliptiline orbiit lüheneb ja «pakseneb» üha rohkem, kuni muutub ringiks.

Kuid ka sellega ei lõpe veel orbiidi muutu-

mine. Ta tõmbub Maa pinnale ikka lähemale ja lähemale, iga ringi aeg hakkab aga vastavalt vähenema.

Tohututes kõrgustes, kust tehiskaaslane oma liikumist alustab, on atmosfäär palju hõredam ja pidurdamine algul vaevumärgatav. Kuid sattudes tihedamatesse õhukihtidesse, põrkab tehiskaaslane kokku suure hulga õhu molekulidega, hõõrumine nende vastu muutub niivõrd tugevaks, et kaaslane läheb tuliseks ja põleb lõppude lõpuks ära. Põleb ära meteoori sarnaselt, mis suure kiirusega Maa atmosfääri lennates järsku eredalt süttib ja söena kiiresti hääbub.

Poleks olnud seda kahetsusväärset pidurdamist, oleks juba kord väljapaisatud tehiskaaslane lennanud igavesti, nii nagu on igavene planeetide liikumine õhuta ruumis.

Võib kerkida küsimus: miks teadlased, kujutades ette nende muutuste kõiki üksikasju, neid oma arvutustes tehiskaaslase orbiidi kohta arvesse ei võtnud? Olgugi, et see polnud veel püsiv ellips, vaid oma kuju muutev kõverjoon, kuid kõik tema «keerutused» oleks tulnud varem välja arvutada.

Seda oli võimatu teha, sest atmosfääri tihedus oli neis kõrgustes, kus tehiskaaslane liigub, teadlastele seni veel mitte täielikult teada. Võisime ju seni Maa õhukatte omaduste kohta oletusi teha ainult kaudsete tunnuste põhjal: kuskil päris õhookeani «piiril» oma fantastilisi eesriideid laotavate virmaliste vehklemise ja seal põlevate, universumist pärit juhuslike külaliste — meteoritide — jälgede põhjal.

Ja pole ime, et need andmed olid paljuski ligikaudsed. Proovige end kujutleda merepõhja elanikuna, kes püüab otsustada elu üle mere pinnal, vaadeldes seda läbi tuhandekilomeetrise

veemassiivi. Meie aga asume ju ka õhuookeani põhjas.

Veel päris hiljuti peeti Maa atmosfääri seal maailmaruumi piiril mitte just väga tihedaks ja küllalt soojenenuks. Aga esimene õhusügavusse unginud lood tõi täiesti teistsuguseid andmeid. Õhuookean osutus mõõtmiskohtades külmemaks ja tihedamaks kui varem oletati.

Ja ometi olid need jällegi väga ebatäpsed andmed. Nagu mõned meresügavuse mõõtmised ei suuda pilti anda kogu ookeani ehitusest, niisama vähe ütlesid teadlastele atmosfäärimassiivi kui terviku omaduste kohta üksikud ionosfääri uuringid.

Vaat miks teadlased esimeste tehiskaaslaste jaoks teaduslikke programme välja töötades nad enne kõike ümbritseva õhu tihedust mõõtma panid.

See aitab, muide, uute tehiskaaslaste orbiiti palju täpsemalt välja arvutada.

Õhu tihedus on suurtes kõrgustes miljardeid kordi väiksem kui Maa pinnal. Seal on õhk nii hõre, et tema molekulide võib sõna tõsisel mõttes sõrmedel üles lugeda. Kuid see just loob uusi raskusi. Atmosfääri kõrgemate kihtide tiheduse mõõtmiseks tuli rakendada spetsiaalseid molekulide «püüniseid». Üks selliseid omapäraseid aparate oli üles seatud meie kolmandal tehiskaaslasel.

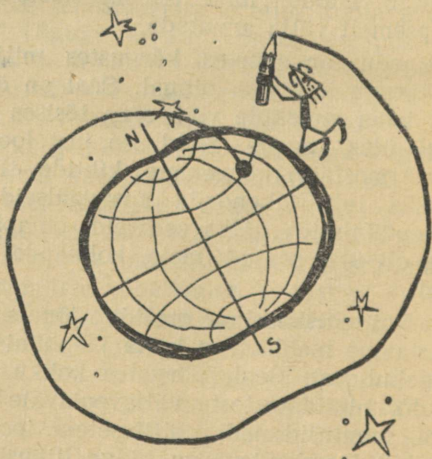
Niipea kui tehiskaaslane orbiidile jõudis, purustas spetsiaalne mehhanism kätte ja püüis täitus õhu molekulidest. Seal, põrgates kokku hõõguvast volframiniidikestest väljavoolavate elektronidega, muutusid nad positiivseteks ioonideks, mis tihedalt loendamisvõrgu külge liibusid. Tei-

nud kindlaks nende arvu, teatas tehiskaaslase raadiojaam sellest Maale.

1958. aasta sügisel Moskvas toimunud rahvusvahelise geofüüsika-aasta erikomitee ülemaailmsel assambleel teatasid nõukogude teadlased nendest kõige huvitavamate vaatluste esimestest tulemustest. Selgus, et üle 200 kilomeetri kõrgusel loetakse ühes kuupmeetrise õhu molekule umbes üks kümnemiljondik grammi — 10 miljardit korda vähem kui Maa pinnal.

Samuti selgus, et Maa atmosfäär ulatub palju kõrgemale, kui seda eeldati. Kolmanda Nõukogude tehiskaaslase orbiidi kõige madalamas punktis pidurdas õhk teda, nagu vaatlused näitasid, umbes 4-grammise jõuga.

Nüüd, kus tehiskaaslane ise teatab õhu kõrgete kihtide tihedusest, võib atmosfääri mõju tema orbiidile välja arvutada suure täpsusega. Aga



Kõik teised orbiidist kõrvalekaldumised olenevad ainult Maa gravitatsioonivälja ebaühtlustest, teisest ebaühtlustest, mis häirivad ja muundavad loodusliku Kuu teed.

Te juba, tõenäoliselt, panite tähele, et kõik Maa gravitatsioonivälja ebakorrapärasused, mis tehiskaaslase liikumist mõjutavad, kõik need jõu-kooste tihedad ja hõrenenud kohad on eranditult tingitud meie planeedi kujust ja tema sisemisest ehitusest.

Tehiskaaslase tõelises orbiidis, nagu loodusliku Kuu liikumiseski, peegelduvad kõik need ebaühtlused just nagu peeglis. Ainult et tehiskaaslase orbiit on «peeglile» palju lähemal ja seepärast täpsem. Needsamad põhjused, mis vae- vumärgatavalt muudavad Kuu geograafilist pik- kust ja laiust, s. o. teevad tema orbiidi korra- pärase ellipsi käänuliseks, kutsuvad tehiskaaslase liikumises esile palju suuremad muutused. Just nende tema orbiidi muutuste järgi määrataksegi kindlaks Maa kuju.

Missugused siis need muutused on?

Kui Maa oleks täiesti ümmargune nagu sile metallist kera, kujutaks tehiskaaslase orbiit endast korrapärast, järk-järgult ringile lähenevat ellipsit. Ja kui lisaks sellele teda moodustavatel kivimitel oleks kõikjal ühesugune tihedus, siis liiguks tehiskaaslane kogu aeg ühel tasandil, nagu mööda võru, mille sees pöörleks meie planeet. See tähendab, et iga tiiru lõpus tuleks ta tagasi orbiidi sellesamasasse punkti, missugusest ta oma liikumist alustas. Kõvera mõlemad otsad, mida mööda ta liigub, peaksid ühtima ja ellips sulguks. Kuid tegelikkuses seda ei toimu.

Maa lapikuse ja teda vööna ümbritseva liigse paksendi tõttu tehiskaaslase orbiidi tasand pöör-

dub, moodustades hariliku vurrkanni telje ümber käiva koonuse. «Võru» liigub sel viisil ise ruumis. Selle tulemusena tehiskaaslane, teinud tiiru ümber Maa, ei satugi enam oma liikumise algpunkti. Tema tee kõverjoon jääb sulgemata ja iga järgmine tiir ei lange eelmisega kokku — ellips muutub spiraaliks.

On välja arvatud, et kõigi kolme Nõukogude tehiskaaslase iga ümber Maa sooritatud ringiga pöördus nende orbiitide tasand umbes veerand kraadi võrra. (Orbiidi tasapind pöörduv ühes või teises suunas, olenvalt sellest, missuguses suunas tehiskaaslane välja lasti.)

Selle nihkumise kiirus sõltub sellest, kui tugevasti on tehiskaaslase orbiit maa ekvaatori poole kald'ud. Neil oli see kallak aga üks ja sama —  $65^{\circ}30'$ . Kolme kuu pärast, kui orbiit juba täielikku koonust kujutab, peab ta sellesse asendisse tagasi pöörduma, mille ta võttis kõige esimesel momendil, ja nähtamatu ämblikuvõrgu uue spiraali keerud hakkavad uuesti ümber maakera põimuma.

Peale selle litsub lapik maakera ka tehiskaaslase orbiidi veidi laperguseks, surudes teda põhjast lõuna suunas: spiraali keerud sarnanevad ikka vähem ja vähem ellipsiga.

Ja lõpuks on spiraal, mille tehiskaaslane Maa taevasse joonistab, ülikas väikestest siksakkidest — nendest gravitatsioonivälja kühmudest ja nõgudest, mille kohal lunoid lendab ja mida vahetult maapinnalt on nii raske uurida.

Niisiis võotab sõnakuulmatu spiraal, olles ainult Maa külgetõmbe «kapriiside» võimualune, Maad hoopiski mitte nii, nagu seda peaks tegema ideaalse orbiidi korrapärase liikumatu võru. Kõiki tema muutusi ette näha ja välja arvestada,

kus ja kui palju tehiskaaslase tegelik tee temale ettenähtud marsruudist lahku läheb, on võimalik ainult sel juhul, kui maa gravitatsiooniväli oleks üksikasjalikult läbi uuritud.

Vahest ainult geodeetidele ei valmistanud tehiskaaslase tegeliku tee ennustamise ebatäpsus meeletu härm. Just nüüd, vaadeldes liikumist seda detailides tundmatut orbiiti mööda, said nad võimaluse meie planeedi täpse kuju kindlaksmääramiseks mitte Maalt endalt, vaid kosmosest.

Kõige huvitavam on see, et geodeetidel ei läinud selleks, nii nagu näiteks atmosfääri ülakihtide uurijatel, vaja mitte mingisuguseid spetsiaalsete aparate, muidugi kui mitte arvesse võtta valgustugevaid fotokaameraid ja tehiskaaslase enda vaatlemiseks rakendatud väga täpset ajateenistust. Isegi tavalist «maist» gravimeetrit või pendlit ei hakanud nad lunoidile üles seadma.

Mööduriista ülesandeid täidab kosmoses liikuv kuulekas taevane maamööõtja ise. Nii nagu loodusliku Kuugi puhul, on selleks, et tema abil Maa kuju kindlaks määrata, vaja ainult ta koordinaate teada.

## KUUPATRULL

Siit, üle linna kõrguva observatooriumi lameldalt katuselt paistab Moskva öine taevae ebatavalisena: sügavana, üleni tähe-jaaniussikesi täis torgitud, hoopiski mitte linnalikuna — tänavate ja majade tuledes kumavana, missugusena oleme teda harjunud nägema seal all. Võib-olla paistab ta niisugusena seepärast, et kogu platvorm on ümbritsetud pimedusest.

Signaal «kustutada tuli» tähendab, et oodata ei tule kaua.

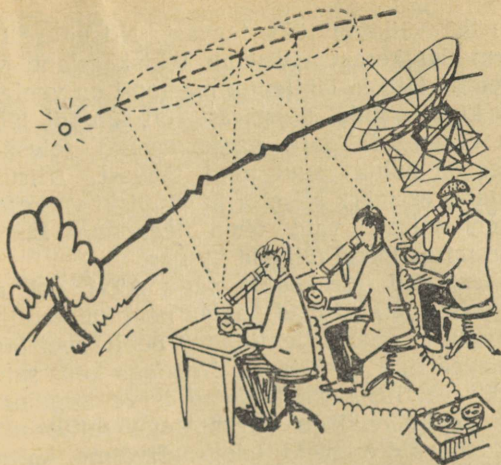
Kummardunud instrumentide kohale, vaatavad vaatlejad pinguldatult igaüks «oma» osa taevast, mis nende vahel juba varem on ära jagatud kindlama garantii saamiseks, et pisitilluke täheke, mida nad varitsevad, oleks tingimata kas või ühegi instrumendi okulaari «püütud». Kõik oli õigeaegselt korda seatud ja ette valmistatud. Tehiskaaslase ilmumist valvav patrull oli vaatlusteks valmis.

Niisuguseid ettevaatusabinõusid ei rakendata asjatult. Lunoid on väga ebatavaliseks taevakehaks isegi astronoomidele, kes ometi on harjunud igasugust liiki «sabaga», «rändavate», «langevate» ja teiste ebatavaliste tähtedega. Tavalised tähed näivad meile liikumatutena, tugevasti taevavõlvi külge kinnitatuina. Tehiskaaslane aga on tormiliselt edasikihutav «täht».

Ainult poolteist tundi või veidi rohkem kulub uuel tähel ümber hiiglasuure maakera lendamiseks. Ei ole midagi imestada, kui ta, korra vaatleja okulaari ees vilksatanud, tema vaateväljast silmapilkselt kaob. Hilinesid, lasksid selle silmapilgu mööda — ja kaduski: lunoidi koordinaadid jäävad mõõtmata ning õige orbiit kindlaks määramata. Vaat, miks igas niisuguses jaamas valvavad tehiskaaslast mitu vaatlejat ühekorraga.

Nad seadsid tema kinnipüüdmiseks üles tõelise teleskoopidest «barjääri», mis lennu trajektoori tiheda kaitsevallina läbi löikas. Kõik instrumendid asetatakse kõrvuti nii, et igaühes oleks nähtav mitte ainult «oma» lõik taevast, vaid ka pool naaberlõigust. Järgmises aga — seesama pool ja uus lõik, mis järgmise instrumendi poolt samuti teistkordselt kaetakse.

See on vajalik seepärast, et tehiskaaslase ilmumise koht on teada ainult umbkaudselt. Eelmisel



õhtul arvutuskeskusest saabunud telegrammis on ju antud tema lennu umbkaudne trajektoor.

Kuid miks siisuguste, nagu mingite «mängu- teleskoopidega», jälgitakse tehiskaaslase lendu? Näib ju, et mida nõrgem täht, seda võimsam peab olema teda suurendav teleskoop. Ja tõepoolest, naabruses sirutas oma hiiglasuure londi taevasse teleskoop-hiiglane, milles vaadeldakse niisama- suguse heledusega tähti, missugusena me Maalt lunoidi näeme.

Lihtsa, alustoele toetuva toruna ja tavalisele pikksilmale sarnanevana paistab ta selle kaas- aegse mehhanismi naabruses, mis ise end aegla- selt pöörduva taevavõlvi järele pöörab, nii primi- tiivsena.

Milles siis asi seisab?

Selgub, et pisilunoidi tugevaks suurendami- seks ei ole vajadust, vaid otse vastupidi, see võiks vaatlustele isegi kahju tuua. Võimsas teleskoobis

on näha väiksem tükk taevast. Niisugusest pisi-kesest lapikesest vilksatab tehiskaaslane veelgi kiiremini läbi ja läbilennu momenti on veelgi ras- kem kinni püüda. Seepärast tuli lunoidi jälgimi- seks rakendada laia vaatenurgaga teleskoope, milles on nähtav suur pind taevast. Niisuguste vaatluste eesmärk ei seisa ju hoopiski väikese kuu suurendamises, vaid tema teekonna kindlaks- määramises teiste tähtede hulgas.

Niisugused teleskoobid nagu AT-1 ehk astro- noomilised pikksilmad, nagu neid nimetati, on nõukogude aparaadiehitajate poolt spetsiaalselt konstrueeritud ja ehitatud. Nendega koos said iga lunoidi vaatlusjaama töötajad terve kogumi näi- liselt astronoomiliste uurimustega mitte midagi ühist omavaid esemeid: telegraafivõtme, heligene- raatori, raadiovastuvõtja, magnetofoni.

«Tabada» tehiskaaslane, leida ta tähtede kes- kel — see on alles pool tööd. Mitte vähem tähtis pole kindlaks teha, missugusel hetkel ta on ühtede või teiste tähtede keskel. Selleks et kindlaks teha tema vaatlusjaamast ülelennu aega, ongi kõik need aparaadid vajalikud.

... Silmad kohanesid pimedusega, jäädvustasid iga vaatleja mälus tema teleskoobi okulaaris näh- tava taevalõigu üksikasjaliku pildi siin ja seal liikumatusse tardunud tähejaaniussikestega. Tüü- tavalt venib aeg, mida all, aparaadiruumis, ra- diovastuvõtja püüdlikult loendab. Punkt, punkt, punkt... kriips, kirjutab sama püüdlikult sekun- deid ja minuteid üles magnetofon. Ja äkki...

«Tähelepanu!» — antakse uus käsklus.

Äärmise vaatleja okulaari ilmus tormiliselt kihutav täht. Nähes teda, vajutab ta telegraafi- võtme käepidemele. Bassihäälselt röögatas apa- raadiruumis sumisti. Rangete meetodiliste tele-

graafisignaalide keskele magnetofoni lindil ilmub võõras heliline täke.

Liikuv täheke aga, kord heledalt loitev, kord peaaegu kustuv, paistis ka teise vaatleja teleskoobis. On! Veel üks täke katkestas magnetilindile üleskirjutatava aja mõõtmisrütmi.

Üksteise järel vajutavad vaatlejad telegraafivõtmetele ja ikka uued ja uued märged ilmuvad magnetofoni sekunditest kriipsutatud lindile. Nüüd on tehiskaaslase igasse uude taevalõiku ilmumise moment täpselt teada. Tuleb vaid magnetofon sisse lülitada ja tema üleskirjutused dešifreerida.

Vaatlejad ruttavad tähistaeva kaartide juurde. Tehiskaaslane aga, püütuna niitide võrku, millega teleskoop on varustatud, rändab edasi kaardile. Nüüd on võimalik magnetofoni lindile ja kaardile jäetud jälje järgi määrata täpselt kindlaks tema koordinaadid sel ajamomendil, mil ta taevavõlvi antud punktis asus.

Taolisi vaatlusjaamu, kus äsja viibisime, on meie riigi territooriumil organiseeritud seitsekümmend.

Kuid inimsilm pole kõige täiuslikum aparaat. Vaat, miks tehiskaaslasele saadetakse vastu sageli teine patrull — vaatleja, kes on varustatud suure vaateväljaga spetsiaalse kaameraga.

Fotografeerimisel ei saada filmil mitte liikumatut tähekest, vaid katkematu hele joon, mis koosneb justkui loendamatuist üksteise taha laotud lunoididest. Kuidas aga sellest lõputust lunoididenaabrite reast ühtainust tehiskaaslast üles leida?

Seda tehakse väga lihtsalt. Kindlaksmääratud ajal vajutatakse nupule, mis sulgeb katte, ja fotoobjektiiv jääb silmapilguks «pimedaks». Hele

jälg katkes. Katkemiskohas aga just asuski nupule vajutamise hetkel tehiskaaslane.

Mitte harva ei rakendata tehiskaaslaste vaatlemisel kiiretliikuvate taevakehade, näiteks meteoride pildistamiseks kasutatavat spetsiaalselt kohandatud aparati. Teda nimetatakse «meteooripatrulliks».

See aparaat kujutab endast just nagu kolme erineva instrumendi — fotoaparadi, kinoaparadi ja teodoliidi — «hübriidi». Niisuguse kinofototeodoliidi abil saadakse filmile automaatselt tehiskaaslase kujutus ja toimumisaeg, saadakse lennu kõrgus ning liikumiskiirus.

Mõnikord fotografeeritakse tehiskaaslast aga ka «heledusvõimendaja» abil, nagu nimetatakse elektron-optilist transformaatorit. Ta võimaldab saada hoopis nõrkade või isegi nähtamatute, ainult infrapunast valgust kiirgavate tähtede kujutusi. See nõrk või nähtamatu valgus transformeeritakse aparadiga elektronide vooluks. Sattudes spetsiaalsele ekraanile, panevad nad seda katva luminesentsikihi helendama. Elektronide vool muutus taas valguseks, kuid ainult palju tugevamaks sellest, mis ta esile kutsus.

Kui see oli aga infrapunane kiir, siis, muutudes ajutiselt elektronide vooluks, muutub ta seejärel nähtavaks valguseks.

X rahvusvahelisel astronoomide kongressil, mida me ülalpool juba mitu korda oleme meenu tanud, teatas Riikliku Sternbergi-nimelise Astronoomia Instituudi töötaja P. V. Štšeglov, et elektron-optilist transformaatorit kasutati selle instituudi töötajate poolt teise ja kolmanda Nõukogude tehiskaaslase vaatlusteks, ning demonstreeris selle abil saadud fotosid.

Sellessamas faktis, et lihtne, ilma igasuguse val-

gusallikata metallist kera, jõudnud oma orbiidile, äkki heledaks täheks muutus, peitub veel üks taevakehaks hakanud «kivi» hämmastav muutus. Kui ta poleks helkinud, kuidas oleksime me ümber Maa kihutavat tuhmi «tolmukübemekest» võinud näha?

See muutus toimus ilma inimese vahendusega. Valmistades uut taevaelanikku ette stardiks, poleeriti tehases vahest ehk ära tema küljed, et nad paremini päikesekiiri peegeldaksid, tänu sellele muutuski tuhmi «kivi» helendavaks täheks.

Üks taevakeha omadus tuli aga küll veel Maal «konstrueerida». Varustades tehiskaaslast saatejaamaga, panid teadlased selle Maaga omavahel rääkima. Nüüd on võimalik tema ilmumist ilma kaaslast ennast nägemata teada saada. Tarvitseb vaid kinni püüda tema poolt kiiratavad raadiolained, nii nagu kuulatakse raadiokahinaid, mis maailmaruumikaaslastelt meieni kanduvad. See võimaldaski tehiskaaslast silmast mitte ära lasta, isegi kui ta vaatleja eest oli pilvelooriga varjatud.

Nähes oma taevalõigus lunoidi, tegi optilise jaama vaatleja magnetofoni sekunditest ja minutitest läbitepitud lindile spetsiaalse signaali abil märgi. Sel korral aga annab niisuguse signaali vaatleja poole lendav tehiskaaslane ise.

Selle asemel et teda vaadata, kuuleb vaatleja sel juhul tema häält. Momendil, mil tehiskaaslane asub vaatleja või õigemini kuulaja kohal, on tema signaal kõige tugevam, ja magnetofoni lindile ilmub seesama heliline täke, mis aitab lunoidi koordinaate kindlaks teha.

Tehiskaaslast kuulatakse tavaliselt raadiovastuvõtja abil. X rahvusvahelisest astronoomide kongressist osa võtnud inglise teadlane A. Lowell teatas aga, et tema kodumaal rakendati selleks ka

maailma suurimat parabolset raadioteleskoopi, mis on üles seatud Jodrell Banki observatooriumis Manchesteri lähedal.

Viies läbi niisuguseid vaatlusi mõõdavad teadlased mitte üksi tehiskaaslase raadiosignaali tugevust, vaid ka nende liikumisest tingitud sageduse muutumist. Sellest jutustas üksikasjalikult tolsamal astronoomide kongressil akadeemik V. A. Kotelnikov.

Selleks kasutatakse niinimetatud Doppleri efekti. Iga liikuvale esemele ülesseatud raadiosaatja liginemisel punktile, kus tema raadiosignaale vastu võetakse, tõuseb nende signaalide sagedus. Kui aga raadiosaatja hakkab vastuvõtjast eemalduma — sagedus väheneb. Tohtu kiirusega kihutava tehiskaaslase jaoks osutus see efekt küllalt tähtsaks. Doppleri efekti abil määrati tehiskaaslase koordinaadid ja kaugus kindlaks suure täpsusega.

Kui aga tehiskaaslase raadiosaatja vaikib, olles kõik oma energiavarud ära kulutanud, saadetakse tehiskuu ülesleidmiseks välja radiokiir ja Maalt kombates leiab ta selle eksimatult planeetidevahelise ruumi pimedast sügavikust.

Kuupatrull töötab täpselt.

### «MOSKVA — SPUTNIK»

Sellel juba tavaliseks saanud aadressil saabub iga päev tuhandeid üksteisega sarnanevaid kirju. Raadioamatöörid ja astronoomid, observatooriumide ja vaatlusjaamade töötajad — kõik, kellel õnnestus tehiskaaslast oma aparaatidega «kinni püüda», ruttavad sellest arvutuskeskusele teatama.

Me lahkusime optilise jaama töötajaist siis, kui nad tehiskaaslase asukohta tähekaardile ja üle-

lennu momenti helilise tükkega magnetofonilindile märkisid. Täpselt samuti kantakse tähekaardile tehiskaaslase leitud asukoht filmilt. Nüüd seisab ees tema koordinaatide leidmine.

Nagu teada, määratakse Maal mis tahes punkti asukoht kindlaks tema kauguse järgi ekvaatorist ja nullmeridiaanist, s.o. laiuse ja pikkusega. Nii-samasugune «ekvaator» ja «nullmeridiaan» leiduvad ka taevafääril, millele astronoomid on mõtteliselt taeva «paralleelid» ja «meridiaanid» tõmmanud.

Tähe «laiust» (tema kaugust taevaekvaatorist) nimetatakse tähe käändeks (deklinatsiooniks). Aga kaugust käände (deklinatsiooni) algusringist, mis asendab taevavõlvil nullmeridiaani, — tähe «pikkuseks». Seda nimetatakse otsetõusuks (rektastsensiooniks). Need ongi koordinaadid, mis taevavõlvil mis tahes tähe või planeedi asukoha määravad.

Neid leitakse tähekaardi järgi, mis on geograafilise kraadivõrgu taoliselt kaetud oma kraadivõrguga — taeva meridiaanidega ja paralleelidega. Mõõtes ära, mitu «paralleeli» ja «meridiaani» tehiskaaslast taevaekvaatorist ja nullmeridiaanist eraldab, saadaksegi teada tema koordinaadid taevavõlvil ühel või teisel ajamomendil. Nüüd on vaatlus täielikult lõpetatud ja arvutuskeskusesse lendab telegramm: «20. novembril kell 19.34 Moskva aja järgi olid tehiskaaslase koordinaadid . . .»

Siin tuleb nende järgi tema orbiit välja arvutada.

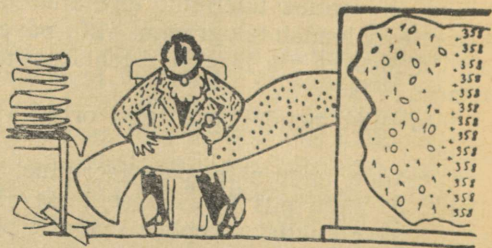
Ülesanne, nagu näib, pole keeruline. Tehiskaaslase tee, nagu mis tahes teisegi taevakeha oma, määratakse kindlaks Kepleri seaduste põhjal, millega igaüks meist on juba kooliaastaist tuttav.

Tähendab, tuleb võtta nendest seadustest tulenevad vastavad valemid, asetada neisse vaatlustega saadud puuduvad suurused, mis fikseerivad tehiskaaslase asendi eri ajamomentidel, — ja orbiit ongi valmis.

Kuid sellest samast peamised raskused algavadki. Tehiskaaslase ligikaudset orbiiti võib välja arvutada isegi arvutusmasinaga — kõigest mõne vaatluse järgi. Aga selleks, et tehiskaaslase orbiiti välja arvutada nii suure täpsusega, nagu see on vajalik kas või geodeetidele, on vaja sooritada tohutu hulk arvutusi. Kui need teha ülesandeks ühele inimesele või isegi tervele teadlaste grupile, võtaks see aega vahest mitte ainult päeva või kaks, vaid võib-olla mitu nädalat, isegi aastat.

Selgus uskumatu asi. Inimene suutis tungida taevakehade liikumise saladustesse, kirjutada matemaatilises keeles üles seadused, millele kosmilised rändurid alluvad. Kui aga jäi teha kõige lihtsam — arvutada ümber arvud, näis, nagu muutuks ta abituks.

Sadu tuhandeid arvutusi pidid astronoomid varem sooritama «käsitsi». Nad jagasid ja korrasid paljukohalisi arve, juurisid, integreerisid, lahendasid diferentsiaalvõrrandeid, ja näis võima-

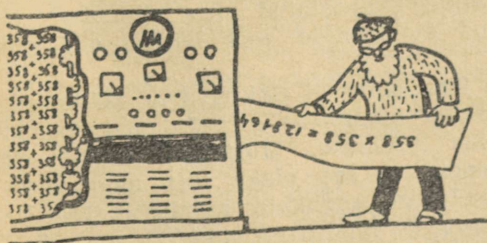


tuna, et kogu seda keerulist ülitarkust võiks taitata isegi kas või kõige «tärgem» masin.

Ja arvukad arvutused oleksid tõenäoliselt jäänudki suureks takistuseks tehiskaaslase orbiidi kindlaksmääramisel ja üldse geodeetiliste arvutuste sooritamisel, kui neid poleks ülesandeks tehtud elektronarvutusmasinale, mis arvutab 100 000 — 150 000 korda kiiremini ka kõige andekamast arvutajast.

Akadeemik A. V. Toptšijev, rääkides kaasaegsetest elektronarvutusmasinatest, tõi kord niisuguse huvitava näite. Astronoomilis-geodeetiliste mõõtmiste töötlemiseks tuleb sooritada kuni 250 000 000 aritmeetilist operatsiooni. Teaduste Akadeemia suur elektronarvutusmasin vajab selleks 20 tundi, ühel inimesel oleks aga tulnud sellesama ülesande kallal töötada... tervelt 200 aastat.

... Ja ta seisabki meie ees — «kõrgema matemaatilise haridusega» masin, nagu temast naljatades räägivad tema loojad: kiirelttegutsev elektronarvutusmasin, millega sooritati Nõukogude tehiskaaslaste orbiidi esialgne väljaarvutus ja mis nende liikumise vaatluste tulemuste järgi arvutab välja inimkäte poolt valmistatud taevakehade



«ue» orbiidi, võimaldades suure täpsusega nende tulevast marsruuti ennustada.

See imepärane masin, mis arusaadamatu kiirusega sooritab 7000—8000 arvutust sekundis, võtab enda alla terve saali. Operaator on ainus inimene, peale juhtimispuldi juures oleva korrapidaja, kes masinat arvutamisel aitab. Tavalised numbrid, mis on trükitud mustade märgikestena valgele paberile, muutuvad korrapäraste aukude kombinatsioonideks. See on nägijate keele tõlkimine omamoodi pimedate keelde.

Kuid miks valiti just niisugune keel niivõrd täiusliku masina jaoks? Selgub, et ta on senini tõepoolest pime ega saa lugeda tavalist must-valget teksti. See-eest aga niisugust kombatavatest tingmärgikestest koosnevat kirja loeb ta kergelt, «kombates» valguskiirega linti, millele see on kirjutatud.

Saanud vajalikud numbrid, «toob» masin oma magnetilisest «mälust» välja vastavad valemid, mis sinna on inimese poolt õigeaegselt «salvestatud» ja hakkab arvutama.

Leides üleni läbipaistmatus lindis augud, mille abil on arvutusteks vajalikud numbrid üles kirjutatud, libiseb valguskiir neist läbi ning satub metallplaadikesele. Seal, kuhu valguskiir langes, tekib väike elektrivoolu allikake. Valguskiire poolt metallmassiivist vabastatud ning mitmekordselt võimendatud elektronide vool lendab elektronlampi.

Üksteise järel süttivad elektrivoolu «sädemed» arvukates elektronlampides, mis täidavad peaaegu kogu masina sisemuse. Müriaadid niisuguseid elektrisädemeid — see oleks just nagu arvutamisele kuuluvate kogukate numbrite tibatillukeste koostisosade laialipaiskumine.

Arvutusmasinad osutusid kavalamateks isegi kõige osavamatest ja vilunumatest arvutajatest. Nad opereerivad ainult ühtede ja nullidega, milledeks lõppkokkuvõttes võib jägada mis tahes arvu.

Nad ütlesid ära ka keerukatest matemaatilistest tehetest. Omades võimet peaaegu momentaanselt liita sadu ja tuhandeid kõige erinevamaid arve, viisid elektroonsed «matemaatikud» kõik arvutused liitmise peale välja. Neile osutus kergemaks liita arvu 358 iseendaga 358 korda, kui neid üksteisega korrutada.

Ja vaat juba roomab küljelt, mis on selle vastandküljeks, kuhu tõmbus aukude kombinatsioonidest üleni «kirju» lint, välja teine, tavaliste numbriridadega tihedalt kaetud lint.

Masin-matemaatik ei sooritanud inimese eest välkkiirelt mitte üksnes miljoneid erisuguseid arvutusi, vaid «tõlkis» oma arvutuste resultaadi, mis nähtamatu elektrisulega üles kirjutati, ka tavalistesse numbrimärkidesse üle. Tavalistesse siis tavalistesse, kuid mis siis kõik need kolmed, üheksad, viied, mis paberilindile trükitud on, tähendavad?

Saladusesse mittepühendatule ütleb see vähe. Teadlane aga, võtnud niisuguse lindi kätte, dešifreerib sedamaid elektroonse «matemaatiku» vastuse. «Siin on antud orbiidi kõik vajalikud «tunnused»,» ütleb ta. «Tema pikema pooltelje pikkus, kaldenurk ekvaatori tasandi suhtes, kaugus maapinnast tema kõige lähemas ja kaugemas punktis, teda õigest ringist eraldava lapikuse suurus jne.»

See on niisama nagu linna ja tänava nimi, maja ja korteri number — tehiskaaslase «kosmiline» aadress. Selle järgi otsustatakse, missuguses suu-

nas ja kui kaugel Maast tehiskaaslase orbiit asub ja milline on ta «iseloom», on ta suur või väike, «peenike» või «paks».

Niipea kui tehiskuu täpne aadress on leitud, lendab arvutuskeskusest vaatlusjaama vastustelegramm: «Lähimal ööpäeval on tehiskaaslase ülennu aeg jaamast — kell üheksateist kolmkümmend neli minutit, asimuut ja kõrgus nii ja niisugused.»

Ja vaatlejad, saanud telegrammi, valmistavad oma instrumendid uuesti ette ja, kummardunud nende kohale, ootavad käsklust: «Tähelepanu! Tehiskaaslane!»

Aga geodeedid? Mida nemad teevad?

## MILLE POOLEST ON TEHISKAASLANE KUUST PAREM

Uus, väike ja liikuv maamõõtja osutus palju kohasemaks kui vana, jonnakalt ja kiirustamata oma marsruuti mööda liikuv Kuu.

«Kiirustamata», see muidugi ainult paistab nii geodeetidele, kes ei läbe oodata, millal saaks Maa igast küljest ära mõõta. Me teame, et Kuu kihutab kiiresti oma orbiiti mööda, läbides sekundiga terve kilomeetri. Ja ometi möödub selle aja jooksul, mil ta ümber Maa ainult ühe ringi teeb, tervelt 30 pikka päeva. Tema kunstlik vennas jõuab aga ööpäevaga juba 15 korda ümber Maa lennata.

Tehiskaaslane on Kuust palju väiksem. Seepärast on ta Maalt nähtav helkiva punktina, mille asendit on palju kergem mõõta kui Kuu ebahütlase ketta asendit. Õigupoolest me lunoidi ennast ei näegi, ja seepärast polegi meile tähtis, kas ta

on ümmargune või pikergune, kas üle tema äärte mingid osad välja ulatuvad või mitte.

Olekski naljakas loota tuhat või isegi rohkem kilomeetrit kaugel asuvat mõne meetri suurust eset näha. Näiteks muutuks esimese tehiskaaslase poolemeetrine kera paljale silmale nähtamatuks juba Maa pinnast 2—3 kilomeetri kõrgusel.

Aga selleks, et olla nähtav kas või oma orbiidi lähimas punktis, 200—300 kilomeetri kõrgusel, peaks ta olema peaaegu 200 korda suurem.

Me näeme ainult tema pinnalt peegelduvaid valguskiiri. Vaat miks lunoid «hääbub», niipea kui ta satub maa tihedasse varju. Ja samuti kaob ta ka päevase taeva heledal foonil. Mitte ilmaaegu ei püüa vaatlejad teda tavaliselt varahommikul enne koitu, kui Päike ei ole veel horisondi kohale tõusnud, või õhtul videvikus, kuni teda Maa vari veel pole neelanud.

Uue maamõõtja peamine väärtus on ju selles, et ta liigub meile palju lähemal kui vana Kuu ja on seetõttu maa külgetõmbele palju kuulekam. Selle läheduse tõttu ei avalda ta naabrid maailmaruumis, sealhulgas ka tema võistleja Kuu, talle praktiliselt mõju.

Kuule aga, nagu teada, ei laiene mitte üksnes tema perenaise — Maa, vaid kogu meie planeetideperekonna käskija — Päikese võim. Ja kui rääkida täpselt, siis ei tiirle Kuu Päikese ümber tiirleva Maa ümber, vaid Maa ja Kuu ühine raskuskese, mis asudes pisut rohkem kui poolteise tuhande kilomeetri sügavusel maamassiivis (Maa pinnast arvates), liigub kuulekana Päikese ümber.

Vaat miks tehiskaaslase väljasaatmisega avanavad geodeesiale erakordsed võimalused.

Ja ikkagi võib näida imelikuna, miks Maa

mõõtmine taevast temalt endalt mõõtmisest palju mugavamaks osutub. Kuid püüdes kasutada tehiskaaslast meie planeedi enda uurimiseks ei ole midagi paradoksaalset. Ettekujutus sellest, et kui aparaat on saadetud juba kosmosesse, siis muretseb ta andmeid ainult planeetidevahelise ruumi kohta, ei ole õige.

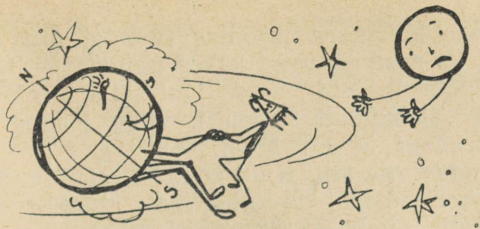
Tehiskaaslase väljalaskmine tähendab ennekoike seda, et inimene sai esmakordselt võimaluse kõrvalt oma planeedile pilku heita. Kogemused aga näitavad, et ta, olles pöördunud just taeva poole, pole mitte üks kord Maa kohta vääruslikke andmeid saanud. Juba ammust ajast kasutati sel eesmärgil ka Kuud.

Juba Aristotelese ajal täitis Kuu just nagu hiiglasliku kosmilise ekraani ülesannet, millele päikesekiirte poolt projitseeriti Maa vari. Selle varju järgi otsustati meie planeedi kuju üle. Kuuvarjutuse ajal Kuul nähtava maakera varju ümmargust kuju peeti peamiseks argumendiks arvamuse kasuks Maa kerakujulisusest.

Vajadus Maa kuju küsimuse lahendamiseks kuuvarjutuste vaatlusi kasutada on juba ammu minevikku läinud, kuid kuuvarjutused ise jäävad ka meie päevil meie planeedi olemuse uurimise tähtsaimaks meetodiks.

Maa varju või poolvarju mineva kuuketta heledust mõõtes said teadlased võimaluse järele uurida, kuidas Maa atmosfäär päikesekiiri murrab ning selle põhjal tema struktuuri ja koostise üle otsustada. Uurides aga niinimetatud kuupinna «tuhkvalgust», Maa poolt maailmaruumi peegeldavate valguskiirte jälge, saadakse teada selle kiirguse intensiivsus ja omadused.

Kuu tekkimise küsimus ise on meie planeedi ajalooga tihedalt seotud. Teadlased ei ole täna-



päevani kindlaks teinud, missugune sugulusvahekord valitseb Maa ja Kuu vahel. Kas osutub Kuu Maa lapsukeseks, kes sündis tema sisemuses, nagu kinnitavad mõningad vanad kosmogoonilised hüpoteesid? Või on ta võõras planeet, keda Maa kunagi kosmilises avaruses kohates endaga kaasa kiskus ja oma elukaaslaseks tegi? Või on Maa ja Kuu lõppude lõpuks lihtsalt ühest ja samast «taig-nast» vormitud planeedid-õed, nagu eeldab O. J. Schmidt'i kosmogooniline hüpotees?

Need ei ole tühised küsimused. Nende lahendamisest sõltub, missugune hüpotees osutub Maa enda tekkimise kohta õigeks.

Kuud tarvitati ammust ajast ka palju proosalisemateks, juba täiesti maisteks asjadeks. Geoloogid nimetavadki näiteks Kuud oma «näitlikuks õppevahendiks». Omamata võimalust heita oma planeedile pilku kõrvalt, ei oleks me ilma selle taevase «näitliku õppevahendita» suutnud tema ehitusest paljutki selgitada ega isegi tähele panna. Tänu samuti sellele, et oma geoloogiliselt ilmelt on Maa ja Kuu palges palju ühist, tegid teadlased teleskoobis Kuud vaadeldes palju maakoossepuutuvaid avastusi.

Tähele pannud, et sügavad murrangute vöödid Kuul Tycho Brahe kraatri juures koonduvad just nagu ühte sõlmpunkti, jälgisid geoloogid mööda

maapinda kulgevate pragude suunda, ning said aru, et ka need ühtuvad kahes tsentris — Kana-  
das ja Siberis. Nad nägid Kuul selle hiiglasliku  
joonise vähendatud teisendit, mille loodus oma  
võimsa käega Maa palgele joonistas.

Missugust osa küll Kuul mängida ei tulnud! Ta  
oli maakera «peegliks», ning meie planeedi poolt  
peegeldatava valguse «filtriks», ning lihtsalt hiig-  
lasliku tähekella «osutiks», mille järgi Maa astro-  
noomid oma ajaarvestust peavad. Ja võib-olla  
pöördusid Maa kuju uurivad teadlased niisama  
tihti abi saamiseks Kuu poole.

Niikaua kuni polnud leiutatud telegraafi ja  
raadiot, mis aega mis tahes kauguse taha edasi  
anda võimaldavad, määrati mõnikord ka geodee-  
tiliste kolmnurkade tippude geograafilist pikkust  
Kuu vahendusel. Ja kui tekkisid raskused meie  
planeedi kuju maapealsete uurimistega, mõtlesid  
geodeedid esimeses järjekorras just Kuust.

Tuletame meelde, millega me jätsime tegelema  
Maa kuju uurijad. Maapinna eri punktide vahe-  
lisi kaugusi mõõta võimaldavad kolmnurgad kata-  
vad ainult mandreid. Loomulikult, mitte kõiki, ja  
mitte üleni, kuid maismaa on ikkagi läbi mõõde-  
tud. Merede ja ookeanidega on asi aga halvem.  
Neile juba kuidagi kolmnurki ei aseta.

Missuguseid projekte küll selleks ei esitatud!  
Prooviti isegi kolmnurki lennukite abil üle vete-  
avaruste viia, rajades geomeetrilisi jooni õhu  
kaudu. Signaaltornide osa pidid täitma valgustus-  
raketid, mis lennukid kindlaksmääratud punktides  
pidid üles laskma. Vaatleja kaldalt või laevalt  
pidi neid aga fotografeerima.

Prooviti — vahendeid kulub palju, täpsus on  
aga palju väiksem vajalikust.

Ja endiselt jääb mõõdetuks vaid kümnendik osa

kogu planeedist. Kuidas siis mitte unistada üldis-  
test kraadimõõtmistest?

Ja geodeedid pöördusid ikka jälle Kuu poole. Nüüd aga on neile juba teada, et ta seekord temale pandud lootusi ei õigustanud ja et tema töö tuleb ära teha tehiskuul.

Niisiis, kõigepealt maapealsed kaugused. Neid peab mõõtma ümber meie planeedi lendav taevane maamõõtja. Paistab, nagu peaks ta Maa ümber-  
ringi ära mõõtma nii, nagu ta lendab: spiraali  
mööda. Kui aga läbi lugeda järjekordne ajalehe-  
teade ühe esimese kolme hulka kuuluva Nõuko-  
gude tehiskaaslase ligikaudsest marsruudist, siis  
kujuneb ettekujutuses välja fantastiline pilt.

Ütleme, et tehiskaaslane lendas üle Moskva  
kirde suunas. Mõne minuti pärast osutus ta juba  
kuskil Arktika kohal olevaks. Mõne aja pärast  
võidi teda jälgida Ameerika mandrilt. Seejärel  
«pöördus» ta aga äkki ümber ja ilmus Moskva  
kohale hoopis teisest küljest. Tekib mulje, nagu  
lendaks tehiskaaslane kord sinna, kord tagasi,  
ega tiirlekski üldse mitte ümber Maa.

Millest see tuleb?

Me rääkisime kogu aeg ainult tehiskaaslase  
enda liikumisest. Kuid niikaua, kuni ta oma jär-  
jekordset tiiru sooritab, pöördub Maa oma teljel,  
ja tehiskaaslase iga järgmine tiir kulgeb üle ta  
uue rajooni. Maa just nagu asetaks järjekorras  
ühe oma osa teise järel selle kosmilise vaatleja  
pilgu ette.

Ta algas oma esimest ringi ekvaatori tasandi  
suhtes 65° nurga all, lõigates läbi meie territo-  
oriumi edelast kirdesse. Tõusis kuni polaarjooneni.  
Siin tema orbiit teeb kurvi ja hakkaks nagu piki  
teist poolkera alla laskuma.

Sooritanud selle käänaku, liigub tehiskaaslane

juba mitte enam edelast kirdesse, vaid piki polaarjoont — läänest itta. Seejärel aga «sukeldub» alla, minnes üle orbiidi teisele poolele, mis kulgeb üle Ameerika. Seal ta liigub juba loodest kagusse. Libisenud alla lõunapolaarjooneni, lendab ta mõni aeg selle kohal ja alustab seejärel uuesti orbiiti mööda ülesronimist.

Kuid kuni ta jälle Nõukogude Liidu kohale jõudis, nihkus see koos pöörduva Maaga kõrvale ja tehiskaaslane «nägi», ütleme, Prantsusmaad.

Aga veel mõne tiiru järel ei asu ülespoole tõusnud tehiskaaslane mitte enam Euroopa, vaid Ameerika kohal. Jõudes meie maa kohale, mis asus nüüd Maa «sealpoolel», ta mitte enam ei tõusnud, vaid laskus, liikudes, nagu me hämmastusega leidsime, vastupidises suunas. Sellele kulus kõigest mõni tiir. Vaat miks me teda hommikul edelast kirdesse lendamas, öhtul aga — pärast vaheaega, millal tehiskaaslane lendas meist kuskil kõrval ja üldse nähtav polnud, — justkui tagasi pöördununa nägime.

Kui need mõlemad liikumised — tehiskaaslaste liikumine ümber Maa ja Maa liikumine ümber oma telje — kokku võtta ja maapinnale üle kanda, osutuks see kummalistest kõverjoontest täiskriipseldatuks. Tehiskaaslase «jälje» projektsioon on midagi sinusoidile sarnanevat, lõputult mööda mandreid ja ookeane väänlev, kuid polaarjoontest mitte kõrgemale tõusev. Ta meenutab gigantset, Maad kokkukiskuvat vedrut või vööd. Nii, siksakke mööda, vaatleb meie planeeti tema kosmiline kaaslane, ja niisamasuguseid tema tee siksakke näeme meie Maalt.

Esimese tehiskaaslase iga tiiru vältel pöördus Maa 24° võrra, asetades tema ette silmitsemiseks, kui ekvaatorit mööda lugeda, uue, esime-

sest 2500 kilomeetri kaugusel asuva rajooni. Esimese nädalaga «sõitis» ta 105 korda ringi ümber Maa ja tema «jalg» kriipseldas maapinna tihedate siksakkidega täis. Aga kuu ajaga, mille jooksul aeglane Kuu kõigest ühe tiiru teeb, tiirleb tehiskaaslane sadu kordi ümber Maa ja näeb sadu kordi rohkem.

Jääb üle veel lisada, et ta «näeb» mitte üksnes seda kitsast ribakest, missugusena me ta jälge kujutasime, vaid maapinna laia riba — mitu tuhat kilomeetrit läbimõõdus. Seepärast ei ole meie poolt kujutatud joonisel sinusoidide vahel olevad tühikud tegelikult hoopiski mitte tühikud, vaid samuti hoolikalt läbiuuritud territooriumid.

Sel viisil hõlmasid juba esimesed Nõukogude tehiskaaslased oma vaatlustega tunduva osa meie planeedist. Kuid meie võimuses on teha rohkem. Mäletate, kuidas teadlased tundsid rahutust, kui «kuusild» ei asetunud hoopiski mitte sinna kohta, kuhu neil vaja oli, ja kui nad seda edasi nihutada ei suutnud? Selles tehiskaaslaste väärtus seisabki, et me võime neid liikuma panna kuidas ja kuhu me soovime.

Teadlased kallutasid esimese kolme tehiskaaslase orbiiti  $65^{\circ}$  võrra, ja viskasid nad samasse suunda, kuhu ka meie Maa pöördub. Kuid mitte keegi ei takista tehiskaaslast aja jooksul ka vastupidises suunas välja saatmast ja mitte ekvaatorile kaldu, vaid talle risti. Siis ei pöördu ta «jalg» mitte polaarjoone juurest ära, vaid läheb pooluse kaudu ja hõlmab kogu Maad.

Just seepärast võivad tehiskaaslased mõõta maakera täht-tähelt pikuti ja risti. Nagu tavali-segi Kuu puhul on selleks vaja ainult teada nende liikumiskiirust ja aega, mille vältel nad mõõdetava kauguse läbisid.

Panna tehiskaaslane Maal kaugusi mõõtma — see ei tähenda taevasse sirutuvate mõõtmistornide püstitamist, lõputu arvu mõõtmiste kordamist ja seejärel sadadest eraldi lõikudest koosnevate kauguste kilomeetrite kokkukleepimist. Kõik vajaliku teeb geodeetide eest ära kuulekas lendav töötaja. Ta isegi kontrollib, kas inimsugupõlvede poolt mõõdetud territooriumidel oli kolmnurkadevõrk õigesti rajatud.

Määrates aga kindlaks tehiskaaslase koordinaadid ja tema kauguse maapinnast, see on, tema asendi Maa keskpunkti suhtes, ning võrreldes neid suurusi Maa-ellipsoidi jaoks väljaarvutatutega, avaneb meil võimalus teada saada maapinna eri punktide geodeetilisi koordinaate — meelitav ülesanne, mida «sakilise» ja pikaldase Kuu abil osutus nii raskeks lahendada.

Astronoomid ei saanud tema koordinaate suurema kui 0,2—0,1 sekundilise täpsusega kindlaks määrata. Tehiskaaslase asend leitakse aga palju täpsemalt. Seepärast ehitatakse tema abiga lõpuks ülemaailmne geodeetiline võrk — kolmnurkade ämblikuvõrk, mille kolmnurkade kõik küljed ja tippude aadressid on mõõdetud kosmosest. See võrk seob mandritel läbiviidud ja esmakordselt ookeanidel teostatud pikkusemõõtmised üheks tervikuks. Selle järgi geodeedid arvutavad maaellipsoidi täpsemad mõõtmised.

Kuid see, nagu me teame, on alles ülesande esimene osa. Seejärel on vaja teada saada raskusjõu suurused maapinna eri kohtades. Selleks aga on tarvis, nagu me mäletame, mitte mõõta, vaid kaaluda. Kas tehiskaaslane suudab kaaluda Maad? Selgub, et see universaalne kosmiline töötaja on võimeline ka niisuguse ülesandega toime tulema.

Tavalises gravimeetris osutub teatud raskus-

keha kaal mitmesuguseks, olenevalt sellest, mis-suguses maakera kohas kaalumise läbi viidi. Midagi taolist toimub ka meie tehiskaaslasega, kui ta maakoore erineva tihedusega osade või lamedamate pooluste ja kumerama ekvaatori kohal lendab.

Tihe mäemassiiv tõmbas teda tugevamalt ligi kui vähem tihe ookeani vesi. Esimese kohal muutub tehiskaaslane pisut «raskemaks» ja kihutab seetõttu kiiremini, ookeani kohal ta aga «kerge-  
neb» ja liigub veidi aeglasemalt.

Nagu me loomuliku Kuu liikumisenäite puhul nägime, kajastub iga kiiruse muutus otsekohe orbiidil. Kaalupommi sarnaselt, mis seda tugevamini tema külge seotud kummi venitab, mida kiiremini teda keerutatakse, eemaldub ka kiirust lisav tehiskaaslane Maast natuke kaugemale, seejärel aga, uuesti jooksu aeglustanud, tuleb ta tagasi. Ja korrapärasesse orbiiti ilmub väike looge.

Gravimeetri koormuse kaalu muutustest saavad geodeedid teada mõõtskaalal liikuva osuti näitude järgi, sellest aga, kas selles kohas asub raskuse laine hari või vastav nõgu, mille kohal tehiskaaslane lendab, — tema orbiidi kohalike «häirete» järgi.

Aga selle üle, kuivõrd lapikuks on Maa litsunud, võib otsustada — nüüd me teame — tehiskaaslase orbiidi tasandi pöördumise ja tema kokkusurutuse suuruse järgi. Orbiidi enda liikumise tõttu lapiku Maa gravitatsiooniväljas läheb näiteks kolmanda Nõukogude tehiskaaslase poolt maapinna kohale joonistatava sinusoidi iga järgmine keerd eelmisest ekvaatoril mööda mitte 2500, vaid, nagu näitasid vaatlused, 25 kilomeetri võrra veel ida poolt.

Tehiskaaslaste vaatluste põhjal nõukogude teadlased juba täpsustasid Maa lapikuse suurust. Samasuguse arvutuse viisid läbi ka Tšehhoslovakkia Teaduste Akadeemia teadlased. Sellest teatas rahvusvahelise geofüüsika-aasta erikomitee assambleel Tšehhoslovakkia Teaduste Akadeemia tegevliige Josef Novak.

Hiljuti tegid aga samasuguse avalduse ameerika geodeedid. USA armee Kartograafia Teenistus ja Smith-Soundi astrofüüsika observatoorium arvasid samuti Nõukogude tehiskaaslaste vaatlusandmete põhjal välja Maa lapikuse. Ja oldi sunnitud tunnistama, et see arv langeb väga täpselt kokku sellega, mille omal ajal meie tuntud teadlane F. N. Krassovski kindlaks tegi. Tol korral ameerika geodeedid ei nõustunud nõukogude geodeetide järeldustega ja jätkasid Hayfordi ellipsoidi kasutamist. Ainult Nõukogude tehiskaaslased suutsid neid veenda, et rahvusvaheline ellipsoid oli tõesti ebatäpselt välja arvatud.

Kuid pöördume tagasi oma taevase maamõõtja juurde.

Uurides tehiskaaslase orbiidi muutusi paljude nädalate ja kuude jooksul, saavad geodeedid võimaluse Maa gravitatsioonivälja just nagu läbi kombata — kindlaks teha kõik tema «tihendid» ja «tühikud», ja järelikult saada üksikasjaliku ettekujutuse neid sünnitanud meie planeedi kujust.

Seejuures on huvitav, et kui atmosfääritakistust mitte arvestada, siis ei avalda tehiskaaslase enda kaal tema orbiidi iseloomule mingit mõju.

Muidugi pole kaugeltki ükskõik, kas paisata tuhande kilomeetri kõrgusele 60-kilogrammiline konteiner, nagu seda oli esimene Nõukogude tehiskaaslane, või poolteisetonnine, nagu oli kol-

mas. Kuid need on nii-öelda kohaletoimetamise raskused, nad sõltuvad tehiskaaslast orbiidile tõstva raketi võimsusest.

Kuid kui tehiskaaslane on juba orbiidile toimetatud ja ta alustas iseseisvat liikumist, sõltub tema liikumine veel ainult kiirusest, mille ta sai sündimisel, tema suunast ja kõrgusest maapinna selle punkti kohal, millest ta oma rännakut alustas.

Nii raske kui ka kerge tehiskaaslane, saades võrdse «laengu» kiirust ühes ja samas suunas ja võrdsel nivoopinnal üle Maa, liiguvad ühesugust orbiiti mööda, mis Maa ebaühtlase gravitatsiooni-välja mõjul ühesuguselt muutub. (See on, mõis-tagi, iseloomulik kõikidele tehiskaaslastele, mis on meie planeedist võrreldamatult väiksemad.)

Seda seletatakse jällegi sellega, et tehiskaaslase liikumine toimub mitte tänu mingisugusele mootorile, vaid täiesti erilisel «ebamaisel» viisil — raskusjõu mõjul. Aga kuigi ta mõju ka 10 korda raskemale tehiskaaslasele 10-kordselt suureneb, on tal niisugust tehiskaaslast ka 10 korda raskem liikvele panna kui kerget. Tulemuseks on, et nad mõlemad liiguvad ühesuguselt.

Muidugi vaatleme me siin tehiskaaslasi ainult nende liikumise seisukohalt. Kuid nad mitte üksnes lihtsalt ei liigu, vaid teostavad palju tähtsaid ja asendamatu uurimusi. Ja siin mängivad nende mõõtmed tähtsat osa. Iga uus Nõukogude tehiskaaslane on palju suurem eelmisest ja kannab palju rohkem väärtuslikke haruldasi aparate. Peale selle, mida suurem on tehiskaaslane, seda kergem ja mugavam on teda vaadelda, sest ta peegeldab rohkem päikesekiiri. Tähendab, et ka taevase maamõõtjana on suur lunoid parem.

Kuid me ei ole jutustanud veel kõikidest kos-

milise maamõõtja imepärastest «võimetest». Tehiskaaslane osutab geodeetidele veel ühe teene: ta «mõõdab» maasügavusi, aitab tundma õppida Maa sisemuse ehitust.

Esimesel pilgul paistab see küll täiesti võimatus: mil viisil saab väljaspool Maad asuv lunoid ilma tema sisemusse pilku heitmata jutustada sellest, mis meie planeedi sisemuses toimub? Kuid ometi, läbi kompides gravitatsioonivälja kühmud ja nõod, teeb tehiskaaslane just sel teel kindlaks ka nende põhjuse.

Siksakid tema orbiiti tekivad sõltuvalt sellest, kas ta tundis ära, kas tema all asuvad tihedad graniitkaljud või «pehme» liivane leetseljak, raske rauamaagi «kamakas» või kerge lubjakivi. Teades aga, kui kõva on meie planeet ja missugune on eri kohtades tema tihedus, võime me Maa kuju uurimisele ka teisest küljest läheneda.

Selleks, et paremini mõista, kuidas on seda võimalik teha, siirdume uuesti X rahvusvahelisele astronoomide kongressile, selle komisjoni istungile, kus arutatakse pooluste mööda Maa pinda liikumise seadusi, neidsamu seadusi, mis kunagi juba geodeetidel aitasid Maa kuju täpsustada, näidates, et see ei ole mitte korrapärase pöördellipsoid, vaid kolmeteljeline ellipsoid. Kuid seekord ei ole jutt sellest, missugune on pooluse tee kuju, vaid sellest, kui palju aega poolusel igaks tiiruks kulub.

## MAAPÕUE LASTUD LOOD

Ruumikasse koosolekusaali ülesriputatud joonisel on meile tuttavad «keerud» — pooluse liikumistee jäljed. Istungist osavõtjad silmitsevad seda tähelepanelikult. Nad justkui püüaksid nen-

des lohakates joontes näha ettekandja poolt nii eredalt joonistatud pilti maapõue ehitusest.

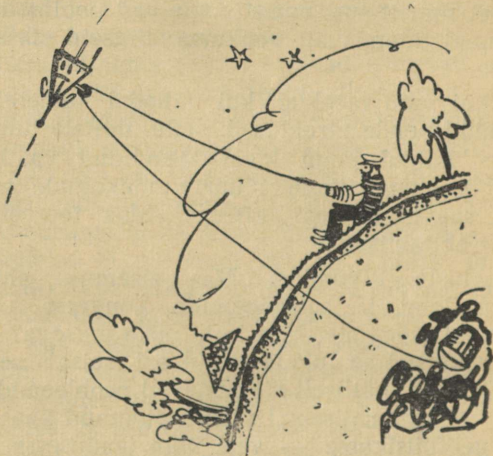
Kõnetoolis on Poltaavast kongressile sõitnud nõukogude astronoom J. P. Fjodorov. Avaldus, mille ta alles äsja tegi, äratas kokkutulnutes kõige elavamad huvi. Kuid kõige rohkem erutas ja rõõmustas see vahest inglasi H. Jeffrey, kes kunagi summeeris kogu maakerale langevate vee-  
piiskade ja lumehelveste kaalu ning püüdis tõestada, et nimelt just nemad sunnivad poolust tema teekonnal täiendavalt võnkuma, liigseid siksakke tegema.

Ja kui vaid mõelda, kui lähedal teineteisele olid nüüd nende järeldused: selle, millele tuli see tohutul hulgal kogu Maa läbiviidud vaatluste põhjal pooluse liikumist uuriv nõukogude astronoom, saavutas tema, Jeffrey, Maa teoreetilise mudeli ehitamisega.

«Pooluste liikumine, Maa sisemuse ehitus, tehiskaaslane ja astronoomide kongress — aga mis on siin tegemist Maa kuju määramisega?» — mõtleb kõrvaline lugeja. Kuid asi seisab selles, et kõik need näiliselt nii erinevad probleemid on kõige eriskummalisemal viisil põimunud kaasaegsesse geofüüsikasse — veel ühte teadusesse, mis maakera kuju uurimisest osa võtab.

Küsimus sellest, missugune on Maa kuju, omandas juba üldise gravitatsiooniseaduse kindlaks-tegemise epohhil geofüüsikalise iseloomu. Newton arvas, et Maa oli tol ajal, kui tema kuju välja kujunes, vedelas, ülessulanud olekus. Sellest lähtudes püstitas ta oma järeldused tema lapikuse kohta. Tema arvestuse järgi moodustas see  $\frac{1}{230}$ . Tegelikult, nagu teada, osutus see veidi väiksemaks. Miks see nii välja tuli?

Newton arvutas lapikuse välja vedela, ühtlase (homogeense) Maa jaoks. Aga üks tema oponente vaidluses — Christian Huygens — jõudis hoopis teisele järeldusele. Tema ettekujutuses oli Maa tahke ja seetõttu ei saanud selle osakesed üksteist ligi tõmmata, nii nagu arvas Newton, vaid igaüht neist tõmmati Maa tsentri suunas. Niisuguse Maa lapikus, mille kogu mass justkui kontsentreeruks tsentrisse, osutus võrdseks  $\frac{1}{576}$ .



Kui imelik. Maa tegelik lapikus erines kõigest kolmandiku võrra sellest, mille Newton vedela ühtlase planeedi jaoks välja arvutas. Osutus, et meie Maa on omadustelt lähem ikkagi ühtlasele vedelale kehale. Muidugi mitte niisugusele, njuutonlikule, kõikjal tiheduselt ühesugusele Maale, mille mass on ühetaoliselt jaotatud kogu tema massiivi ulatuses. Kuid ometi meenutas ta väga vedelat kera.

Vaat miks kuulsalt Lapimaa ekspeditsioonilt tagasitulnud ja ekvaatoril läbiviidud kraadimõõtmiste põhjal tegelikku Maa lapikust väljaarvutatunud prantsuse akadeemik Clairaut avaldas, et Newton ei olnud tõest üldiselt väga kaugel, kui ta rääkis, et Maa on vedel.

Ta ei ole ainult täiesti ühtlane. Clairaut' arvamuse järgi on Maa keskpunktile lähemal asuvad kihid nähtavasti pealmistest tihedamad. Seetõttu tõmbavad Maa osakesed üksteist ligi veidi teisiti, kui see Newtonil välja tuli, ja järelikult kujuneb teistsuguseks ka tema lapikus.

Tuli välja, et Maa kuju ei sõltu mitte üksnes tema pöörlemisel arendatavast kesktõukejõust, mis teda lapikuks litsuda püüdis, vaid ka tema sisemisest ehitusest. Tegelikul Maal asuvad südamikus tihedamad massid, mispärast kesktõukejõud Maad vähem kokku surus. Kui aga kogu mass oleks Maa tsentrisse keskendatud, oleks meie planeet veelgi vähem lapik. «Tuleb välja, et kui teada Maa pöörlemiskiirust ja tiheduse jaotust tema sisemuses, võib kindlaks määrata tema kuju,» otsustas Clairaut. Niisiis oli Maa kuju probleem viidud kuju leidmiseni, mille võib võtta teatava kindla tihedusega pöörlev vedel mass.

Uurides niisuguse vedeliku osakeste liikumist, tuli Clairaut järeldusele, et neid võib käsitada kui kahe vastandjõu — raskus- ja kesktõukejõu mõjul tasakaalus olevaid. See kergendas väga ülesannet. Selle asemel et kindlaks määrata kuju, mille võtab pöörlemisel vedel mass, oli küllaldane leida tingimused, mille juures tema osakesed on tasakaalus.

Clairaut leidis niisuguse tasakaalu tingimused ja väljendas sõltuvust Maa kuju, tema pöörlemis-

kiiruse ja sisemuse ehituse vahel matemaatilise valemiga. See oli üle kaheksa aasta tagasi.

Matemaatiline lahendus leiti, kuid siis ei olnud veel teada kogu Maa ligikaudnegi keskmine tihe-  
dus, rääkimata juba Maa mitmesuguste masside üksikasjalikust jaotusest tema sisemuses. Siis ei olnud olemas ka meie planeedi füüsikalisi omadusi uurivat teadust ennast.

Geofüüsika esimesed sammud juba veensid, et Maa on tahke keha ja, järelikult, ei või pöörelda kui vedelik. Võimalik, et seda arvamust oleks loetud õigeks ka meie päevil, kui poleks olnud püsimatut rändurit — poolust.

Möödunud sajandi üheksakümnendatel aastatel kujutas pooluste rännakute uurimine endast üht kõige «moodsamat» astronoomilist probleemi. Pärast seda kui see huvitav nähtus avastati, hakati maakera paljudes observatooriumides ebatavalist rändurit vaatlema. Tehti isegi katseid tema võimalikke koordinaate ennustada. Ja siin siis selguski, et see on pigem geofüüsikaline, kui astronoomiline ülesanne.

Teadlaste arvutuste järgi pidi poolus 305 päeva, s. o. umbes 10 kuu pärast oma esialgsesse asukohta tagasi pöörduma. Kuid ka esimesed vaatlused kinnitasid, et tegelikult liigub poolus palju aeglasemalt. Ta sooritas oma teekonna 427—430 päevaga, s.o. peaaegu 14 kuuga. Millest võis see olla tingitud?

Pooluste liikumise aega pikendava saladusliku põhjuse otsingud oleksid tõenäoliselt jätkunud siiani, kui mitte üks astronoom poleks kahelnud selles, et meie Maa on tahke. 305 päeva pidi pooluse teekonnale kuluma just täiesti tahke Maa puhul.

Aga mis siis, kui Maa ei ole päris tahke, vaid

vetruv? «Võnkudes» oma teljel hakkab ta siis justkui vetruma. Seejures tekivad vetruvad takistused ja Maa ei suuda kaugele kõrvale kalduda. Tulemusena maakera «õõtsumiste» kiirus väheneb ning pooluste liikumine venib 10 kuult 14 kuule.

«Pehmemal» Maal rändaks poolus veelgi kauem. Kui meie planeet poleks koosnenud ka mitte graniitidest ja basaltidest, vaid, näiteks, veest, siis niisuguses järeleandlikus massis ei oleks poolus hoopiski suutnud edasi liikuda — õigemini, tema kohamuutmist ei oleks võimalik olnud vee enda liikumisest eraldada.

Kui otsustada pooluse liikumise järgi, selgub, et Maa ei ole tõepoolest päris tahke.

See tähelepanek sai alguseks kõige huvitavamate tööde tervele seeriale, mis viisid geofüüsikud arusaamisele sellest, kuidas tahkel kehal võivad samaaegselt olla ka vedeliku omadused. Otsustavat tähtsust omasid uurimused kõrgete rõhkude ja -temperatuuride valdkonnas.

Kolossaalsele rõhule allutatud tugevasti kuumutatud kehade kohta ei saa öelda, kas nad on tahked või vedelad. Taolistes tingimustes need kauged mõisted lähenevad teineteisele, sest et tekib aine täiesti uus olek. Tükk marmorit, kui teda kaua ja tugevasti kokku pigistada, muutub plastiliseks ja isegi voolavaks. Pehme savi taoliselt võtab ta täpselt selle vormi kuju, millesse ta suletakse. Samal ajal muutub aga näiteks parafiin nendes tingimustes nii kõvaks, et temaga võib nagu stantsiga lüüa terasplaadisse jäljendi.

Need katsed andsid mõninga ettekujutuse sellest, kuidas tohutu jõuga kokkusurutud ja mitte vähem tugevasti kuumutatud aine omadused võivad maasügavuses muutuda. Maa osutus üheaegselt tugevamaks terasest ja pehmemaks vahast.

Vaat miks ta tahkeks jäädes pöörleb paksu vedelikuna ja võtab kuulekalt selle kuju, mille talle kesktõukejõud annab.

Kui see aga nii on, siis võib järelikult ka ta kuju lihtsalt Clairaut' valemi järgi kindlaks määrata? Muidugi võib, kui on teada, kuipalju meie Maa on tahkem meile tuntud vedelikest ja kas ta on kõikjal ühtlaselt pehme. Aga just seda ei tea täpselt ka kaasaegne geofüüsika.

Missuguseid kavalaid võtteid teadlased selleks küll ei kasutanud, et Maa sisemuse ehitust mõistatada! Nad saatsid maasügavusse rändama kunstlike maavärinate «kaja». Liikudes tihkete ja pehmete kivimite keskel erineva kiirusega, pöördus kaja tagasi maapinnale ja kandis teadlastele ette kõikidest kohatud «raskustest».

Kuid kaugemale kui pooleni ei õnnestunud tal maamassiivi sügavusse tungida. Allapoole jäi planeedi salapärane tuum, mis tõrjus tagasi seisilised lained, ei lasknud neid endast läbi.

Geofüüsikud pöördusid abi saamiseks Kuu poole.

Taoliselt mehaanilisele vedrule venitab Kuu Maad, justkui proovides, kui elastne ta on. Me näeme vahetult ainult ühte selle «kosmilise katse» ilmset tulemust: kaks korda ööpäevas, andes järele Kuu külgetõmbele, tõuseb küüruna vesi ookeanis ja kihutab hoogsalt kaldale.

Kui aga meie Maa ei ole päris tahke, tähendab, kas ei peaks ta siis venima ka Kuu jõudude tegevuse mõjul? Teiste sõnadega, kas Maa kehas endas ei peaks mingeid tõuse esinema?

Teadlased sundisid Kuud teatama neile eksperimendi tulemustest, mida see Maa satelliit meie planeedi kallal looduslikus laboratooriumis läbi viib. Nii sai teatavaks «tahke» tõusu olemasolu

maakooses. Nüüd jäi üle veel tema kõrgus ära mõõta.

See ülesanne on haruldaset raske. Asi on selles, et tahke tõus on ookeani omast palju väiksem. Moskva laiusel moodustab see kõigest 50 sentimeetrit. Maakera läbimõõduga võrreldes on see suurus päris mikroskoopiline. Peamine on aga see, et kuigi moskvalased nagu merel sõitval laeval viibides ööpäevas kaks korda poole meetri võrra tõusevad ja vajuvad, ei märkagi nad ise seda. Tahke tõus pole märgatav, sest koos meiega tõusevad ju tahke laine harjale ka hooned ja tänavad.

Tema suurust õnnestus mõõta pärast seda, kui taibati, et koos tahke tõusu haripunktiga on võimalik ära mõõta mingi tema laine harjale tõusva eseme kaalu muutumist. Maa tšentrist eemaldamisega peab iga ese kaks korda ööpäevas pisut kergemaks muutuma.

Muldugi on pool meetrit tühine kaugus ja kaalu kaod on siin lihtsalt raskesti kindlaks tehtavad, kuid kaasaegsed instrumendid tabavad ka niisuguseid suurusi. Neid mõõdetakse väga tundlike gravimeetrite ja eriliste horisontaalpendlite abil.

Selle tahke tõusu suuruse järgi võib nüüd katsuda välja selgitada, kuivõrd «pehme» ja järeleandlik on meie Maa.

Tuntud nõukogude teadlane, Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige M. S. Molodenski saavutas selles valdkonnas suurt edu, kuid tal ei õnnestunud jõuda lõplikule lahendusele — tõestada, kas meie planeet on seest tahke või vedel.

Geofüüsikud pöördusid Maa enda poole. On veel üks viis, kuidas teada saada, millest tema sisemus koosneb. Seda on võimalik kindlaks teha selle järgi, kui tugevasti maakera pöörded ümber oma telje aeglustuvad.

On teada, et kui on vaja kindlaks teha, kas muna on toores (seest vedel) või keedetud (tahke sisemusega), keerutatakse teda ringi. Ja meie ees ongi keerlev «muna» — Maa. Kuidas siis kindlaks teha, kuivõrd tahke või vedel ta on?

Uuesti pöörduiti rahutute rändurite — pooluste poole. Nende teoreetilisest «sõiduplaanist» mahajäämise aja järgi on ju võimalik otsustada mitte ainult selle üle, kas Maa on üldiselt tahke või mitte, vaid ka selle üle, missugusel määral ta on vetruv.

Tänu sellele meetodile õnnestus meie planeedi ehituse mõistatuse lahendusele veelgi lähemale jõuda. Nõukogude atsroneemi J. P. Fjodorovi uurimuste järgi tuli välja, et suhteliselt tahke Maa sisemuses asub vedel tuum läbimõõduga umbes kuus tuhat kilomeetrit. Niisugusele järeldusele jõudis ka inglane H. Jeffreys.

Nüüd valisid geofüüsikud oma uueks abiliseks tehiskaaslase, mis võimaldab läbi kombata mitte üksnes Maad ümbritsevat gravitatsioonivälja, vaid justkui ka tema sisemusse piiluda. Ja on täielik alus loota, et see «lood», mis kosmosest maapäue visatud, esitab juba võrratult täpsema pildi meie planeedi sisemuse ehitusest.

## MITU MAAD ON PÄIKESENI?

Kui Prantsuse konvent kinnitas meetri kui maakera ümbermõõdu osa, eeldati, et Maa mõõtmetega hakatakse võrdlema ainult maapealseid vahemaid.

Kuid astronoomidel oli vaja teada saada, kui kaugel meist asuvad naabrid — Marss, Veenus, Jupiter, Pluuto ja teised päikesesüsteemi planee-

did. Ja ka Päike ise — kui kaugel ta on Maast? Selgus ka, et meie päikesesüsteemi mõõtmeid ja üldse kõiki kaugusi kosmoses, olgu see meid kõige lähemast galaktikast või kõige kaugemast, vaevu vilkuvast tähest lahutav kaugus, saab kindlaks määrata ainult Maa suurust teades.

Siin juba tibatillukese mõõduga — maakera meridiaani ühe neljakümnemiljondiku osaga — toime ei tulda. Sel korral tuleb käiku lasta kogu maakera läbimõõt tervikuna.

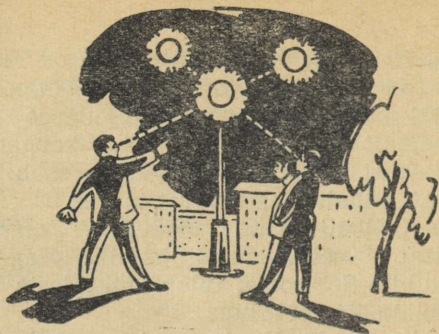
Kuidas siis mõõdetakse kaugusi taevakehadeni? Muidugi ei mõtle mitte keegi hakata maakera diameetrit kogu tohutus ulatuses Maast tähtedeni n.-ö. «maha laduma». Kosmilisi kaugusi ei ole võimalik vahetult mõõta, asetades neile kas või kõige pikemat joonlauda. Selleks et seda sooritada ilma paigast liikumata, tuli teadlastel rakendada teravmeelset võtet.

Asetage lauale süüdatud lamp ja vaadake temale silmi vidutades algul vasaku, seejärel parema silmaga: lamp just nagu kargaks kõrvale. Millest on see tingitud?

Kui me vaatame kahe silmaga, projitseeritakse iga silmaga eraldi nähtav lambi kujutus täpselt mõlema silma vahelisele teljele. Sulgedes järjekorras kord ühe, kord teise silma, me just nagu jaotaksime selle kujutuse kaheks ja vaataksime igaüht neist eraldi. Algul näeme lampi nii, nagu seda näeb parem silm, aga sulgedes selle, nii, nagu ta on nähtav vasakule silmale.

Vasakpoolse ja parempoolse lambi kujutuse vahemaa suurus oleneb üht silma teisest lahutavast kaugusest, — seda nimetatakse baasiks. Kui baas on suurem, «hüppab» ka lamp rohkem.

Nüüd asetage aga lamp toa kaugemasse otsa ja tehke sedasama. Olgugi et baas jäi endiseks,



muutus vahemaa, mille võrra lamp asukohta vahetas, väiksemaks, sest me vaatame temale eemalt.

Selgub, et niisuguse «hüppe» suuruse järgi ühe ja sama baasi puhul on võimalik otsustada, kui kaugel meie poolt vaadeldav ese asub. Seda meetodit rakendavadki astronoomid taevakehade kauguse mõõtmiseks. Ainult baas tuleb võtta mitte nii väike, kui see oli meie koduse «katse» puhul, vaid pikkusega tuhandeid kilomeetreid. Selle ülesande täidab Maa läbimõõt.

Üks vaatleja asub maakera ühel poolel, teine aga vastasasuvas punktis, maakera läbimõõdu teises otsas. Kui oleks võimalik silmapilkselt ühest vaatluspunktist teise lennata, siis me näeksime, kuidas näiteks Kuu, taoliselt meie lambile, sooritab mööda taevast hüppe. Selle suurus, nagu me juba teame, sõltub baasi pikkusest.

Aga kui me nüüd sellesama baasi otstest vaatame mõnele kaugemale planeedile, näiteks Marsile? Tema hüpe, nagu lambigi puhul, mille me

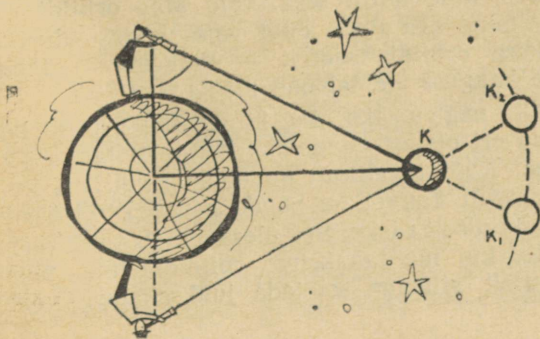
toa kaugemasse nurka aetasime, ei paista meile enam niivõrd suurena, kui lähedase Kuu omad.

Järelikult on vaja selleks, et välja arvutada, kui kaugel asub Maast Kuu või mis tahes teine planeet, teada, millega maakera läbimõõt võrdub ja kui palju taevakeha «nihkub», kui vaadata teda algul selle läbimõõdu ühest otsast, seejärel aga teisest.

Seda taevakeha näilist asukohavahetust nimetatakse parallaksiks. Määrata kaugust Kuu, Päikese või tähtedeni, tähendab enne kõike leida nende parallaks.

Kui maakera nähtamatu läbimõõdu otstes asuvad vaatluspunktid ja Maa tsenter mõtteliselt kujuteldavate sirgjoonte abil Kuuga ühendada, siis lõikavad Maa ja Kuu vahelist ruumi kaks hiiglasuurt kolmnurka. Iga kolmnurga üks külg on teada — see on meie planeedi raadius ehk pool baasi, teine aga ongi vahemaa Kuu ja Maa vahel, mida oli vaja teada saada.

Lihtsustatud kujul võib selle ülesande isegi koolilaps ära lahendada. Kolmnurk on ju läisnurkne, teada on üks tema kaatetidest ja terav-



nurga suurus tema tipus, mis määrati kindlaks koos parallaksi leidmisega.

Kui planeedid tulevad Maale päris lähedale, võib nende kaugust kindlaks määrata ka väiksema baasi — maakera ümbermõõdu mingisuguse osa abil. 1672. aastal, järjekordse vastasseisu ajal, kui tavaliselt üle 100 miljoni kilomeetri kaugusel asuv Marss Maale peaaegu kaks korda lähemale tuli, katsusid teadlased kaugust temani täpselt ära mõõta baasi otstest, mis ulatus Pariisist ekvaatorini. Nimelt sellepärast lähetatigi Cayenne'i õnnetu astronoom Richer, varustades teda «täpseimate» kelladega, nagu tol ajal arvati.

Kuid meie päikesesüsteemi planeetidest palju kaugemal asuvate tähtede jaoks jääb isegi niisugune tohutu baas, nagu seda on 12-tuhande kilomeetrine Maa läbimõõt, väikseks. Seepärast määratakse nende parallaksi kindlaks maakera orbiidi vastaspunktidest, mida lahutab peaaegu 300 miljonit kilomeetrit. Mõistagi tuleb neid vaatlusi läbi viia mitte üheaegselt, vaid pooleaastase vaheaja järel.

Nüüd muutub nähtamatu kolmnurk kümneid tuhandeid kordi suuremaks. Üks tema külgi on ka raadius, kuid mitte Maa, vaid Maa orbiidi raadius, teine aga (teda ongi vaja leida) ühendab maakera orbiidi tsentrit — Päikest — tähega, mille kaugust me tahame mõõta.

Näib, nagu peaks Maa hiiglasliku orbiidi läbimõõdu eri otstest vaadeldav täht sooritama suure hüppe. Kuid tegelikult on tähed meist nii kujuteldamatult kaugel, et nende parallaksi leidmine on erakordselt raske. See ülesanne on samaväärne sellele, kui me tahaksime mitmekümne meetri kauguselt silmaga seletada juuksekarva võnku-

mist, mis oma suuruselt on palju väiksem juuksekarva jämedusest.

Kui selletaolist juveliiritööd esmakordselt võit kroonis, kirjutasid ajalehed, et «universumi sügavusse visatud lood leidis lõpuks põhja».

See toimus 1835. aastal, aga esimene, kellel õnnestus nii täpset mõõtmist läbi viia, oli meile juba tuntud astronoom Fr. G. W. Struve. Täht, mille kauguse ta määras, oli Maale üks lähemaid. See oli Veega.

Kõige kiiremaks meile teadaolevaks ränduriks on valgus, mis läbib sekundis 300 000 kilomeetrit. Ja sellegipoolest kulub tal 27 aastat, et jõuda Veegalt Maani. Ometi on see tähemaailma kohta päris väike kaugus. Kosmilisel ookeanil ei ole «põhja». Kõige kaugemaiks meile teadaolevaiks tähtedeks on Deeneb, Betelgeuse ja Bellatrix, mis asuvad meist niisuguses tohutus kauguses, et seda on peaaegu võimatu lahti mõtestada. Kiire valguskiir lendab nendelt meieni pool aasta-tuhandet ja rohkem.

Struvele, kes määras mitmesaja tähe kauguse, anti tema teadusliku kangelasteo eest — nii räägiti tollal — «Venemaa esimese astronoomi» nimetus.

Praegu on täpselt teada, kui kaugel meist on paljud tuhandet tähti. Kindlaks on määratud mitte üksnes meie päikesesüsteemi mõõtmed, vaid ka selle hiiglasliku täheperekonna ulatus, milles päikesesüsteem on ainult lihtliikmeks.

Me teame nüüd, et piki meie Galaktika raadiust jookseks valguskiir 50 000 aastat, Päikeselt aga Galaktika keskpunktini rändaks ta 35 000 aastat. Aga meie Galaktika ei olegi ju eriti suur, tema naabruses asub aga arvutu hulk teisi tähesaarestikke. Ainult selles taeva osas, mis

on kaasaegsetele teleskoopidele kättesaadav, loetakse galaktikaid miljardi ümber. Kõige lähemani neist, mis asub Andromeeda tähtkujus, on kaugus umbes 15 korda suurem, kui meie Galaktika kõige kaugemate piirkondadeni. Valgus lendab temalt Maani üle miljoni aasta.

Ja siiski on inimene need koletud kaugused ära mõõtnud. Aga kas te olete sellele mõelnud, et need oleksid meile teadmata, kui me ei teaks oma planeedi mõõtmeid?

Nähtavasti aga, kui asi puutub tähtedesse, ei ole Maa läbimõõdul või raadiusel sellega asja. Seal võetakse rakendamisele hoopis teine — maakera orbiidi läbimõõt või raadius. Aga mis see siis on, kui mitte kaugus Maast Päikeseni, mis on välja arvatud sellesama maakera läbimõõdu abil?

Veelgi enam, ükskõik missuguseid kosmilisi kaugusi me ka ei mõõdaks, lõpptulemusena tuleme ikkagi hariliku meetri juurde tagasi: et endale selgesti ette kujutada isegi uskumatult tohutute tähekauguste suurust, peame ütlema, kui palju mahub neisse meetreid.

See võib näida mittetõepärasena. Ja tõepoolest oleks naeruväärne püüda tohutuid kosmilisi kaugusi loendada mudilastes-meetrites. Need väljenduksid siis tõesti «astronoomilistes», kümnetest, aga ka sadadest numbritest koosnevates arvudes.

Et seda vältida, kasutatakse astronoomias teisi, palju suuremaid ühikuid: parsekeid, valgusaastaid ja spetsiaalset nimetust mitteomavat ühikut, mida nimetataksegi lihtsalt «astronoomiliseks ühikuks».

Parsek — see on kaugus täheni, mille paral-laks võrdub ühe nurgasekundiga. Valgusaasta

aga on kaugus, mille valguskiir aasta jooksul läbib. Ja kui me räägime, et Andromeeda tähtkujust, oletame, tuleb valgus meieni miljon aastat, siis tähendab see, et temani on miljon valgusaastat.

Astronoomiliseks ühikuks on aga maakera orbiidi raadius ehk kaugus Maast Päikeseni. Astronoomilistes ühikutes näidatakse tavaliselt kaugusi päikesesüsteemi piirides. Maa asub seega Päikesest ühe astronoomilise ühiku kaugusel. Kui me aga räägime, et Pluuto on, ütleme, Päikesest 40 korda kaugemal kui Maa, siis tähendab see, et temast on Päikeseni 40 astronoomilist ühikut.

Ühte ja sama kaugust võib väljendada kõigis kolmes ühikus. Niisiis, kui Maast Päikeseni mahub tervikuna ära üks astronoomiline ühik, siis mahub sellele kaugusele valgusaastast ainult väikene osa: valgus jõuab Päikeselt meie planeedini  $8\frac{1}{3}$  minutiga. Parsekeid aga — õigemini tema osi — mahub samasse lõiku veelgi vähem — kõigest  $\frac{1}{206265}$  parseki osa. Võrdub ju parsek 3,26 valgusaasta ehk 206265 astronoomilise ühikuga.

Kuid kui palju me ka ei viiks parsekeid üle valgusaastateks, neid aga astronoomilisteks ühikuteks, kuidas meid ka ei hämmastaks meie planeedist kuni naabergalaktikani mahtuvate valgusaastate ohtrus, meetrit mitte mainides ei suuda me siiski öelda, kui palju seda ometi on.

Tõepoolest. Mida me parseki all mõistame? See ei ole lihtsalt ei tea millega mõõdetud kaugus täheni. Tema parallaks on ju lõppkokkuvõttes ära mõõdetud baasi abil, milleks on Maa läbimõõt. Ka kosmiliste kolmnurkade kõik küljed mõõdetakse maakera läbimõõdu osades, mis omakorda

võrdub rohkem kui 12 000 kilomeetriga. Ja mõis-  
tagi, seesama käib ka astronoomilise ühiku kohta.  
Tema pikkus ei ole midagi muud kui 150  
miljonit maa kilomeetrit.

Valgusaasta pole samuti iseenesest arusaadav,  
nii nagu parsek või astronoomiline ühikki, kuni  
pole teada, kui palju kilomeetreid siis valguskiir  
selle või teistsuguse ajaga läbi käib. Vaat miks,  
missugust kaugust me ka ei mõõdaks — kas lähe-  
daste «tähelinnade» või kaugemate, tähtedest  
koosnevate «saarte» vahelist, — alati võrdleme  
me neid meie planeedi mõõtmega.

Maa raadius on justkui «vahetamatuks rub-  
laks», mis jääb ühesuguseks ja muutumatuks  
tähesuuruste kõikide tavalisteks suurusteks ümber-  
arvestuste puhul. Ta kujutab endast sidelüli  
mõõtmiste vahel vahetult inimesele kättesaadava  
maise ruumi piirides ja kaudsete mõõtmiste vahel  
kosmoses.

Võib paista, et Maa täpsed mõõtmed ei oma  
seejuures suurt tähtsust. Noh, kui palju muutub  
meie ettekujutus kaugusest Maalt Päikeseni,  
mida loetakse mitte ühe kümne miljoni kilomeet-  
riga, või veelgi suuremast päikesesüsteemi läbi-  
mõõdust, mida arvutatakse juba miljardite kilo-  
meetritega, kui selgub, et Maa raadius moodus-  
tab mitte 6375, vaid 6378 kilomeetrit? Näib, et  
see peaks jääma märkamatuks.

Kuid astronoomid arvutasid välja, et kui meie  
planeedi mõõtmete täpsustamise tagajärjel Päi-  
kese parallaks muutub ühe sajandiku sekundi  
võrra, tuleb astronoomilisesse ühikusse sisse viia  
küllaltki soliidne parandus — talle tuleb lisada,  
või, vastupidi, temalt ära võtta, tervelt 170 000  
kilomeetrit. Aga Maa raadiuse suuruse muutu-  
mine kõigest 100 meetri võrra tähendaks, et

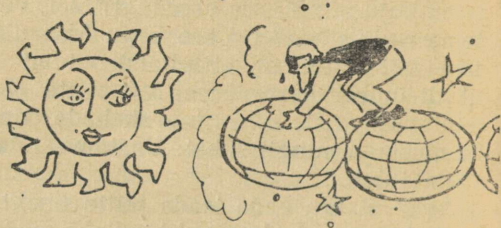
päikesesüsteemi läbimõõt on välja arvatud 185 000-kilomeetrise veaga.

See kõik käib Maa mõõtmete kohta. Aga kas tema kuju mingit osa ei mängi? Või, veelgi enam, tema raskusjõud? On see kogu Maa ulatuses ühtlane või mitte, on gravitatsiooniväli meie planeedi ümber korrapärase või mitte — see juba, nähtavasti, ei oma taevakehade omavaheliste kaugustega mingit suhet. Vaatame, mis tegelikult välja tuleb.

Meie ei saa enne teada mitte ühegi tähe kaugust, kui me ei ole algul kindlaks määranud kaugust Päikeseni. Väikese maadiameetri otstest me ju ei näe, kuidas tähed «hüppavad». Selleks aga, et nendele vaadata maakera orbiidi läbimõõdu eri otstest, ongi vaja teada kaugust Maast Päikeseni. Selleks aga tuleb, nagu te mäletate, mõõta ära Päikeses parallaks. Kuid seda ei saa küllaldase täpsusega mõõta päikeseketta suure läbimõõdu pärast. Vaat miks Päikeses parallaksi enamasti mitte vaatluste põhjal kindlaks ei määrata, vaid arvutatakse välja Kuu suurustest (või planeetide vaatlustest nende Maale kõige lähemal olekul) lähtudes.

Kuigi Kuu nähtav ketas ei ole päikesekettast kuigivõrd väiksem, asub ta see-eest palju lähemal ja on mugavamini vaadeldav. Kuid nimelt seepärast, et Kuu on Päikesega võrreldes Maale väga lähedal, sõltub tema parallaksi täpne suurus isegi sellistest detailidest, kas vaatluskohas oli künegas või lohk, s.o. mitte ainult mõõtmetest, vaid ka Maa täpsest kujust.

Kui aga proovida, ütleme, Päikeses massi kindlaks määrata? Tuleb võrrelda jõudu, millega Päike ja Maa neist ühel kaugusel asuvat eset külge tõmbavad. Selle jõu suurus, nagu teada,

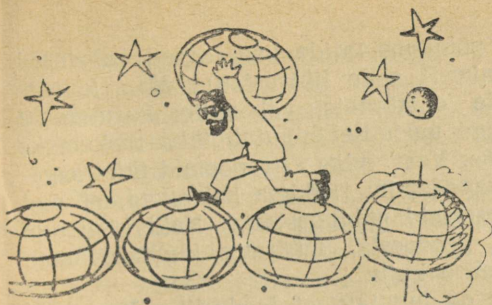


sõltub kaugusest, millelt ta mõjub. Niisiis, ka sel juhul on vaja teada päikese parallaksi. Seejuures satume me sel korral meie planeedist veelgi suuremasse sõltuvusse — ei saa ju, muide, Päikese või ükskõik missuguste teistegi taevakehade kaalu välja arvutada ilma Maa kaalu teadmata.

Tuleb välja, et me ei saa mõõta kaugusi kosmilises ruumis, kui meil ei ole teada mingid Maa suurusest sõltuvad teatud suurused: maakera raadius, Kuu ja Päikese parallaks. Neid suurusi nimetatakse astronoomia põhikonstantideks.

Kuid osutub, et niisama tähtis on teada raskusjõudu lamedal poolusel ja kumeral ekvaatoril, Maad suruva kesktõukejõu suurust ja Maa elastisust, mis takistab seda jõudu Maa kokkusurumisel kõiki oma võimalusi täiel määral ära kasutamast. Teiste sõnadega, vajalikud on kõik need lähtesuurused, ilma milleta, nagu me juba nägime, ei ole võimalik kindlaks määrata Maa täpset kuju ega Maa külgetõmbejõudu. Ka nemad on maakera suurusest ja tema kujust sõltuvateks põhikonstantideks.

Määrata kindlaks Maa täpne kuju tähendabki



leida tema mõõtmete, sisemise ehituse, pöörlemise ja tema raskusjõuga seotud põhikonstandid, s.o. suurused, millela poleks võimalik mõõta univerversumi avarusi, kaaluda tähti ja galaktikaid — läbi viia kõike seda, mis kaasaegsest astronoomiast teeb täppisteaduse. Selgub, et ilma Maa tõelist kaju tundmata ei saa me kogu maailma-ruumist selget ettekujutust.

Praegu on kõik need tugipunktid välja arvutatud väga ligikaudselt — niisamuti, nagu ka meie planeedi kaju on teada ainult umbkaudselt. Vaat miks kaasaegsete astronoomia põhikonstantide süsteemis on vasturääkivusi. Nii ei vasta Kuu abil mõõdetud Päikese parallaks näiteks astronoomias tavaks saanud Maa massi väärtusele jne.

See on sellepärast nii, et tegelik Maa, nagu väljendavad astronoomid, erineb väga tolest «teoreetilisest» Maast, mida nad praegu kõigi oma mõõtmiste aluseks võtavad. Loetakse ju astronoomias Maad siiani korrapäraseks ellipsoidiks — isegi mitte kolmeteljeliseks, vaid veelgi ebatäpsemaks, kõigest kaheteljeliseks.

Ja kõik põhikonstantide kaasaegsed väärtused kuuluvad nimelt selle lihtsustatud Maa juurde.

Niisuguste ebatäpsete vahendite kasutamine maailmaruumi uurimisel muutub ikka raskemaks ja raskemaks. Vaat miks astronoomid ikka sagedamini ja sagedamini rääkima hakkavad, et nad vajavad täpsemaid põhikonstante. Neid võib aga anda ainult geodeesia, määrates kindlaks meie planeedi tõelise kuju.

Seejuures on huvitav, et loodusliku Kuu abil õnnestuks kindlaks määrata neist ainult kahte — Maa lapikust ja suurust. Tehiskaaslane võimaldab aga kindlaks määrata kaasaegse ettekujutuse järgi meie planeedi kuju iseloomustavad suurused viimse kui üheni.

## MISPÄRAST RASKUS ON RASKE

Laev lendas kosmoses. Vaba, sõltumatu, maa külgetõmbejõule mitte alluv...

Keset tähtedega täidetud musta sügavikku paisis Kuu hiiglaslik jatagan helkiva, pimedusest täkitud terana. Ühe «aknakese» eest on metallruloo üles tõstetud — ja laeva katva ebatavalise «nõidusliku» koostise poolt tagasitõrjutud Kuu külgetõmbejõud tungis lõpuks läbi, sellesse õhuauku. Kuu poolt ligitõmmatuna hakkas laev langema...

Niisugust ainet looduses ei ole. Suurepärase, kaalu mitte omav aine, millest valmistatud kehad ei oma raskust, on loodud vaid fantastide ettekujutuses. Selleks et nõiduslikku muinasjuttu reaalsuseks muuta, on vaja ära mõistatada raskusjõu olemus.

Kõikjaletungiv salapärane raskus, mille eest ei ole võimalik ei peita ega varjata, — milles seisab tema olemus, mispärast ta on «raske»? — see on erutav küsimus, kaasaja teaduse üks huvitavamaid probleeme.

«Raskus on jõud, millega kehad mõjuvad üksteisele,» rääkis XVII sajandil Newton.

«Mingit raskust ei ole olemas,» esitas kolm sajandit hiljem vastuväite Albert Einstein. On kehade liikumine inertsitõttu sel või teisel määral kõverdunud materiaalses ruumis. Seda kehade vabale liikumisele mõju avaldavat kõverdumist me käsitleme gravitatsioonina.

Newtoni järgi liigub Maa mööda elliptilist orbiiti teda allapoole kiskuva raskuse mõjul, ja inertsitõttu, mis teda otsesihhis edasi tõukab. Einsteini järgi liigub ta ainult inertsitõttu. Tema tee kujutab endast sirgjoont kõverdunud ruumis.

«Raskus — see on materiaali orgaaniline omadus, tema võime moodustada gravitatsioonivälja,» vastavad kaasaegsed füüsikud, kui te neilt küsite, mis see niisugune mõistetamatu raskus siiski on. See on vahest kõik, mis nad võivad öelda; isegi kui te neilt küsite, kus sünnib ja kuidas on «ehitatud» elektri- või tuumaväli, nad mitte üksnes ei joonista üksikasjalikult üles nende «sisemust», vaid näitavad isegi teile nende väljade poolt moodustatud pisimate «osakeste» «fotosid». Kaasaegne teadus tungis sügavale elektromagnetilise ja tuumavälja mikrostruktuuri ja võib seletada aatomiabitsa keeles, mis toimub välja «sees».

Niisamasugused väljad, nagu ümber Maa või Päikese, kuid ainult palju väiksemad, moodustuvad mis tahes aatomi sisemuses — tekivad osa-

keste ümber, millest aatom koosneb. Need nende hulgast, mis elektrilaengut omavad, nagu näiteks negatiivne elektron või positiivselt laetud positron, moodustavad magnetvälja. Aatomituumas asuvad prootonid ja neutronid moodustavad enda ümber tuumavälja, sest nad omavad erilist tuumalaengut.

Aatomi koosseisu kuuluvad osakesed pulseerivad lakkamatult, võnguvad, eraldades seejuures, kui nii võib öelda, mingisuguse hulga energiat, mis imatakse teise osakese poolt, mis vahetuseks uue «energiaportsjoni» välja saadab. Tänu niisugusele vahetusele nende vahel tekibki see, mida meie väljaks nimetame.

Elektromagnetilise välja «portsjonid» — need on footonid, valguse pisitillukesed «kondensatsioonid». Kiiresti ühest laetud osakesest teise kihutades nad just nagu seovad end üha uute ja uute «nöörikestega» üksteise külge. Samasugune elektromagnetiline «nöörike» seob neid osakesi endid aatomituuma külge.

Tuuma sisemuses täidavad «sidumisnööri» ülesannet aga pii-mesonid — väga kiired elementaarosakesed, lähedased sugulased nendega, mille vahel nad vastastikust mõju edasi kannavad. Nemad ongi tuumavälja «portsjoniteks», mida aatomituuma moodustavad osakesed omavahel vahetavad.

Needsamad «niidid», mis kiiresti edasi-tagasi lendavaid «süstikuid» justkui püsivalt pingutaksid, moodustavadki elektromagnetiliste ja tuumaväljade nähtamatu «kanga». Maa, Päike ja mis tahes teised, palju väiksemad kehad, omades samuti elektri- või analoogilise magnetlaenguga aatomisiseseid osakesi, hakkavad kiirgama niisamasugust elektromagnetvälja, mis aatomi sisemu-

sēs asuvaid elektrone, ainult palju «kaugelask-  
jamaid», välja lasevad. Kuid niisama nagu tibatil-  
lukest elektromagnetvälja aatomi sisemuses,  
kannavad tedagi edasi footonid.

Päikeselt meieni kihutavad valguse footonid,  
need ongi tema elektromagnetvälja «portsjonid»,  
maailmaruumi väljasirutuvad nähtamatud lõimed.  
Missugune «süstik» pingutab aga külgetõmbejõu  
«niiti» Päikese ligidal või meie Maa juures?

1927. aastal väljendas nõukogude füüsik  
D. N. Bernstein arvamust, et peavad eksistee-  
rima ka külgetõmbejõu «portsjonid». Seda mõtet  
arendas oma töödes edasi D. D. Ivanenko. Kuidas  
selle teooria järgi raskusjõu «mehaanikat» ette  
kujutatakse?

Nähtavasti kiirgab mis tahes keha lakkamatult  
välja külgetõmbejõu «portsjone». Igaühe välja-  
lennuga käib kaasas reaktiivne tõuge vastassuu-  
nas. Kuid kui võrd need külgetõmbejõu osakesed  
lendavad välja ühtlaselt igasse külge, siis neid  
väljakiirgav keha ise tõuget ei tunne. Või, kui  
rääkida täpsemalt, kõik tõuked tasakaalustavad  
üksteist.

Kuid nii võib toimuda, kui ruum keha ümber on  
vaba. Aga kui me talle lähendame teise samasu-  
guse külgetõmbejõu «portsjone» igasse külge väl-  
jakiirgava keha, nagu esimenegi? Siis on kehade  
vahel niisuguseid «portsjone» rohkem kui nende  
väliskülgedel. Ja, järelikult, — küllastatummisse  
ruumi — uuritavate kehade vahele kiiratakse neid  
välja vähem.

Peaaegu kõik külgetõmbejõu «portsjonid» len-  
davad välja vabasse ruumi, s. o. vastaskülge.  
Nüüd juba nende tõuked üksteist enam ei tasa-  
kaalusta. Vaba ruumi suunas väljapaisatud külge-  
tõmbejõu iga uus «portsjon» tõukab keha tema

naabri suunas. Kehad hakkavad justkui üksteist külge tõmmates liginduma. Tuleb välja, et külgetõmbejõu «portsjoneid» väljapilduv keha kujutab endast justkui reaktiivmootorit, mis teda teise keha poole «tõmbabki». Kas see on nii?

Füüsikud suutsid «näha» isegi aatomit moodustavate osakestega võrreldes kujuteldamatult tibatillukesi footoneid: nad fotografeerisid nende jälgi, mõõtsid energiat, samuti kirjeldasid üksikasjalikult pii-mesonite omadusi. Kuid mitte ükski ülitäpne eksperiment ei avastanud senini salapäraseid «gravitone», nagu neid külgetõmbejõu «portsjone» tinglikult nimetati, ei aatomi sise-muses, ei aatomituumas, ei päikesevalguse kiirtes ega Maa gravitatsiooniväljas. Ehkki vähemalt mingisugustki massi omavate kehade vahel, sealhulgas ka aatomi elementaarosakeste vahel, nagu me teame, tekib alati teiste väljadega mittesarnanev gravitatsiooniväli.

Kõik kehad, mis tekitavad mingi välja, kulutavad selleks ära osa oma massist. Päike näiteks «kõhneneb» elektromagnetilise kiirguse arvel igas sekundis rohkem kui 4 miljoni tonni võrra. Kuid miks ei ole avastatud isegi kõige tühisemat kaalukadu gravitatsioonivälja tekkimise puhul? Mille arvel siis salapärane «reaktiivmootor» töötab?

Mis tahes teist välja võib tõkestada, asetades footonite või pii-mesonite tee nende jaoks läbitungimatu ekraani. Aatomisisesed osakesed või laetud kehad võivad ju mitte üksnes nende vahel tekkiva välja mõjul üksteist külge tõmmata, vaid end ka üksteisest eemale tõugata. Nende omavaheliste suhete iseloom sõltub sellest, kas nende laeng on ühesugune või mitte.

Gravitatsiooniväli ei tunne mingeid tõukeid. Vankumatult, kõikvõimsana tungib ta läbi mis

tahes aine mis tahes paksusest. Kehad, mille vahele ta tekib, tõmbavad alati üksteist ainult ligi.

Kui uskuda välismaise ajakirjanduse teateid, on viimasel ajal tehtud katseid avastada, kas mitte Kuu ei saaks etendada meie planeeti Päikese külgetõmbejõu kiirguse eest varjava «kilbi» osa. Selleks oleks vaja suuta eraldada «päikese» gravitatsioon.

Siiani me rääkisime kogu aeg ühtede või teiste esemete kaalu muutvatest maistest põhjustest, olenevalt sellest, kus ja missugusel ajal ööpäeva jooksul neid kaaluti. Need olid: Maa lapikus, kesktõukejõud — erisugune poolustel ja ekvaatoril, ja lõpuks tahke tõus, mis vähendab isegi nende esemete kaalu, mis oma asukohta ei muuda.

Kuid Päikese ja Kuu külgetõmme, kutsudes Maa kehas endas esile tõuse, mõjub ka maiste esemete kaalule. Päike ja Kuu tõmbavad neid enda poole ega lase seetõttu Maad esemeid täie võimsusega külge tõmmata. Vaat miks noorkuu ajal, kui Kuu ja Päikese pingutused on ühele poole suunatud, kõik maised esemed muutuvad teiste päevadega võrreldes veidi kergemaks.

Päikesest tingitud kaalu muutused on kohutavalt väikesed. Seepärast on neid väga raske avastada. Kui aga Päikesest väljavalguva külgetõmbejõu teele satub Kuu? Võib-olla et Päikese külgetõmbejõud temast läbi ei tungi ja kõik kehad sel momendil «kergenevad»? Kuid nagu näitab praktika, on külgetõmbejõu eest end senini varjata õnnestunud ainult fantastiliste romaanide autoritel.

Vahe gravitatsioonivälja ja teiste teadaolevate väljade iseloomu vahel on niivõrd suur, et paljud teadlased on tõepoolest kahevahel, kas neid gravitone üldse eksisteeribki või on kehad rasked hoo-

piski mitte seepärast, et nad neid välja kiirgavad.

Kas raskus osutub «kootuks» gravitonidest, ehitatuks teistest «tellistest», või hoopiski mitte neist, kuid raskuse olemuse mõistatamine seisab veel ees.

Kujutame endale ette niisugust aega, mil teadlased sunnivad kehi välja kiirgama väiksemat gravitatsioonivälja. Ja et niisugused kehad inimesele kuuletudes äkki kergemaks muutuvad. Tahetakse — ja mitte üksainuski külgetõmbejõu «portsjon» ei lenda väljapoole. Sünnib hõmmastavaim ime: keha kaotab raskuse ja teda võib otse Maalt kosmilisse kaugusse visata.

Ja siis ei tõuse enam fantastilise romaani lehekülgedelt, vaid reaalselt Maalt kosmosesse kaaluta laevad, suundudes rännakule mööda universumit — vabad ja tugevad oma sõltumatusega raskuse ahelaist, nagu needki, mille kunagi oma kujutlusvõimega lõi unistaja-fantast Wells.

Kuid kas see kõik omab mingit suhet geodeesiaga? Määrates kindlaks Maa kuju, teadlased mõõdavad ometi nii-öelda raskuse suurust, mitte aga tema «omadust». Kas see pole ükskõik, misugune on Maad ümbritsev gravitatsiooniväli «seest», kui meile on tähtis teada raskusjõu jaotust mööda maapinda? Meenutagem, et raskusjõud selles või teises kohas sõltub sellest, missugust ehitust omab seal maamassiiv, on ta tihe või mitte. Mis tahes kivimite omadused sõltuvad lõppkokkuvõttes aga sellest, kuidas on ehitatud nende molekulid ja aatomid.

Tuleb välja, et raskus tekib Maa materia aatomites. Me aga teame juba, et aatom on käputäis pisitillukesi osakesi, mis üksteisega suurte ja väikeste väljade abil on tugevasti seotud. Raskuse

«niidid» ja elektromagnetilised «nöörid» hoiavad neid osakesi tugevasti, sidudes neid aatomituuma külge, mitte lastes neid igasse külge laiali lennata. Analoogilised «niidid» aga, ainult veelgi kindlamad, ei lase ka tuuma ennast koost pudeneda.

Veelgi enam, füüsikud kalduvad ikka tugevamini ja tugevamini selle poole, et ka aatomisisesed osakesed ise ei ole mitte aine «terakesed», nagu veel päris hiljuti arvati, vaid ikka sellesama välja jätk, justkui selle kõige rohkem ärritatud osad.

Selgub, et gravitatsiooniväli ei eksisteeri mitte üksnes planeedi ümber, vaid ka meie Maa ise on omamoodi kolossaalne pisikeste gravitatsiooniväljade kogum. Vaat miks geodeedid, kui nad Maa mitmesugustes kohtades raskust mõõdavad, räägivad, et nad määravad kindlaks gravitatsioonivälja. Mõõta gravitatsioonivälja maapinnal — see tähendabki Maa kuju kindlaks määrata. Nii osutuski siis kaasaegne aatomifüüsika, ehkki küll kaudsel viisil, asjaosaliseks ikka sellesama, nagu algul arvati — «lihtsa», probleemi uurimisel: missuguse kujuga loodus ometi meie planeeti õnnistas?

Õigupoolest oleks võinud jutustus neist mitmekülgetest teadustest, mis aitavad Maad mõõta, lõppeda, kui mitte ühel X rahvusvahelise astronoomide kongressi lõppistungil ei oleks kõlanud uue teaduse nimetus, millel praegu lasub meie planeedi kuju kindlaks tegemise ülesanne.

## «SPUTNIIKIA»

«Mina nimetaksin teda sputniikiaks,» ütles üks välismaa teadlasi, X rahvusvahelise astronoomide

kongressi osavõtjaid, «see on uus teadus, mis sündis 4. oktoobril 1957. aastal.»

Ja temaga võib nõustuda. Maailma uurimine tehistaevakehadelt, see on tõepoolest terve uus teadus.

Praegu, kus kosmiline ruum on inimkäte poolt valmistatud taevakehade — kaasaegse tehnilise ja teadusliku mõtte tippude jälgedest täis joonistatud, on eriti eredalt näha, kui tohutu on Maa tundmaõppimise arengu tee, mis me oleme läbi käinud.

See algas lihtsast geomeetriast — teadusest, mis võttis endale ülesandeks maakera mõõtmise. Ring punktiga keskel, kaks raadiust kahe linna juurde. Missugune osa tervest ringist asub nende vahel? Vaat ja ongi kogu probleemide kompleks. Ja neid lahendatakse lihtsalt — peamiselt paberil. See lõik aga, mida on vaja ära mõõta Maal endal, määratakse samuti kindlaks ilma erilise vaevata — joonlaua abil. Nii mõõdeti ümmargust ja lapikut Maad.

Ebakorrapäraselt kühmulist Maad aitas mõõta uus teadus — gravimeetria. Ja lõpuks, praegu asus talle appi juba «sputniikia», mis uurib maa ilma kunstlike astronoomiliste tehiskehade abil.

Kuid võib-olla ei oleks vaja olnud Maa kuju uurimiseks endiste meetodite järgi niipalju jõudu ja püüdlusi «asjatult» kulutada, kui kõikvõimas «sputniikia» niikuinii ütleb, et Maa pole ei kera, ellipsoid ega isegi geoid, vaid hoopis mingisugune uus «oid»? Ja kuidas olla kõikide nende palju aastaid kestnud vaidluste, ekspeditsioonide, avastustega?

Tähendab, kõigi eelmiste sajandite jooksul geodeesia ainult seda tegigi, et ilma lõputa «eksis», kinnitades kord, et Maa on korrapärane, kord

lopergune, mitte millegagi sarnanev «kamakas». Ja, tuleb välja, et asjatult andis ümmarguse Maa eest oma elu itaallane Ascolli, et ilmaaegu vaidles poole sajandi vältel Prantsuse Akadeemiaga lepitamatu Newton, ja et suurimad maailma akadeemiad raiskasid asjatult tohutuid vahendeid maamõõtmiste ekspeditsioonidele?

Muidugi mitte. Newton poleks saanud tõestada, et Maa on lapik, kui Magalhães enne seda poleks sõitnud ümber ümmarguse Maa ja sellega kummutanud kiriklaste lameda «pliini». Kühmuline geoid aga poleks meile praegu teada olnud, kui me varem poleks teada saanud, et Maa on lapik. Ja Maad poleks kosmosest võimalik olnud mõõta, kui mööda ebatasast Maad rändavad geodeedid ei oleks taibanud, et seda ei ole vaja joonlauaga mõõta, vaid «ära kaaluda», kasutades selleks «kaalupommi».

Iga järgmine Maa «uue» kuju avastamine ei hävitanud vanu ettekujutusi, vaid ainult täpsustas neid. Ja iga niisugune täpsustus saavutati uue mõõtmisviisi abil, uue geodeesiasse suubuva teaduse abil. Maad peeti niikaua ümmarguseks, kuni teda mõõdeti puhtgeomeetriliselt, paberil. Kuid see oli ainult ligikaudselt määratud kuju. Maa muutus meie silmis ellipsoidiks, kui teadlased teda hoolikamalt mõõtma hakkasid, asetades temale paljudes kohtades maapinnal «kraadiarssina».

See oligi teiseks, kuid ikkagi veel meie planeedist ligikaudset ettekujutust andvaks täpsustuseks. Ja niisamasuguseks mittelõplikuks, kuid kera või ellipsoidiga võrreldes tegelikule palju lähemale jõudnuks, on ettekujutus geoidist ja *quasi*-geoidist, mida ei mõõdetata joonlauaga, vaid Maa üksikuid osi «kaaludes».

Veel enam, kui me oleksime tahtnud teha gloobusest ikkagi Maa õige mudeli ja kooliõpilastele «ehtsat» Maad näidata, siis me poleks seda suutnud saavutada kõigi oma soovide kiuste. Kõik need meie planeedi ebatasasused muutuksid gloobuse mõõtmeteri vähendatult lihtsalt märkamatuks, niivõrd väikesed on nad Maa peamise, «ümmarguse» massiga võrreldes. Ja isegi Maa lapikust poolustel ei ole niisugusel mudelil võimalik näidata — selleks tuleks ju 60-sentimeetrise läbimõõduga gloobusel polaarset läbimõõtu vähendada 2 millimeetri võrra. Missugune silm avastaks sellise vahe?

Kuid milleks siis teadlased neid maapinna «mikroskoopilisi» ebatasasusi ometi nii hoolikalt uurivad? Võib-olla poleks maksnudki panna tehiskaaslane suuruselt niivõrd tühiseid mõõtmisi teostama, vaid nagu Maad juba enne Richer' rännakut ekvaatorile keraks peeti, nii oleks ta selleks võinud ka jääda?

Osutub, et neile pisitillukestele ebatasasustele meie planeedi palges ei saa siiski nii lihtsalt käega lüüa. Me nägime, et ilma kõiki neid mikroskoopilisi detaile täpselt tundmata ei saa mitte ainult täpset kaarti joonistada, vaid ei saa mõõta ka Maal kaugusi linnade vahel või päikesesüsteemi planeetide vahel. Geodeesia väljus juba ammu puhtteoreetilise teaduse staadiumist ja kuigi selle järeldused ei too vahetut praktilist kasu, nad avardavad meie teadmiste ulatust ümbritsevast maailmast. Ilma selle teaduse täpsete järeldusteta oleks raske olnud nii astronoomidel, ehitajatel, geoloogidel kui ka inseneridel...

Aga nende, meie planeedi kujus esinevate tibatillukeste ebakorrapärasuste näilik tähtsusetus näitab vaid, et uurimistööd, millega kaasaegne geo-

deesia tegeleb, on jõudnud täpseimate suuruste valdkonda, niisuguste suuruste, mille mõõtmisest esimesed maamõõtjad, kes oma uurimusi alustasid lihtsa latiga, unistadagi ei võinud.

Raadiolokaatori kiir ja elektronarvutusmasinad, ballistilised raketid ja aatomikellad, tehiskuu ja nähtamatu valguse püüdja — need on vahendid, mis aitavad tänapäeva geodeetidel meie planeedi kuju kindlaks määrata. Ja nimelt just see teebki «võluri-sputniikia» nii kõikvõimsaks.

Uus teadus — «sputniikia» — sunnib kahtlematult väga paljusid maailmatunnetuse küsimusi teises valguses nägema. Kosmose probleemid said viimaks ometi ka kosmilised vahendid nende lahendamiseks. Maamagnetism ja Päikeselt levivad mitmesugused kiired, meie planeedi atmosfäär ja tähtedevaheline materia,ioonid ja meteoriidid — kõik, mis meid meie kiirel lennul universumis ümbritseb, allub nüüd hoolikale eksperimentaalsele uurimisele.

Aparaadid ja katseloomad sooritavad lende ennekuulmatult tohutute kaugusteni Maast, hankides erakordse teoreetilise väärtusega ja esmajärgulise praktilise tähtsusega andmeid peatselt eesseisvate inimese kosmoselendude jaoks.<sup>1</sup>

Et aga niisugused reisid pole mägede taga, seda tõendab teine Nõukogude kosmoserakett, mis juba meie taevase naabri — Kuuni jõudis.

See rabav teade vapustas maailma. Inimkond jõudis vaevu tajuda, et inimesed said tehistaeva-

---

<sup>1</sup> Nüüd on inimese lend kosmosesse saanud juba teoks. Nimelt lendas Nõukogude kosmonaut Juri Gagarin 12. aprillil 1961. a. kosmoselaeval «Vostok» ümber Maa. 116 päeva hiljem startis teine Nõukogude kosmonaut German Titov, kes 25 tunni jooksul tegi üle 17 tiiru ümber maakera. — *Toim.*

kehade loojateks, kui juba nõukogude teadlased astusid uue sammu kosmosesse. Nende poolt lähetatud rakett läbis 379 000 kilomeetrit, mis vastab maakera kaugusele temale lähimast taevakehast.

Nõukogude teaduse uus saadik — see pole lihtsalt enam inimkäte valmistatud taevakeha, mis liigub üldise gravitatsiooni mõjul. See on juba juhitud kosmoselaev — tulevaste liinilaevade prototüüp, nende, mis esimesi maiseid rändureid teistele maailmadele kohale toimetavad.

Kuu on Maale võrdlemisi lähedal ja vahemaa temani küllalt täpselt välja arvutatud. Aga mis-sugune teekond seisab ees tulevastel kosmoselaevadel, mis lähetatakse veelgi kestvamatele reisidele? Taevakehade kauguse väljaarvutamisel, nagu me teame, ei saa läbi ilma meie planeedi täpse kujuta.

Ja ka Maalt startivate kosmiliste laevade endi teekonda, nende lennu trajektoori, ei saa õigesti välja arvutada ilma meie planeedi mõõtmeid, kuju ja isegi tema massi jaotust planeedi kehas arvestamata. Mõjuvad ju kõik maa kuju ebakorrapärasused tulevaste tähelaevade marsruudile. Ja see teeb meie planeedi kuju iseärasuste detailsed uurimised, mida läbi viiakse Maale kõige lähemal asuvate taevakehade — tema tehiskaaslaste abil, veelgi tähtsamaks.

Nende pere täienes Maa ajaloo esimese tehiskaaslase väljasaatmise teisel aastapäeval uue ja väga huvitava esindajaga. 4. oktoobril 1959. aastal startis kosmosesse kolmas Nõukogude kosmoserakett — omamoodi planeetidevaheline bumerang. Ta toimetab Kuu rajooni esimese planeetidevahelise automaatjaama, mis võttis oma vaatluste tsooni ühekorraga nii Kuu kui ka Maa.

Lähenenud Kuule peaaegu «vahetusse lähedusse» — 7000-kilomeetrisele kaugusele, lendas ta ümber viimase ja suundus tagasi Maale.

Automaatvaatleja heitis esmakordselt pilgu Kuu tagaküljele, lennates üle tema ei kellegi poolt mitte kunagi nähtud teise külje. Aga kui palju kõige fantastilisemaid hüpoteese ja rangeid, kuid mitte vähem hämmastavaid teaduslikke oletusi on selle Maa satelliidi salapärase «tolle külje» kohta avaldatud nende sajandite kestel, mis lahutavad Kuu eksperimentaalseid uurimusi esimestest astronoomidest-vaatlejatest!

Mida meie uus «kosmoseluuraja» seal nägi? Maalt saadud käsu kohaselt andis ta maapealsele teaduslikele instituutidele üle oma vaatluste ja mõõtmiste andmed ning Kuu «tolle külje» fotod. Nende abil käisid teadlased just nagu tagaselja ära Kuul, et juba homme ise astuda tema aastatuhandete tolmuuga kaetud kivisele pinnale. Kolmas Nõukogude «kuurakett» rajab teed tulevikku maapealsetele vaatlejatele, planeetidevahelistest lendudest osavõtjatele.

Tulevad ka uued tehiskaaslased, uued kosmoselaboratooriumid laialdase ülesanneteringiga. Ajutised, «kõigest» mõneaastase tegevusajaga tehiskaaslased ja igavesed lunoidid... Me jutustasime ainult tehiskaaslase ühest erialast — tehiskaaslasest kui maamõõtjast. Nõuaks kõiteid, et jutustada teistest uue teaduse — sputniikia — mitte vähemhuvitavatest harudest.

Tehiskaaslases töötab tööpoolest kõik. Mitte ainult arvukad unikaalsed, teravmeelselt konstrueeritud täpseimad aparaadid, millega ta on üllikülluses varustatud, vaid ka ta ise — inimekäte poolt valmistatud ese, mis on paisatud kosmosesse ja muutunud taevakehaks.

Ja taevakehana, mis on sobiv vaatlemiseks  
Maalt ja lähetamiseks sinna, kuhu inimene soovib,  
võib ta lõpuks õigesti vastata küsimusele, mis  
juba aastatuhandeid on tuliseid vaidlusi esile  
kutsunud: missugune on siis planeedi tõeline  
kuju, millel me elame?

## SISUKORD

Vastupidi gloobusele . . . . .	5
--------------------------------	---

### I. Joonlauaga mööda meridiaani

Kell, mis litsus Maa lapikuks . . . . .	8
«Oblatum sive oblongum?» . . . . .	17
Maa lapikuse jahil . . . . .	24
«Kraadiarssin» . . . . .	32
Planeedi «juurdelõikajad» . . . . .	41

### II. Kaalupomm sentimeetri osas

Pooluse rändamine . . . . .	50
Kell, mis venitas Maa pikerguseks . . . . .	59
Maal on Maa kuju . . . . .	69
Mööda nähtamatu ookeani laineid . . . . .	77
Geoid miinus ellipsoid . . . . .	85
«Magnetvõti» . . . . .	92

### III. Mõõdulint — Kuu

Kuu «kapriisid» . . . . .	100
Joonistatud kilomeetrid . . . . .	108
Maad mõõdetakse Maaga . . . . .	115
Maakera «lõige» . . . . .	124
«Kuusild» . . . . .	132

### IV. Taevane maamõõtja

Tehases valmistatud kuu . . . . .	139
Miks raskus on tugev . . . . .	151
Sõnakuulmatu spiraal . . . . .	162
Kuupatrull . . . . .	171
«Moskva — Sputnik» . . . . .	178
Mille poolest on tehiskaaslane Kuust parem . . . . .	184
Maapõue lastud lood . . . . .	196
Mitu Maad on Päikeseni? . . . . .	204
Mispärast raskus on raske . . . . .	216
«Sputniikia» . . . . .	223

Сапарина Елена Викторовна

НЕБЕСНЫЙ ЗЕМЛЕМЕР

На эстонском языке

Оформление Э. Тали

Эстонское государственное издательство  
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

\*

Toimetaja A. Saar

Kunstiline toimetaja V. Kotkas

Tehniline toimetaja E. Lumet

Korrektorid E. Toots ja E. Kask

Ladumisele antud 10. VIII 1961. Trükkimisele  
antud 16. X 1961. Paber 70×90, <sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Trüki-  
poognaid 7,25. Formaadile 60×92 kohaldatud  
trükipoognaid 8,483. Arvutuspoognaid 9,23.  
Trükiarv 6000. Tellimise nr. 7160. Hans  
Heidemanni nim. trükikoda, Tartu,  
Ülikooli 17/19. I

Hind 46 kop.

2—6



46 kop.

A-24121

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00359153 6