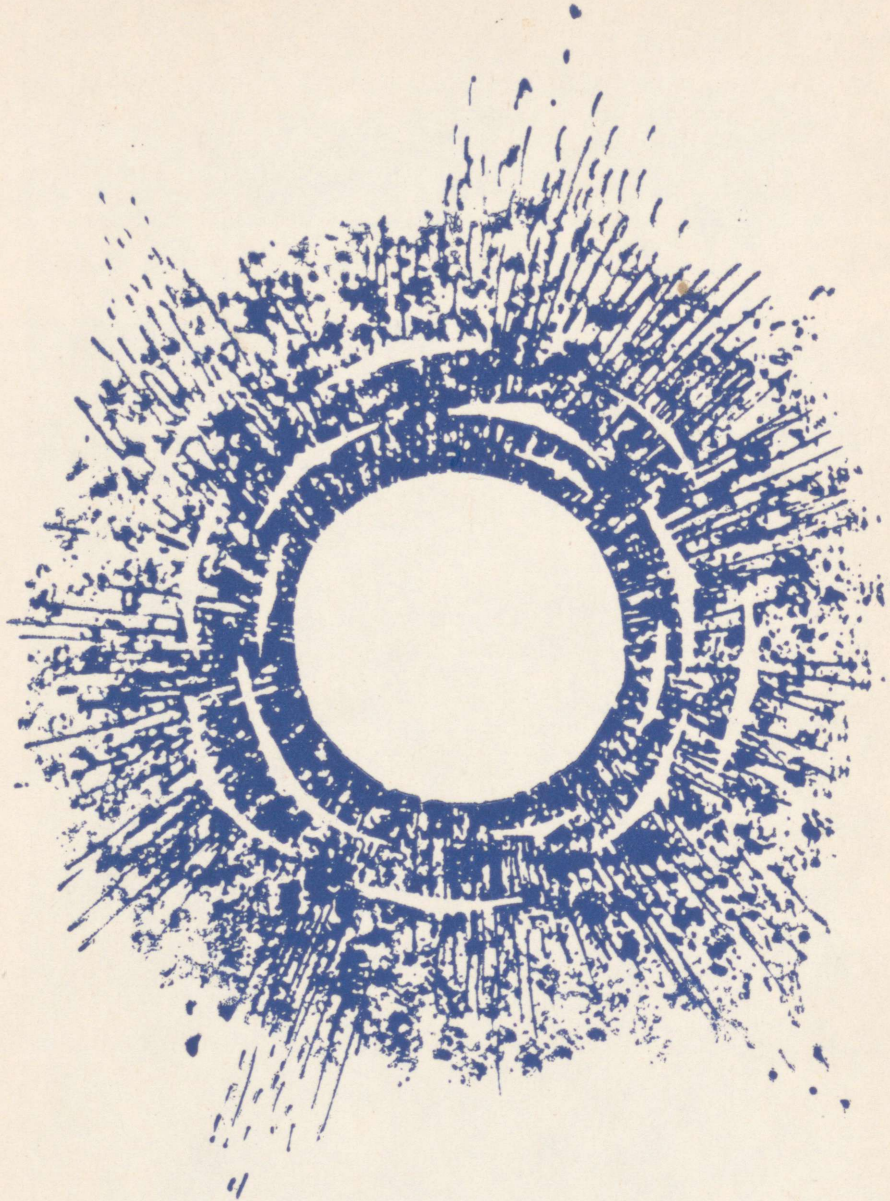




M. G. KROŠKIN
maa algab kosmoses



algab

A

28434

M. KROŠKIN



aa
kosmoses

KIRJASTUS „VALGUS“
TALLINN 1967

52
K 76

Originaali tiitel

М. Г. Крошкин

ЗЕМЛЯ НАЧИНАЕТСЯ В КОСМОСЕ

Издательство «Советская Россия», Москва 1964

Tõlkinud T. Mürsepp

Kujundanud J. Palm

2

Tartu Riikliku Ülikooll
Raamatukogu
69603

Käesoleva raamatu autor Mihhail Galaktionovitš Kroškin sündis 1923. aastal Jaroslavl'i oblastis Vjatskoje külas. 1941. aastal lõpetas ta keskkooli ning saatis kaks päeva enne Suure Isamaasõja algust oma dokumendid Kolmandasse Leningradi Suurtükiväekooli. Vahepeal Kostromasse evakueeritud kooli lõpetas M. Kroškin 1942. a. jaanuaris ja võitles sama aasta märtsikuust alates juba Volhovi rindel. 1942. a. septembris-oktoobris paisati 19. Kaardiväediviisi Kalinini rindele, kus M. Kroškin Eesti Laskurkorpuse koosseisus võttis osa lahingutest Velikije Luki all. 8. veebruaril 1943. aastal sai ta Novosokolniki juures raskelt haavata. M. Kroškin evakueeriti Ivanovo haiglasse, kust ta 1943. aasta detsembris demobiliseeriti. 1950. aastal lõpetas M. Kroškin Baumani-nimelise Moskva Kõrgema Tehnikakooli ja 1954. aastal aspirantuuri ning kaitses väitekirja. Praegu töötab ta NSVL Teaduste Akadeemia Kosmilise Ruumi Uurimise ja Kasutamise Komisjoni vanema teadusliku töötajana.

M. Kroškini raamat «Maa algab kosmoses» annab ülevaate kosmoseajastu esimestel aastatel Maa tehiskaaslaste, kosmoserakettide, automaatsete planeetidevaheliste jaamadega ja juhitud kosmoselaevade abil teostatud uurimiste tulemustest. Autoril on õnnestunud suhteliselt väikeses raamatus laialdasele lugejaskonnale jutustada sellest, mida kosmoselennud andsid teadusele, mida uut õnnestus kosmoseaparaatide abil teada saada meie planeedist, Maa-lähedasest ja planeetidevahelisest ruumist, Kuust ning Päikesest ja elu võimalikust esinemisest universumis ning ka nendest probleemidest, mis veel ootavad lahendamist. Seejuures esitab autor minimaalselt arvulist faktilist materjali. Pearõhk on asetatud kosmoseruumi uurimisega seotud probleemide püstitamisele ja lahendamisvõimaluste leidmisele. Aine käsitlemisel peab autor kinni rangelt teaduslikust positsioonist ja ei kaota teaduslikku objektiivsust teooriate ning hüpoteeside puhul, mida alati massiliselt võrsub uute faktide ja nähtuste avastamisel.

Mõnikord võib kuulda kahtlusi, kas suurte summade kulutamine kosmoseuurimiseks õigustab end. Sellele küsimusele annab M. Kroškin veenva vastuse hulgaliste näidete varal, mis tõestavad, et kosmoselendudel on suur tähtsus väga paljude igapäevase praktilise elu küsimuste lahendamisel. Nii näiteks on ilma täpse ennustamise probleem lahendatav ainult ilmastikusatelliitide kasutamisega. Ka Maa sisemuse uurimisel osutavad tehiskaaslaste meile hindamatut abi. Nad võimaldavad näiteks täpsustada põhjusi, mis kutsuvad esile magnetvälja. Nimelt just sellega tuligi toime kolmas nõukogude tehiskaaslane Ida-Siberi võimsa magnetanomaalia puhul. Selgus, et viimase allikad asuvad väga sügaval Maa sisemuses, peaaegu sama sügaval kui põhimagnetvälja allikad. Tehiskaaslaste kasutamisega säästeti siin miljoneid rublasid, mis oleksid tarbetult kulunud rauamaagi otsimisele selles rajoonis.

Nõukogude teadlaste panus kosmoseuurimisse on aukartustäratav. Teadlased kasutasid ära need suurepärased võimalused, mida pakkusid meie kodumaa saavutused raketitehnika alal. Nõukogude raketite hiiglavõimsused lubavad teostada eksperimente laialdase kompleksprogrammi järgi, mis on eriti tähtis võrreldavate füüsikaliste andmete saamisel. Seejuures teenivad nõukogude kosmoseuurimised eranditult teaduse huve. Nende ajendiks ei ole soov välja selgitada võimalusi kosmilise ruumi kasutamiseks sõjalistel eesmärkidel.

Käesolev raamat on tõsine vestlus tõsistest ja keerukatest küsimustest, mis eeldab lugejalt teatavat vaimset pinget. Raamatu teeb aga populaarseks asjaolu, et selle esituses ei kasutata matemaatikat ja lugejalt ei nõuta erilisi eelteadmisi. Temalt nõutakse ainult head tahet, mida stimuleerib vahetu huvi aine vastu.

M. Kroškin'i raamat ilmus vene keeles 1964. a. Vahepeal on aga kosmoseuurimine teinud suuri edusamme. Seetõttu on mitmed raamatus esitatud hüpoteesid kas kinnitust leidnud või vääradeks tunnistanud. Uusi andmeid on saadud Kuu, Marsi, Veenuse jne. kohta. ENSV Teaduste Akadeemia Füüsika ja Astronoomia Instituudi teaduslik töötaja R. Preem nõustus lahkesti tõlkekäsikirja läbi vaatama ning täiendama uuemate andmetega allmärkuste näol.

Kosmos... Ääretu ruum vilkumatute tähetulukes-
tega, läbistatud kiirte- ja kõrge energiaga osakeste voogu-
dest. Tohututel kaugustel üksteisest on temas laiali pillat-
tud lõõmavad «päikesed», mille ümber võib-olla tiirlevad
nende valgusest soojendatud, gaasümbristlesse mähitud
universumi tolmuterakesed — planeedid... Tundmatu,
salapärane, muinasjutuliselt kaunis, ligitõmbav ja sama-
aegselt hirmutav maailm...

Selline näis ta aastatuhandete kestel.

Jättes kõrvale inimtunnetuse arengu ajaloo, algame
oma jutustust momendist, mil tulekeerises startiv raket
ületas planeedi külgetõmbejõu ja viis esimesed tehiskaas-
lased orbiidile ümber Maa.

Neile järgnesid Kuu, Veenuse ja Marsi juurde lähetatud
kosmoseraketid, mis jätsid selja taha teise kosmilise piiri,
nõndanimetatud paokiiruse, mille saavutanud, hülgab
raket Maa juba igaveseks. Ja lõpuks, pärast mõningaid
proovilende kosmoselaevadega, mille pardal olid loomad,
tõusis kosmosesse inimene.

See oli julge samm teel teistele planeetidele, looduse ja
maailmaehituse saladuste vallutamisel.

Missugused uued võimalused avab meile kosmose
tundmaõppimine?

Milles seisneb uute avastuste väärtus?

Milline on meie oma planeedi koht lähimate uurimiste
perspektiivis?

Need ja nendega sarnased küsimused erutavad inimest
nüüd, mil kosmosesse väljumine on muutunud meie päe-
vade tegelikkuse lahutamatuks elemendiks, raketid ja
tehiskaaslased aga on oma sünnihetkest alates olnud loo-
duse teadusliku tunnetamise asendamatuks instrumen-
tideks.

Raske on tulevikku ette kuulutada. Veel raskem on seda
teha täpselt. Kaheldamatu on aga tõsiasi, et inimene tun-

gis kindlalt kosmosesse, ja see ennustab suurt tulevikku tema koduplaneedile...

... «Milline ilu!» hüüdis Juri Gagarin, maailma esimene kosmonaut, kui nägi laeva illuminaatorist võimsaid jõgesid, rohelist metsamassiive, lai pöllumurikülikuid, pilvede vatitupsusid neile järgnevate varjudega ja märgatavalt kumerdunud Maa pinda, mille kohal, sadade kilomeetrite kõrgusel, lendas hoogsalt laev, sümbolse nimega «Vostok».

Esimene kosmonaut nägi isegi päeval eristatavaid tähti ja pimestavalt heledat Päikest. Aga horisondil muutus helesinine atmosfäär järk-järgult tumedamaks siniseks, siis violetseks ja sulas lõpuks kokku läbitungimatult musta taevaga — sellesama ruumiga, millesse tema kosmoselaev rajas tee.

Kosmonaut nr. 2, German Titov, kes sooritas enam kui ööpäevase lennu Maa pinna kohal, võttis esimesena kosmonautidest kaasa reporteri kinokaamera «Konvas», ja see võimaldas kõigil, kuigi mitte oma silmaga, vaid ainult kinoekraanidel, näha Maad atmosfääritaguse lennu kõrguselt, Maad, mis on meile niisama avarates mastaapides tuttav kas ainult geograafilistelt kaartidelt või globustelt.

Oma koduplaneeti imetlesid ka teised kosmonaudid. Ja asi pole siin tõenäoliselt mitte ainult keerukas esteetilisest tundes, mis tärkas Juri Gagarini või Valentina Tereškova hinges, kui nad heitsid pilgu Maale. Teades kosmiliste uurimiste eesmärki ja mõistes nende vajalikkust, jäid nad Maa elanikeks, olid lennu ajal temaga katkestamatult seotud ning veendunud oma tagasipöördumises.

Maa jääb veel kauaks koduks inimesele, kes alistas kosmilise ruumi. Maal astus inimene oma esimesed sammud ning Maale suunas ta ka oma esimesed pilgud, oma esimesed mõtted.

KUI ARUTLEDA ABSTRAKTSILT...

Püüame olla objektiivsed. Inimesele on alati omaning parema poole. Miks mitte oletada, et teistel Päikesesüsteemi planeetidel ootavad meid soodsamad või äärmisel juhul samasugused tingimused nagu Maal. Kas on siis otstarbekas, olles lõpuks võitnud Maa külgetõmbejõu,

uurida oma hälli? Kas poleks parem pöörata peamine tähelepanu teistele planeetidele, teistele maailmadele?

Kujutlegem, et me pole Maa elanikud, vaid kosmonautid, kes on esmakordselt sattunud Päikese ümbrusesse mingist kaugest ja tundmatust planeetidesüsteemist. Me teame, et mõnel üheksast Päikese ümber tiirlevast planeedist võib leida elu, kuid ei tea, millisel nimelt, ei tea, missugusele neist võiks laskuda...

Maa on meile nüüd ainult süsteemi reaplaneet. Meie valiku peavad määrama planeedi pinnal valitsevate füüsikaliste tingimuste uurimise tulemused ja nende tingimuste sobivus eluks...

Lahendades seda küsimust peame silmas nimelt Maa-pealset eluvormi, sest elu Maal on siiani ainus meile tuntud eluvorm, ainus mõõdupuu, millest lähtudes saame hinnata füüsikaliste tingimuste kõlblikkust elu olemasoluks. Kui avastatakse mingid uued vormid, siis laieneb muidugi ka eluks soodsate tingimuste diapaseon.

Palju halvem oleks, kui meie lootused leida teistel planeetidel mingisuguseid eksootilisi eluvorme või unistused kohtuda seal mõistusega olevustega puruneksid nende planeetide viljatutel kividel.

Alustades oma lendu ei püüa me kõiki probleeme lahendada ühe hoobiga. Me pole ju reisijad, seiklusromaanist, seepärast peame hoolikalt kohandama oma tegevuse nende piiratud võimalustega, mis on tõeliste universumi argonautide käsutuses. Me ei tohi unustada, et kosmosesse tungimine ei ole lihtsalt haaravate episoodide seeria, vaid teaduse ja tehnika arengu seaduspärane ilming, inimkonna üldise evolutsiooni koostisosa. See tähendab, et meie lennu lõppeesmärgiks on laialdane ja plaanipärane kosmose tundmaõppimine, parimate tingimuste ja esmaste uurimisülesannete valimine.

Me ei saa laskuda iga planeedi pinnale — selleks tuleks kulutada liiga palju energiat, aga hiidplaneetidel me lihtsalt ei saaks elada: seal on liiga suur külgetõmbejõud, — ja selleks polegi vajadust. Need optilised ja raadiotehnilised uurimisvahendid, mida praegu omame, veel enam aga need, mis tõenäoliselt tulevad meie käsutusse lähemas tulevikus, pluss teoreetilised arvutused võimaldavad saada vajalikku informatsiooni kõikides meid huvitavates põhiküsimustes. Siin tuleb nentida, et andmed, mida hakkame kasutama oma «teekonnal», on tunduvalt vaesemad neist,

mida inimene saaks tõelise planeetidevahelise lennu tingimustes.

Niisiis, milline planeetidest peaks köitma meie tähelepanu esmajärjekorras?

PLANEEDILT PLANEEDILE

Alustame Päikesesüsteemi kaugematest piirkondadest, ja üksteise järel saavad uurimisobjektideks Pluuto, Uraan, Neptuun... Nad on jää kammitsas. See on igavene soomus, mis koosneb paljudest meile tuntud külmunud gaasidest ja veest. Päike asub neist planeetidest väga kaugel ja nende pinnani ulatub ainult tühine osa tema kiirgusest. Loomulikult ei saa siin olla elu ja meie laev suundub edasi süsteemi sisemusse.

Ees on hiidplaneedid — Saturn ja Jupiter.

Nad on liiga suured selleks, et inimene, pealegi veel pärast kestvat kosmosereisi, võiks karistamatult nende pinnale astuda — raskusjõud võib inimese laiaks muljuda sarnaselt Maal kuivale heidetud vaaladega, kes vajuvad laiaks omaenese kaalu mõjul.

Meile pakuvad teatavat huvi nende planeetide tekkinine ja füüsikalised ning keemilised protsessid, mis toimuvad nende atmosfääris ja sisemuses. Kõike seda võib mingil määral uurida, viies laeva orbiidile ümber planeedi. Kuid ka nendel planeetidel on raske leida elu — liiga vähe saavad nad Päikeselt soojust.¹

Elu olemasoluks on soojust tarvis palju rohkem, vähemalt nii palju, nagu seda langeb järgmisele planeedile — Marsile. Just temast algabki elu võimaliku tekkimise ja olemasolu piirkond.

Akadeemik V. I. Vernadski, hinnates omal ajal füüsikalisi tingimusi, mis on vajalikud elusorganismide eksisteerimiseks, ja võrreldes neid maapealsetega, lõi mõiste «planeedi biosfäär». See hõlmas planeedi atmosfääri, hüdrofääri ja maismaa need kihid, kus füüsikalised tingimused, peamiselt aga temperatuur, võimaldavad elu.

Nimetatud kontseptsiooni arenemise tulemusena tekkis mõiste «Päikese ökosfäär» — Päikese-lähedane ruum, kus

¹ Infrapunase kiirguse mõõtmistest nähtub, et Jupiter kiirgab 2,5 korda rohkem soojust, kui ta ise saab Päikeselt. See on võimalik ainult tema sisemusest tuleva soojusvoo arvel, mis peab seega ületama Päikeselt tuleva soojusvoo. — R. P.

planeetide temperatuur ei või olla üle $+80^{\circ}$ ja mitte alla -70° C, s. t. kus soojust on just nii palju, kui seda on tarvis süsiniku ühenditel põhinevate eluvormide arenguks.

Niisuguseid tingimusi võib oletatavasti leida Päikesest umbes 275 kuni 92 miljoni kilomeetri kaugusel. Väljaspool seda tsooni asuvad planeedid saavad kas liiga vähe või, vastupidi, liiga palju päikeseenergiat. Muidugi, need ökosfääri piirid on ligikaudsed, sest planeedi temperatuuri ei määra mitte ainult Päikese kiirgus, vaid ka planeedi enda atmosfääri koostis ja tema sügavusest kiirguv soojusekogus. Eksperimentaalsed vahendid aitavad meil täpsustada elu tekkimiseks ja arenemiseks soodsa tsooni tõelisi piire. Järeldus ökosfääri olemasolust peab kindlasti sisaldama kosmosesse väljuva uurija teoreetilises pagasis.

Kui aga tahame leida kõrgestiorganiseeritud eluvorme ja isegi mõistusega olendeid, siis ei piisa käesoleval ajal planeedile saabuva soojusehulga ja temperatuuritingimuste tundmisest: peame olema veendunud, et kiirgusvoog pole tunduvalt muutunud vähemalt miljardi aasta kestel, see on ajavahemikul, mis oli vajalik inimese arenemiseks Maal.

Ei saa muidugi oletada, et Päikesesüsteemi jõudmisel ja lühikese lennuaja kestel selles õnnestub määrata Päikese iseloomu, saada teada, kas ta on «rahulik» või tugevasti muutuv täht. Selleks on vaja sooritada kestvaid astronoomilisi vaatlusi ja võrrelda Päikese iseärasusi teiste tähtede iseärasustega. Oletame, et Päike on küllalt rahulik täht, kuid peame silmas, et võimalikud väikesed muutused Päikesest kiirguva energia voos võivad põhjustada ökosfääri välispiiride tunduvat muutumist.

Kas oleme õigustatud tegema selliseid oletusi? Meil pole veenvaid tõendeid Päikese aktiivsuse küllalt suurte muutuste kohta, kuid mõningaid nähtusi Maa ajaloos, eelkõige jääaegu, saab sellega seletada. Kui need olid tingitud Päikese tegevuse muutustest, siis on põhjust arvata, et Marss jäätus niivõrd sügavalt, et seal katkes elu arenemine.

Seepärast pole ehk mõtet peatuda Marsi juures, mille keskmine kaugus Päikesest on 228 miljonit kilomeetrit, kuna süsteemi olemasolu miljardite aastate kestel võis ta sattuda ka väljapoole ökosfääri piire.

Võib-olla tuleks suunduda otse Päikesele lähima planeedi — Merkuuri juurde? Kuid Merkuur, asudes Päikesest umbes 58 miljoni kilomeetri kaugusel, ei satu öko-

sfääri piiridesse (selle sisemine raadius oli 92 miljonit kilomeetrit) ning ka teised andmed tema kohta pole lootustäratavad. Väikese Merkuuri raskusjõust ei piisa selleks, et kinni hoida atmosfääri, seda enam, et planeedi sisemusest eralduvad gaasid «puhub» ära Päikesest pidevalt välja paiskuv osakeste voog: on ju Merkuur Päikesele lähemal kui ükski teine süsteemi planeet. Merkuuri tiirlemiskiirus ümber Päikese võrdub ümber oma telje pöörlemise kiirusega: ta on alati pööratud Päikese poole ühe ja sama küljega, mis on nii kuumaks köetud, et seal võiksid leiduda vedela plii või tina järved.² Samal ajal valitseb vastasküljel kohutavalt külm igiöö ja, nagu Pluutol ning teistelgi Päikesest kaugel asuvatel planeetidel, võivad siin paljud meile tuntud gaasid eksisteerida ainult tahkel või vedelal kujul. Pole võimatu, et planeedi valgustatud küljel tema sisemusest eralduvad gaasid langevad varjuküljel lumena maha...

Ei, Päikese lähedus ja Merkuuri tiirlemise iseärasused ei võimalda teda lülitada Päikesesüsteemi ökosfääri. Merkuuril ei saa olla elu.

Jäeb veel kaks planeeti — Veenus ja Maa.

Päikesest 108 miljoni kilomeetri kaugusel asetsev Veenus on ökosfääri sisepiiri lähedal. Päikesest kiirguva soojuse võimaliku suurenemise tõttu võis see piir ulatuda Veenuseni. Tähendab, elu olemasolu võimalikkuse seisukohalt võib suurimad lootused panna Maale, mis asetseb ökosfääri keskosas.

Need on teoreetilised järeldused. Kuid meil on ju võimalus sooritada vaatlusi kosmoselaevalt!

Marsil näeme maapealsete kõrbetega sarnanevaid legendikke, milles möllavad liivatormid, ja pooluseid katvaid valgeid laike, nn. polaarmütse. Atmosfääris on aga vähe eluks nii vajalikku hapnikku, atmosfääri rõhk planeedi pinnal on suhteliselt väike.

Meie vaatlustest järeldub, et Marsi pind pole kaugeltki ühtlane. Võib märgata hiiglasuuri piirkondi, mis on palju tumedamad kui neid ümbritsevad alad. Kuid need ei ole mered, neis pole vett. Aga mis nad siis on? ... Planeedi pinda katab geomeetriliselt korrapärase kummaliste joonte

² Maailma suurima raadio-radarteleskoobi abil Arecibo (Puertoriiko) juures õnnestus Cornelli Ülikooli astronoomidel hiljuti kindlaks teha, et Merkuuri pöörlemisperiood erineb tema tiirlemisperioodist. — Tõlk.

võrk. Jooned algavad ja lõpevad ainult tumedates piirkondades. Mõnikord tekib mulje, et nad lähtuvad tumedatest vöönditest, mis ääristavad valgeid polaarmütse. Kas need ei ole kanalid, mis juhivad vett sulavatelt polaarmütsidelt viljakandvatele põldudele, kui pidada põldudeks tumedaid piirkondi?

Ootamatult mähkub planeedi pind mingisse ähmasesse suitsu, mis tiheneb järk-järgult, kuni pole enam võimalik midagi eraldada. See tähendab, et puhkes julm torm ning õhku tõusid hiiglasuured tolmutpilved. Marssi praegu vaadelda pole mõtet.

Möödub mõni aeg. Oleme tegevuses ega jälgi tormist haaratud planeeti, mille pinnal tulevad aeglaselt nähtavale endised piirjooned tumedatel laikudel, mida alguses pidasime meredeks või haritud põldudeks. Kerkivad esile ka kanalid. Kuidas nii? Liiv oleks pidanud ju need täis tuiskama... Kas see ei tähenda, et tumedad laigud on mingite taimede padrikud, mida ei suuda kinni tuisata isegi tugev torm?

Võimalik, et see nii ka on. Teisi seletusi siiani vähemalt pole. Planeet hakkab meid huvitama, kuid me mõistame, et tema looduslikud tingimused on karmid. Uurijal pole Marsil kerge: seal ei ole parimaid tingimusi mõistusega olevuste eluks ja nende majandusliku tegevuse arenguks.

... Veenuse pind on varjatud tiheda pilvkattega. Meie aparaadid võimaldavad kindlaks teha, et tema atmosfääris on palju süsihappegaasi ja väga vähe hapnikku ning veeauru. Pinnatemperatuuri määrangud on praegu vasturääkivad, täpselt samuti nagu oletused pinna iseloomu kohta. On veenvaid põhjusi arvata, et pinnatemperatuur on kõrge (mõningate määrangute kohaselt $+300^{\circ}\text{C}$), aga pind ise — kas pidev ookean (muidugi, 300° temperatuuri juures ei saa seda olla) või pidev maismaa.³ Nii see kui ka teine muidugi raskendab planeedi uurimist ja tema asustamist.

Millel põhjeneb järeldus pinna iseloomu kohta? Me ei näe ju planeedi pinda.

Oletame, et Päikesesüsteemis lennates oli meil võimalus kinni püüda ja uurida tahke aine pisimate osakeste —

³ Mõõtmised ameerika kosmosesondiga «Mariner 2» kinnitasid Maalt teostatud raadiomõõtmiste andmeid, mille kohaselt temperatuur planeedi pinnal tõuseb ekvaatoril üle 300° . Nõukogude teadlased esitasid hiljuti hüpoteesi, et nii kõrge temperatuur on tingitud pidevast huumlahendusest Veenuse atmosfääris. — R. P.

meteorkehade — ja osaliselt ka mõningate planeetide koosseisu.

Peale selle, kui oleme juba tulnukad teisest planeetide-süsteemist, siis omame ettekujutust aine jaotuse üldistest seaduspärasustest ruumis ja planeetidesüsteemi arengu seadustest.

See tähendab, et võime teha teatavaid oletusi Veenuse kivimite koostise kohta. Teame, et kivimite murenemise protsessis peab vee olemasolu korral süsihappegaasi hulk vähenema, mis viib magneesiumkarbonaadi ja ränimulla kujunemisele. See tähendab, et Veenuse atmosfääris avastatav suur süsihappegaasi sisaldus on võimalik ainult sel juhul, kui kogu planeedi pind on kas maismaa või siis üleni kaetud veega.

Veenuse igipilvituse taha on peidetud rohkesti uurijat intrigeerivaid mõistatusi, kuid meile on juba selge, et ka tema ei saa olla peamiseks baasiks Päikesesüsteemi uurimisel, sest ka seal pole soodsaid tingimusi inimese eluks.

PARIM MAAILM

Inimene püüab jõuda naabertaevakehadeni, ehkki ta ei kahtle selles, et kohtumine saab olema karm. Kuid vajalik on ka koduplaneedi uurimine. Kosmoselaevu käsutava inimese koduks, tema majandusliku tegevuse ja kogu Päikesesüsteemi uurimise baasiks peab ju saama Maa oma laiade ookeanidega, maalilise, taimestikuga kaetud maismaaga, pilvedega, mis mõnikord varjavad planeedi pinda, eluks soodsa atmosfääri ja temperatuuritingimustega.

Oma kujutletaval reisil valime välja Maa: ta osutus mitte ainult meie poolt avastatud ja uurimisele võetud süsteemi reaplaneediks, vaid ka kohaks, kus meil on kõige parem elada, kust saame kergemini teisi planeete uurida ning kust sel eesmärgil peavad teele asuma planeetidevahelised automaatjaamad ja kosmoselaevad inimestega.

Võimalik, et niisugusele järeldusele jõudmiseks ei olekski olnud vaja «rännata» mööda Päikesesüsteemi ja oleks võinud piirduda lihtsalt fakti konstateerimisega, kui mitte veel üsna hiljuti poleks paljude fantastiliste räämatute veergudel nii visalt sisendatud lootust leida teistel planeetidel mingisuguseid eksootilisi eluvorme. Astronoomia, mille järeldusi me oma kujutletaval reisil kasutasime,

kulutas palju vaeva selleks, et tõestada nende lootuste põhjendamatust ja suunata fantaste edututel küllusliku looduse, õudsete koletiste ja muu eksootika otsingutel teiste tähesüsteemide juurde.

Maa peal on tingimused meie jaoks kõige soodsamad. Kuid sellest ei piisa: on tarvis planeeti paremini tundma õppida, ökonoomsemalt ja täielikumalt kasutada tema tooraine- ning energeetilisi ressursse.

See tähendab, et laialdane, põhjalik ja võimalikult efektiivne kosmose uurimine on teostatav ainult siis, kui igakülgset uuritakse oma koduplaneeti ning kõige paremini kasutatakse tema tooraine- ja energiavarusid.

Samavõrd õige on ka vastupidine väide: kõige täiuslikumaks, kõige sügavamaks Maa tundmaõppimiseks on vaja minna kosmosesse, laialdaselt kasutada rakette ja tehiskaaslasid. Need on teaduse ja kogu inimkonna arengu orgaaniliselt vajalikud elemendid.

Sisuliselt jõudsime juba oma kujutletavalt reisilt tagasi tegelikkuse reaalsesse tingimustesse, kolme miljardi inimesega asustatud Maale, kus üle miljardi inimese ehitab uut, õiglast ühiskonda. See ühiskond loob inimestele parimad elutingimused ja rahuldab kõige täielikumalt nende vajadused.

Kuid uue korra õiglus ja arukus ei puuduta üksnes elu ühiskondlik-majanduslikku külge.

Inimene lakkab olemast konkistadoor teiste inimeste ja looduse suhtes. Seda ei ole võimalik saavutada, kui me ei tunne üksikasjalikult oma planeeti, tema rikkusi ja looduslikke protsesse. Ei saa teha kulutusi parimal viisil, kui pole teada looduse poolt antud eelarve üldsummad ja üksikud artiklid.

Seega on oma koduplaneedi uurimine kommunismiehtaja eriliseks kohuseks.

MAA VAJAB TEHISKAASLASI

Üks kaasaja iseärasusi seisab selles, et inimene, kelle elu kulges siiani «kahes dimensioonis», hakkab üha energilisemalt omandama ka kolmandat, «vertikaalset dimensiooni». Kui nii võib väljendada, siis ütleksime, et «elu hakkab muutuma paljukorruseliseks».

Tõepoolest, praegu on lõpule viidud uute maade avastamine, täiel määral areneb nende majanduslik kasutusele-

võtmine. Kasutatakse aga ainult seda, mille loodus planeedi formeerumise käigus jättis pinnale või peitis mitte väga sügavale. Kõige sügavamad šahtid ulatuvad ainult 5—7 kilomeetrini, mis on maakera raadiusega võrreldes tühine suurus. Seejuures nõuab majanduse areng üha uusi tooraine- ja energiaallikaid. Kuna tooraine varud pinnakihtides on piiratud, siis hakkavad teadust järjest enam huvitama maapõue sügavused. Sama võib öelda ka õhk-konna kohta, milles inimene tõusis mõnede kilomeetrite, ja alles viimasel ajal, mõnekümne kilomeetri kõrgusele.

Majanduse areng seab päevakorda küsimuse atmosfääriprotsesside paremast tundmisest, nende usaldusväärse ennustamise ja veelgi enam — nende juhtimise võimalikkusest. Tehnika lubab inimesel tõusta atmosfääri ülemistesse kihtidesse ja kosmosesse ning praktika nõudeid kuulda võttev teadus püüab oma uurimisvaldkonda harrata kogu atmosfääri ja heita pilku isegi meie energia-baasi — Päikese — sügavusse.

«Kolmas dimensioon» — see on kõige laialdasemate teaduslike huvide suund. Tuleb aeg, ja piki seda teed läheb teaduse jälgedes praktika, luuakse atmosfääritagused jaamad, millest kirjutab K. E. Tsiolkovski ja millest unistab fantastide rahutu sugupõlv, luuakse maa-alused ning veelalused linnad...

Noh, aga milleks on siis vaja rakette ja tehiskaaslast?

Võime ju pilvede liikumist jälgida ka Maa pealt. Raadioimpulssidega sondeerimine võimaldab uurida ionosfääri ehitust. Virmaliste stenogrammide annavad teateid atmosfääri keemilisest koostisest. Ja isegi kaugel Päikest võib rahulikult vaadelda Maa pealt...

Selleks et nendele küsimustele vastata, meenutame oma kujutletavat kosmoselaeva. Jätsime ta maha Maa lähimas ümbruses. Ja kui ta varem lendas nagu «kosmoserakett» või «kosmosesond» ja kõiki mõõtmisi võis tema pardalt teha ligikaudu niisamuti, nagu juba välja saadetud planeetidevahelistelt automaatjaamadelt või jaamadelt, mis saadetakse välja tulevikus, siis muutus ta praegu Maa kaaslasel ja tiirleb orbiidil kümnete tuhandete kilomeetrite kaugusel Maast. Meie laev saab liikuda ümber Maa lõpmata kaua, kulutamata grammigi kütust, ja kui tema orbiit osutub polaarseks, see tähendab, ületab Maa pooluseid, siis ilmub tema vaatevälja planeedi iga ala, tema apa-

raadid võivad teostada mõõtmisi Maa-lähedase ruumi igas punktis, mida laeva orbiit läbib.

Oletame, et laeva pardal on olemas igasugune aparatuur, millist meil võib vaja minna Maa ja teda ümbritseva ruumi uurimiseks. Teiste sõnadega, meie laev on sisuliselt seesama atmosfääritagune jaam, millest kirjutas Tsiolkovski, seesama kosmoselaboratorium, millest praegu unistavad astronoomid ja geofüüsikud.

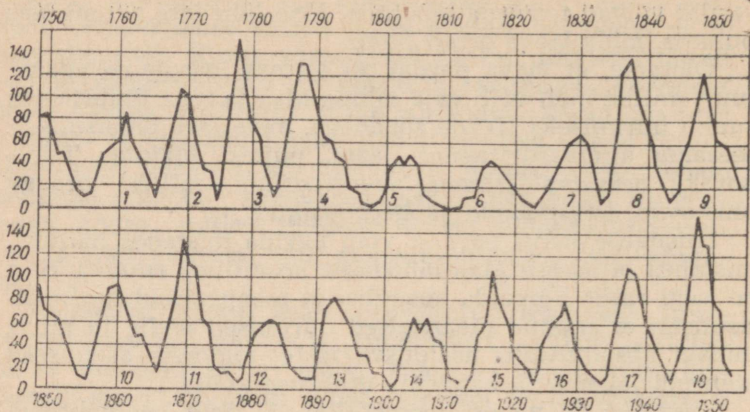
Niisuguse laeva pardalt võib uurida mistahes nähtusi, mistahes protsesse Maa-lähedases kosmilises ruumis. Siin on isegi raske võrrelda kosmilisi ja maapealseid uurimisi: sisuliselt ei andnud maapealsed uurimised meile ju mitte midagi absoluutselt usaldusväärsete andmete saamiseks planeedi lähema ja kaugema ümbruse kohta.

Erandiks on vahest meteorokehad. Neid me kohtame looduslikul kujul, alates pisimatest nõehelvestega sarnavatest habrastest tolmu-kübemetest, mis Maa atmosfääri-ga kohtumisel isegi põlema ei sütti, ja lõpetades gigantsete pangastega, tundmatute taevakehade tükkidega. Kuid uurida neid pole siin kerge, ehkki nad pakuvad suurt huvi meie planeetidesüsteemi keemilise koostise tundma-õppimisel.

See probleem kuulub astronoomiasse. Aga kui paradoksaalne see ka poleks, on meteorokehasid ikkagi palju mugavam uurida maapealsete meetoditega, nii arvavad vähemalt teadlased. Suurte meteorokehadega kohtumisi esineb kosmoses harva ja seejuures on need nii ohtlikud, et meil pole mõtet seda eriti taotleda. Maa püüab oma külgetõmbejõuga, oma atmosfääri poolt kaitstud pinnaga palju rohkem meteorokehasid, kui neid suudab koguda mistahes kosmoselaev. Jõudnud Maale, toovad nad meile teateid Päikesesüsteemis esinevate mineraalide koostisest ja struktuurist, orgaaniliste ainete olemasolust kosmoses, aga võib-olla ka primitiivsest elust. Meteoride heledad sähvatused «jutustavad» atmosfääri koostisest ja temperatuurist, tuultest suurtes kõrgustes jne.

See ei tähenda aga, et meteorokehasid ei tuleks uurida kosmoses. Meie «laeval» on aparatuur, mis registreerib väikeste osakestega kokkupõrkamise sageduse ning põrkeimpulsside suuruse. See on vajalik Maale langenud meteoriiidiaine üldhulga ja meteoriidideohu astme hindamiseks.

Kosmilised kiired aga, saabudes meile universumi sügavusest, ei suuda Maa atmosfääril läbi tungida oma «ürg-



Päikeselaikude muutumine kaasneb Päikese aktiivsuse muutumisega. See toimub umbes üheteistkümnepäevase perioodiga, nagu näitasid laikude vaatlused aastatel 1750—1950.

sel» kujul. Maale jõuab ainult esialgsete osakeste ning atmosfääri aatomite ja molekulide kokkupõrke produkt. Loomulikult ei anna nende registreerimine ammendavaid andmeid kosmilise kiirguse primaarsest voost, tema ja Maa magnetvälja ning atmosfääri vastastikusest mõjust.

Kosmilised kiired pole aga ainsad osakesed, mis satuvad Maa ümbrusesse. Võimsaks kiirgusallikaks on ka Päike. Mõnikord muutub ta ise kosmiliste kiirte — erakordselt kõrge energiaga osakeste — allikaks. Palju sagedamini paiskab Päike välja plasmapiilvi — ioniseeritud osakeste ja elektronide klompe, millel on oma «külmunud» magnetväljad, mis on seotud osakeste liikumisega pilve sees. Sõltuvalt Päikese aktiivsusest paisatakse niisuguseid pilvi välja kas rohkem või vähem.

Nende pilvede vaatlumist Maa pealt segab kaitsev atmosfäärikiht. Nimelt just «kaitsev», sest atmosfääri puudumisel jõuaksid pilved Maale ja võib-olla hävitaksid siin tekkinud elu, kui see niisugustes tingimustes üldse võiks tekkida. Ainult plasmapiilvede ja magnetosfääri kokkupõrke järelkaja jõuab Maani magnetiliste tormide näol. Neid registreerivad aparaadid, kuid sellest on liiga vähe, et tunnetada nende mõju atmosfäärile, seda enam, et

Maast väga kaugel asuvad kõrgatmosfääri ja tema magnetvälja pole võimalik uurida maapealsete mõõtmiste teel.

Päike saadab maailmaruumi ka võimsa voo elektromagnetilist kiirgust, mis võiks meile palju jutustada protsessidest Päikesel ja Päikese mõjust atmosfäärile. Kuid ka seda kiirgust pole täielikult võimalik Maalt uurida. Atmosfäärikihid segavad Päikese spektraalset uurimist.

Suur osa välismaailma kohta saadavast informatsioonist läheb lootusetult kaduma Maa atmosfääris, ja ainult sellest väljaspool püütud informatsiooni oleks võimalik täiel määral kasutada.

Võib kerkida küsimus: milleks on siis vajalik Maa tundmaõppimine? Kas ei kuulu see kõik «puhta» astronoomia valdkonda? Mõnikümmed aastat tagasi ei tekitanud vastus niisugusele küsimusele mingeid kahtlusi. Kuid praegu peame järele mõtlema, millisel määral on nähtused kosmoses seotud maapealsetega. Veel enam, meil on õigus püstitada teine küsimus: kus nimelt kulgevad Maa piirid?

Analoogiliselt horisondi määramisega tuleks tõenäoliselt öelda, et Maa piir — see on «kujutletav pind, kus Maa atmosfäär läheb üle kosmiliseks, planeetidevaheliseks ruumiks». Kuid näib, et niisugust piiri tõmmata ei ole lihtne. Mõnetuhande kilomeetri kõrguseni ulatuv väga dünaamiline kõrgatmosfäär on lakkamatus liikumises. Kord ta laieneb, kord tõmbub kokku, sõltuvalt temale langevast energiavoost, kuid tema taga, planeedi pinnast enam kui kahekümne tuhande kilomeetri kaugusel laiub veel «Maa kroon», mis koosneb vesinikust.

Kuid mispärast õieti peab Maa piiriks lugema atmosfääri piiri, aga mitte planeedi magnetvälja või gravitatsioonivälja välist piiri? Loob ju nimelt magnetväli näiteks gigantseid kiirgusvööndeid, mis on kujunenud tema poolt ligi tõmmatud kõrge energiaga osakestest. Kiirgusvööndid ulatuvad kuni kaheksakümne tuhande kilomeetri kauguseni Maast ja etendavad mõningate oletuste kohaselt küllaltki suurt osa Maa atmosfääri «elus». See tähendab, et Maa piiri võib «nihutada» kümnete tuhandete kilomeetriteni tema pinnast. Umbes sajatuhande kilomeetri kaugusel läheb Maa magnetväli üle planeetidevahelise ruumi magnetväljaks.

Aga gravitatsiooniväli? See hoiab planeedi ümbruskonnas Maa tehiskaaslast ja tema looduslikku kaaslast —

Kuud, mis asub Maast umbes 400 000 km kaugusel. Teoreetiliselt ulatub gravitatsiooniväli kuitahes kaugele. Tema piiridest saab rääkida ainult üsna tinglikult, võrreldes Maa raskusjõudu teiste taevakehade raskusjõuga, näiteks Kuu ja Päikese omaga. Siis ulatub Maa «gravitatsioonivälja piir» vastavalt kas umbes kolmesaja tuhande kilomeetrini või umbes miljoni kilomeetrini. Esimesest piirist väljaspool on Kuu külgetõmme Maa külgetõmbest suurem, kuid väljaspool teist piiri saab ka Päikese külgetõmme suuremaks meie planeedi külgetõmbest.⁴

Nagu näete, läheme Maa piiri otsides üsna kaugele. Võib kõnelda ka vastupidisest ülesandest — otsida kosmose piiri Maal... Me tunneme Päikese kiirgust, mis soojendab Maad, põhjustades tema atmosfääris ja ookeanides pidevat liikumist ning hoides alal elu. Tunneme ka Maale langenud meteoriite ja kosmilisi kiiri, mis tungivad mitte ainult tema pinnani, vaid ka sügavusse. Tõsi küll, atmosfääri läbimisel muutuvad nad tunduvalt. Kõik see langeb Maale väljastpoolt, kosmilisest ruumist, ega ole omane planeedile, pole tingitud temas arenevatest seesmistest protsessidest.

Tähendab, «maise» ja «mittemaise» vahel pole täpseid geomeetrilisi piire. Maa ja lähem kosmos tungivad sügavale teineteisesse, nende side on katkematu, ja uurides kosmost, õpime tundma Maad, kuid uurides paljusid nähtusi Maal, vaatleme lihtsalt kosmiliste nähtuste tagajärgi.

See tähendab, et laias küsimusteringis, mis kerkivad esile pärast inimese tungimist kosmosesse, on palju niisuguseid, millel võib olla kõige vahetum tähtsus «maisteks», aga mitte «taevasteks» vajadusteks.

Kosmoseaparaatideta on mõeldamatu paljude andmete saamine planeedi kohta. Vaatleme näiteks atmosfääri. See ei lõpe mõnekümne või isegi mõnesaja kilomeetri kõrgusel. Kuigi ta on väga hõre, ulatub ta väga kaugele; me isegi ei tea, kui kaugele, kuna me ei ulatu tema piirideni. Aga kuidas nendeni jõuda, kui kaasaegsed lennukid või-

⁴ Siin ei ole mõeldud piirkonda, kus Maa külgetõmme on tugevam Kuu resp. Päikese omast, vaid nn. Maa mõjusfääri. Selle all mõistetakse piirkonda, kus liikuva pisikeha, näiteks komeedi häärete arvutamisel on otstarbekas võtta tsentraalkehaks Maa, mitte Kuu resp. Päike. — R. P.

vad tõusta vaid paarikümne kilomeetri kõrgusele? Pisut kõrgemale tõusevad «balloonid» — aerostaadid ja raadio-sondid, kuid võib arvata, et atmosfääri kõrgemad kihid on ka nendele uurimismeetoditele kättesaamatud.

Tõsi, kõrgatmosfääri uurimiseks saab kasutada kaudseid meetodeid: öise taeva helenduse, hõbepilvede, meteoride sähvatuste ja virmaliste vaatlemine, tugevate akustiliste lainete levimine võib meile anda mõningaid andmeid kõrgatmosfääri koostise ja temperatuuri kohta. Võib isegi uurida tuuli suurtes kõrgustes, kuid kõik need meetodid tekkisid või arenesid sel ajal, kui puudusid võimalused otseseks kosmosesse tungimiseks.

Mitmesuguste Maa-pealsete võtete abil saadud tulemused olid sageli vasturääkivad, andmed haarasid mitteküllaldast kõrguste diapasooni, osaliselt polnud üldse võimalik kõrgust küllalt täpselt määrata. Ja peamine — liiga palju jäi «valgeid laiike», mida ei saanud kustutada Maa-pealsete mõõtmistega.

Niisiis, meie «laevale» peab olema paigutatud aparaatuur atmosfääri igakülgselt uurimiseks. Optiliste ja raadiotehniliste meetoditega võime atmosfääri «sondeerida» ülevalt poolt, aga atmosfääri karakteristikuid saame mõõta ka vahetult.

Selleks tuleb minna kas orbiidile, mis asetseb atmosfääris antud kõrgusel (kui tahame teostada mõõtmisi pikema aja jooksul ja suurte rajoonide kohal), või siis lihtsalt kustutada orbitaalse liikumise kiirus ja kukkuda alla, tehes vertikaalse «atmosfäärilõike», nagu seda tehakse geofüüsikaliste raketide abil. Nii saame antud rajooni kohal atmosfääri karakteristikute jaotuse kõrguse järgi.

Rangelt võttes ei ole meie kujutletav laev kohandatud atmosfääri läbimiseks. Kuna ta on planeetidevaheline laev, siis pole ta arvestatud suure ülekoormuse ja tugeva ülekuumenemise jaoks, visaks võitluseks atmosfääri hõõguva keerisega, mis on vältimatu laeva kiiruse aerodünaamilisel kustutamisel. Kuid atmosfääri uurimiseks ei ole vaja kasutada suuri laevu. Teda võib uurida ka väikeste spetsiaalsete tehiskaaslastega, mis on varustatud automaatse aparatuuriga või aparatuuriga konteinerites, mis on kohandatud maandumiseks Maale, või veelgi lihtsamalt — Maalt ülessaadetavate «geofüüsikaliste» kõrgraketidega.

Atmosfääri uurimiseks saab üles saata ka tehiskaaslasid. See on palju mugavam. Kosmoselaevalt tuleks atmo-

sfääri madalamatesse kihtidesse tehiskaaslati ja sondeeri-
vaid konteinereid lasta ainult siis, kui jutt oleks mitte
Maa, vaid teise — asustamata, tundmatu planeedi uurimi-
sest.

Oletame, et me ise tahaksime laskuda atmosfääri sise-
misse nii kaugele, et saaksime kõiki madalamaid kihte
uurida kosmosevahenditega. Sel juhul tuleks meil ümber
istuda teisele laevale, mis ei karda suurt ülekoormust,
omab usaldatava soojuskaitse ning on kohandatud maan-
dumiseks Maale. Niisiis, astume oma koduplaneedi
pinnale, «veendudes kohapeal», et tehiskaaslased ja
raketid on äärmiselt vajalikud Maa lähema ümbruse
uurimisel.

Kui harjumatu on siin pärast kosmoselendu! Ülalt tühi-
sena paistnud kaugused «kasvavad» äkki suureks ja muu-
tuvad osaliselt raskesti ületatavaks. Kosmose igavene rahu,
kui mitte meenutada Päikese korpuskulaarse ja lühilaine-
kiirguse läigatusi, asendub kapriisse ilmastikuga, mille
prognoosimine osutub mitteusaldatavaks...

Milles on siis asi? On olemas tuhandeid meteoroloogia-
ja aeroloogiajaamu, iga päev tõusevad õhku sajad lennu-
kid, terved meteoroloogide armeed saavad ja töötlevad iga
päev vaatlustulemusi, kasutades kaasaegset arvutustehni-
kat, aga ikka veel ei ole absoluutselt usaldatavat prog-
noosi! Katsume selgitada vigade võimalikke põhjusi. Ilm-
neb, et kaugelki mitte kogu maismaa ei ole kaetud
küllalt tiheda jaamade võrguga, aga ookeanil, mis võtab
enda alla seitsekümmend üks protsenti Maa pindalast, pole
neid praktiliselt üldse. Ja pole üllatav, et sellest «võrgust»
võivad «tähelepandamatult läbi lipsata» suured tsüklonid
ja tormid nendega kaasnevate pilvesüsteemidega. Ilma
täpseks ennustamiseks kogu maakeral ei piisa lähteand-
meid ja, mis on kõige halvem, peaaegu puudub lootus, et
ookeanidele saaks luua küllalt tihedat jaamade võrku.

Lubage, kui olime koos teiega kosmoselaeval väljaspool
atmosfääri piire, siis nägime selgesti kõiki pilvesüsteeme
ja võisime vastutada, et ei oleks lasknud läbi ühtegi neist,
kui oleksime kavatsenud neid jälgida. Võib-olla on välja-
pääs just selles? Võib-olla ongi vaatlused kosmosest too
vajalik lüli, mis puudus meteoroloogidel usaldatava prog-
noosi koostamiseks? Vahest ongi asi nii. Igal juhul on mõ-
tet seda kontrollida. Muidugi, pole üldse vaja, et me ise
pliatsiga käes jälgiksime pilvede liikumist, märgiksime

selle kaardile ja kannaksime siis tehtud joonised Maale üle. Vaatlust ja fotografeerimist võib teostada automaatsete televisioonisüsteemide abil. Saadud materjali on palju mugavam töödelda Maal, kus meteoroloogi teenistuses on elektronarvutid ja küllaldane hulk kvalifitseeritud töötajaid.

Ja võib-olla õnnestub meie laeval kasutada aparatuuri, mis aitab välja valida maandumiseks kõige sobivama planeedi. Maismaa ja ookeani pinnalt saab ju soojust atmosfääri alumine kiht — troposfäär. Just see soojus määrab temperatuuri vertikaalse jaotuse nimetatud kihis. Pinnaselt saabuva soojuse voogude ebaühtlus, mis on tingitud maapinna erinevatest omadustest, päikesekiirguse neeldumise ebaühtlusest, põhjustab rõhu horisontaalsete gradientide⁵ (astmete) tekkimist, mis kutsubki esile atmosfääri liikumise kõikide selle avaldustega halva ja hea ilma näol.

Kas saab Maal asudes küllalt täpselt määrata maismaa ja merepinna temperatuure, nii et need vastaksid keskmistele väärtustele suurtel territooriumidel? Kas on sel teel võimalik teada saada soojusvoo jaotust atmosfääris kogu maakera ulatuses? Vaevalt küll. Igal juhul saab nähtavasti tehiskaaslasele asetatud optilise aparatuuri abil määrata maapinna temperatuuri tema infrapunase kiirguse järgi atmosfääri niinimetatud läbilaskvuse vööndis tunduvalt suurema täpsuse ja tõenäosusega. Sellega ei ole aga optiliste meetodite võimalused ammendatud.

Meenutame, et tehiskaaslased annavad meile teateid täielikust energiavoost, mis tuleb Päikeselt atmosfääri; meenutame, et nad võimaldavad uurida kogu atmosfääri ning järelikult võimaldavad meteoroloogidel arvestada nii heliogeofüüsikalisi seoseid kui ka atmosfääri kõrgemate kihtide mõju madalamatele, kui see on olemas ja etendab märkimisväärset osa.

Ja selgub, et isegi puhtmaisteks ülesanneteks, seda enam aga Maa pinna läheduses toimivate protsesside uurimiseks, on tehiskaaslased ja raketid sama vajalikud, nagu lähema kosmose — kõrgema atmosfääri tundmaõppimiseks.

⁵ Rõhu horisontaalne gradient on suunaga suurus (vektor), mis mõõdab õhurõhkude vahet horisontaaltasandis pikkusühiku, näit. 100 km kohta rõhu kiireima languse suunas. — R. P.

Võib oletada, et planeetide pinna ja neile lähedaste atmosfäärikihtide uurimise optilised meetodid muutuvad Maa ilmastikuteenistuse koosseisulisteks vahenditeks enne, kui neid saab laialdaselt kasutada teiste planeetide uurimiseks.

Optilistest meetoditest pole huvitatud üksnes meteoroloogid. Tunda temperatuuride jaotust kõikide ookeanide ja merede pinnal, nende pidevaid, sesoonseid ja mitmeaastasi muutusi, kas sellest ei unista okeanograafia või mere-temika spetsialistid? Kas pole see tähtis kalatöõndusele? Ka meremehed ei saa läbi kosmoseta, isegi kui mitte meetutada neid täiesti erakordseid navigatsioonivõimalusi, mida lubavad tehiskaaslased.

Näib, et on kõik... Tehiskaaslaste «volitused» on amendatud. Ei hakata ju nendega uurima Maa sisemust. Lubage, vaidlevad sellele vastu geodeedid, spetsialistid maakoore ja magnetoloogia alal, ärge kiirustage, ärge tehke ennatlikke järeldusi.

Vaadeldes tehiskaaslaste liikumist teatud orbiidil üheaegselt kahest maapinna punktist, saab suure täpsusega mõõta nende punktide vahelist kaugust — igal juhul võrreldamatult suuremaga, kui praegu määratakse saarte asukohta ookeanis astronoomia meetoditega.

Orbiidil liikuvale tehiskaaslasele mõjub mitu erinevat jõudu — Maa raskusjõud, atmosfääri takistus, Päikese valgusrõhk ja teiste taevakehade külgetõmme. Kui saaks orbiite valida nii, et vältida mõnda neist jõududest või äärmisel juhul osata määrata nende mõju orbiidile (häired, mis mõjutavad tehiskaaslase liikumist, avaldavad mõju raskusjõu kohaliku kõrvalekalde variatsioonide määramise täpsusele, kusjuures kõrvalekaldeks loetakse erinevust mingist kogu Maa jaoks arvatud keskmisest väärtusest), siis muutuks tehiskaaslane planeedi kuju ja tema põues peituvate masside jaotuse määramise tundlikuks instrumendiks.

See pole just lihtne, kuid ometi täiesti võimalik. Tehiskaaslane võib anda meile teateid Maa kujust, kohtadest, kus tema sisemuses on kontsentreerunud masside ülejääk. Selgub, et kosmosesse väljumisega võib mitte ainult paremini näha seda, mis toimub Maa pinnal, vaid vaadata ka sügavale Maa sisemusse. Kui rääkida piltlikult, siis kosmosesse tõustes tungime ühtlasi planeedi sügavusse.

Teatud mõttes saab tehiskaaslasi kasutada mitte ainult planeedi raskusvälja, vaid ka magnetvälja määramisel.

Kui tehiskaaslasele paigutada magnetomeeter, siis on võimalik uurida magnetvälja anomaaliaid, kuid ainult kaugel Maast. On ilmne, et mida võimsam on anomaalia ja mida sügavamal ta asub, seda vähem erinevad tehiskaaslase abil saadud andmed maapealsete uurimistega saadud andmetest anomaalia suuruse kohta. Tähendab, tehiskaaslased saavad määrata ka magnetanomaaliaste allikate asukohtade sügavust.

Nimelt just selliseid andmeid saigi kolmas nõukogude tehiskaaslane Ida-Siberi võimsa magnetanomaalia kohta. Selgus, et tolle allikad asetsevad erakordselt suures sügavuses, mida võib võrrelda põhimagnetvälja allikate sügavusega. Säästeti miljoneid rublasid, mis oleksid asjatult kulunud rauamaakide otsimisel.

Seega võime juba teha järelduse, et kosmosesse väljumiseta ei oleks olnud võimalik saada paljusid tähtsaid andmeid meie planeedist.

Seda ei tule mõista nii, et nüüd on vaja sulgeda kõik geofüüsika instituudid, loobuda teistest uurimisvahenditest ja saata vaid üles mõned tehiskaaslased.

Muidugi, «kolmas dimensioon», eriti tee planeedi sügavusse, avaneb mitte ainult tehiskaaslaste ees. See ülesanne on vahest mitte vähem keerukas ja vastutusrikas kui kosmosesse tungimine, ja temast tasub pisut kõnelda.

Praegu on olemas plaanid sügavsondeerimiseks läbi kogu maakoore — allapoole nõndanimetatud Mohorovičiči piiri, kuni Maa kesta ülamanantliini. Siit ka nimetus — «Ülamanantli projekti». See on otsene tungimine 15—18 kilomeetri sügavuseni, otsene maakoore koostise ja ehituse ning seal toimuvate protsesside uurimine. Raske on ette näha, mis on perspektiivsem, kas puurimine või šahtide kaevamine, aga tähtis on, et nii ühel kui ka teisel juhul tungib inimene vägivaldselt planeedi varjatud saladustesse.

Ameerika teadlased on juba asunud sügavpuurimisele. Nad puurivad ujuvalt seadmelt Vaikses ookeanis, kus sügavus on umbes viis tuhat meetrit. Maakoore paksus ookeani all on palju väiksem kui maismaal, ulatudes kõigest kuni 9 kilomeetrini. Nimelt sellepärast töötabki puurimisvõime meres. Aeglaselt, avariide ja ebaõnnestumistega edeneb töö. Läbitud on ainult mõnisada meetrit, kuid juba

on saadud kivimite näidiseid, mis veel kunagi ei ole asunud uurija laual.⁶

Kahtlemata hakkavad teised maad, nende hulgas ka Nõukogude Liit, uurima sügavat maapõue. See on teaduse üks järjekordseid ja aktuaalseid ülesandeid.

Kõrgemale ja sügavamale! Kas pole sümboolne, et tungimine kosmosesse ja planeedi sisemusse on peaaegu üheaegne? Need on planeedi tunnetamise ühtse ahela katkematult seotud lülid, tunnetuse, mis lubab inimesele nii palju.

Kaasaegsete ja tulevaste põlvkondade kaine mõistus hindab inimeste tööd sellega kaasneva praktilise kasu järgi. See puutub nii geofüüsikasse kui ka astronoomiasse. Veel hiljuti puhtvaatluslik ja, nagu näis, praktikast täiesti kaugel asuv teadus muutub nüüd eksperimentaalseks. Möödub veel pisut aega, ja ta muutub rakendusteaduseks. See toimub siis, kui inimene hakkab kasutama Päikese energiat, hakkab julgelt sekkuma looduslikesse protsessidesse, uurima teisi planeete, et paremini tundma õppida Maa ehitust, ning alustab teiste planeetide asustamist.

Paljusid kosmosesse tungimise etappe, mille tunnustajateks me oleme olnud, ei saa lugeda ainult astronoomiasse või geofüüsikasse kuuluvaiks. Võib-olla polegi see tähtis — teadusel on lahendada palju tähtsamad ülesanded kui vaheseinte püstitamine.

Oluline on hoopis muu: raketid ja tehiskaaslased mitte ainult ei demonstreerinud oma erakordseid võimalusi Maa ja kosmilise ruumi uurimisel, vaid jõudsid juba muutuda asendamatuteks uurimisvahenditeks; nende abil on saadud erakordselt tähtsaid, praktiliselt väärtuslikke andmeid planeedi kohta, millel me elame. Lähimad võimalikud perspektiivid lubavad veelgi enam.

Nüüd hülgame lõplikult oma kujutletava laeva, mis aitas meil tutyuda Päikesesüsteemiga, võrrelda tingimusi

⁶ Mainitud USA sügavpuurimised olid esialgsed proovipuurimised. Nende põhjal valiti lõplik puurimiskoht — Vaikses ookeanis Havai saarte lähedal, kus vee sügavus on pisut üle 5 km ja maa-koore paksus umbes samasugune. Katsepuurimistega loodetakse alustada 1967. a. ja tegeliku tööga 1968. a. — R. P.

Maal tingimustega teistel planeetidel ning ühtlasi hinnata kosmoselaeva kõiki eeliseid Maa ja Päikese uurimisel. Edasi räägime teaduslikest faktidest, Maa ja Päikese uurimise probleemidest ja meetoditest, mitmesugustest hüpoteesidest, mis on avaldatud teaduslikus kirjanduses seoses kirjeldatavate probleemidega.

M

aa eksisteerib ainult kui väike koostisosa maailmast, mille ukсед paiskusid lahti kosmosesse väljumisega. Palju saadi temast teada nende väheste aastate jooksul, mis on möödunud esimeste kõrgraketide ja tehiskaaslaste ülessaatmisest. Kuid võrratult enam on veel vaja teada saada. See on tallamatute radade maailm, võimaluste maailm, mis on niisama piiritu nagu universum ise, mille uurimisele nüüd peremehelikult asub inimene.

Me alustasime tutvumist selle maailmaga juba siis, kui selgitasime, kuid võrd sobivad on eluks ühed või teised planeedid. Teame, et Maa «õnnestunud» koostise, tema «õnnelike» mõõtmete ja «õnneliku» kauguse tõttu Päikesest on maapealsed tingimused eluks kõige soodsamad, et Päikesele võlgne me tänu energia põhiallikate eest.

Maani jõuavad tühised, miljardikud osad Päikesest kiirguse koguergiast, kuid suur osa sellestki energiahulgast peegeldub tagasi atmosfäärilt, pilvedelt, Maa pinnalt — lume- ja jääkattelt, veelt ja maismaalt.

Ent isegi alles jäävast osast on küllalt, et hoida planeedi pinna, ookeani ja atmosfääri temperatuuri vajalikul tasemel, et panna liikuma õhumassiive, kanda merelt maismaale gigantseid veemasse, mis siis merre tagasi voolates ja pannes pöörlema hüdroelektrijaamade turbiine, annavad meile energiat.

Osa sellest energiast kulub elu vahetuks alalhoiuks Maal: taimede lehtedes muundub ta orgaaniliste ühendite keemiliseks energiaks, mida hiljem kasutavad teised organismid.

Mis juhtuks, kui Päike äkki kustuks? See ei mahu tavaliste arusaamade raamidesse, kuid püüame kujutleda niisugust, kuigi võimatut olukorda.

Missugusel maapinna temperatuuril kujuneks tasakaal radioaktiivsete elementide lagunemisel tekkinud ning seejärel maapõuest esile kerkiva soojusvoo ja Maalt maailma-

ruumi kiirguva soojusvoo vahel? Seda pole võimalik täpselt arvutada — see on ülesanne paljude tundmatutega. Ja pealegi pole selleks praegu praktilist vajadust. Kahtlemata langeb temperatuur tunduvalt ja arvatavasti saab võrdseks vaid absoluutse skaala mõne, parimal juhul aga mõnekümne kraadiga. Ainult inimesed, kes tunnevad sügavkülmutamise tehnikat, võivad täiel määral kujutleda niisuguse temperatuurilanguse kõiki tagajärgi.

Jõgede, järvede ja ookeanide pind külmub. Külmumine levib sügavusse, kogu vesi Maal muutub jääks. Ebatavalise lume helvestena langeb maha Maa atmosfäär, — sellisel temperatuuril muutuvad jääks kõik tema koostisosad: kõigepealt langeb maha vesi, siis, — 78°C juures, hakkavad Maale langema süsihappegaasi kristallid, seejärel, temperatuuril — 183°C , hapniku helesinised tilgad ja lõpuks, — 196°C juures, lämmastik. Samasugune saatus tabab teisi gaase, mida atmosfääris leidub tühisel hulgal.

Maal algab öö. Planeedi surnud ja tühjal pinnal puudub igasugune liikumine, välja arvatud maakoore aeglane kõikumine, mis on tingitud vedela aine hoovustest Maa sisemuses. Ainult kohati tungivad pinnale vulkaanide tulised või gaasilised tõrvikud, kuid kiiresti hangudes sadestuvad ka need lume näol Maale.

Elu? See oleks loomulikult võimatu. Ainult kusagil Maa sisemuses, kus temperatuur säiliks tasemel, millega oleme harjunud, võiks inimene eksisteerida, saades kõik eluks vajaliku kunstlikult mäemineraalidest ja luues kunstlikult bioloogilise tsükli. Aga kui keeruline oleks selline elu!

Muidugi, kõik, millest rääkisime, on lihtsalt fantaasia. See oli praegu vajalik, kuna tahtsime rõhutada Päikese osa Maa ja inimeste elus. Me peame endastmõistetavaks, et Päike saadab Maale kiirtevoogusid. Teame, et ta on vee ja atmosfääri igasuguse soojusliikumise allikaks. Kuid me tunneme puudulikult Päikesel toimuvate protsesside füüsikat, Päikese kiirguse liike, nende muutlikkust ning levikut kogu süsteemi ulatuses ja eriti Maa ümbruses. Me tunneme veel ebapiisavalt nende kiirguste mõju meie planeedi kõrg- ja madalatmosfäärile, Maa loodusele. Aga teada seda on vaja.

Astrofüüsik ütleks, et Päike on «harilik» põhijada täht nõndanimetatud Hertzsprung-Russell'i diagrammis. Rea-täht... Selliseid on Galaktikas palju.

Tuumaprobleemidega tegelev füüsik ütleks, et Päike on gigantne termotuumareaktor, milles kulgeb pidev kiirgus-energia kolossaalse voo eraldumisega kaasnev isereguleeruv termotuumareaktsioon, mis muudab vesiniku, Päikese põhikoostiosa, heeliumiks.

Inimene pole praegu suuteline looma Maa peal neid füüsikalisi tingimusi, mis valitsevad Päikesel, seepärast on Päike mitte ainult elu allikas, vaid ka omapärane füüsikalaboratoorium. Ta võimaldab uurida hõõguva plasma liikumise seadusi tugevaimates magnetväljades ja uute keemiliste elementide tekkimise saladusi. Tänu Päikesele lahendas inimene termotuumareaktsiooni saladuse. Võimalik, et tänu Päikesele suudab ta ka õppida neid reaktsioone juhtima, allutama nende tormilist, tulist kulgu oma arukale tahtele...

Päikese kiirgusvõime massiühiku kohta on väga väike: ainult 2 ergi grammi kohta sekundis. Võrdluseks võib ütelda, et inimese keha iga gramm eraldab sama ajavahe-miku jooksul keskmiselt viis tuhat korda suurema energia-hulga. Tähendab, üldine võimas energiavoog saadakse mitte termotuumaprotsesside intensiivsuse, vaid Päikese kolossaalsete mõõtmete arvel. Tuumakütust kulutatakse aeglaselt ja tema «varusid» jätkub veel paljudeks miljarditeks aastateks.

Me teame, et Päikesel on «rahulik iseloom». Tema summaarne kiirgus peaaegu ei muutu. Ainult nähtamatu kiirgus — lühilaineline ja radiokiirgus, mis tekib eriti päikeselaikude ja kromosfääri loidete piirkonnas, muutub väga järsku. Kuna aga põhiosa energiast kiiratakse spektri nähtavas piirkonnas, mis jääb muutumatuks ka kõige tugevamate loidete ajal, siis see muutlikkus Päikese poolt kiiratava energia üldvoogu praktiliselt ei mõjuta.

Huvi pakub üks iseärasus. Maa atmosfäär, mis on meile kindlaks kaitseks kosmose surmatoova kiirguse eest, pole kaugeltki nii läbipaistev, nagu see tundub inimsilmale. Ainult läbi kahe kitsa «spektraalse akna» laseb ta päikese-kiirgust takistamatult Maa pinnani. Ja päikeseenergia põhivoog langeb just «optilise akna» piirkonda.

Muidugi, keegi ei määranud Päikesele spetsiaalset, Maale kõige soodsamat kiirgusrežiimi, keegi ei valinud ka Maa atmosfääri «valgusfiltrit». See õnnelik kokkusattumus on tingitud Maa atmosfääri koostisest, mis omakorda ole-
neb planeedi koostisest üldse; ta sõltub ka Maale saabuva energiavoo suuruselt. Kerge on enesele ette kujutada, et kui soojust oleks rohkem, siis muutuks temperatuuri tõusu arvel isegi Maa praeguse koostise ja ehituse puhul atmosfääri koostis, suureneks veeauru üldsisaldus ja sellega seoses tõenäoliselt ka pilvisus, muutuksid atmosfääri optilised karakteristikud. See kutsuks otsekohe esile vastupidise reaktsiooni — energiavoo vähenemise, ning mingisugustel tingimustel saabuks tasakaaluolek... Süsteem Maa-Päike on keeruline ja tundlik mehhanism.

Elektromagnetiliste kiirguste diapasoni, milles atmosfäär on läbipaistev, nimetame nähtavaks kiirguseks, sest on olemas teine «õnnelik» kokkusattumus: nimelt selle piirkonna valguskiirgustele on tundlik inimese silma võrkkest. Ka siin pole midagi ebaharilikku. Päike ei kohanenud silmaga, selleks et teda nähtaks «täies hiilguses», vaid silm kohanes inimese päevase elulaadi tulemusena Päikesega, et kasutada tema energiavoo suurimat osa.

... Päikese võib tinglikult jaotada mitmeks kontsentriiliseks piirkonnaks. Kõigepealt räägime sisepiirkonnast, mille keskel on tuum, kus pidevalt kulgevate termotuumareaktsioonide tulemusena tekib kiirgusenergia. Viimane kandub läbi teatava vahepiirkonna kiirgusliku soojusülekande teel väljapoole — konvektiivsesse kesta, mis pakub huvi selle poolest, et energia temas ei teki, vaid seda antakse ainult edasi, kusjuures juba mitte enam kiirgusliku soojusülekande teel, vaid koos edasikandva kihi ainega. Gaasi temperatuuri juhuslikud tõusud sunnivad selle kihi üksikuid osi «kõrgemale tõusma» ja andma energiat tema peal asetsevale nähtavale kihile — fotosfäärile, mille järel nad jälle «langevad alla» uue energiaannuse järele. See on põhimõtteliselt sama konvektsioon, mis toimub atmosfääris kuumal suvepäeval või toas soojuse levimisel küttekahast.

Fotosfäär — see on meie poolt vaadeldav Päikese pind, millelt tuleb Maale kogu kiirgus spektri nähtavas osas. Fotosfääri paksus on ainult paarsada kilomeetrit. Pidev kiirgusspekter vastab peaaegu täpselt absoluutselt musta keha kiirgusspektrile temperatuuril umbes 6000° K (abso-

luutselt must keha neelab kõik temale langevad kiired ja seepärast sõltub tema kiirgusspekter ainult tema enese temperatuurist; teistsuguse keha temperatuuri on kiirguse järgi väga raske määrata — tuleb eraldada need kiired, mida keha peegeldab). See kehtib Päikese nähtava ketta tsentri kohta. Tema äärtelt saabub meile tunduvalt väiksem energiavoog, mis vastab veidi madalama temperatuuriga musta keha kiirgusele, seepärast on hakatud lugema fotosfääri keskmiseks temperatuuriks 5700° K (absoluutsel skaalal).

Kui Päikese nähtavat pinda vaadelda pikksilmaga, siis võib märgata, et fotosfäär on teralise ehitusega, nagu koosnedes suurest hulgast heledatest laigukestest, niinimetatud graanulitest. Graanulites on gaasivood suunatud fotosfääri pinnale, kuid tumedamates piirkondades toimub vastupidine liikumine. Graanulite mõõtmete, gaasi temperatuuri ja kiiruse täpset uurimist segab Maa atmosfäär, seepärast pole neid veel detailselt tundma õpitud. Seda õnnestus osaliselt teha siis, kui saadeti teleskoope üles kõrgerostaatidel.

Fotosfääris võib sageli näha üksikuid tumedamaid piirkondi ehk laike, mis iseloomustavad Päikese aktiivsust. Nende hulk ja nende poolt haaratud pindala muutub tunduvalt Päikese aktiivsuse tsüklite kestel.

Laigud — need on piirkonnad, mille temperatuur on 1000 kuni 1500 kraadi madalam kui neid ümbritsevatel fotosfääri piirkondadel. Nimelt sellepärast nad näivadki tumedatena. Laikude mõõtmed võivad olla väga väikesed, aga nende läbimõõt võib ulatuda ka kuni sajatuhande kilomeetrini. Mida suurem on laik, seda pikem on ta eluiga, ulatudes mõnikord mitme kuuni.

Me pöördume veel tagasi Päikese aktiivsuse kirjeldamise juurde siis, kui räägime tema magnetväljadest. Praegu aga jätkame oma «reisi» Päikese väliste piirkondade suunas.

Vahetult fotosfääri kohal asetseb järgmine kiht — kromosfäär, mille ulatus on umbes viisteist tuhat kilomeetrit. See on tegelikult vahepealne piirkond fotosfääri suhteliselt külmade ülemiste kihtide, temperatuuriga umbes 4500° K, ja krooni vahel, mille temperatuur saavutab miljon kraadi. Kromosfäär on ebahütlane ja rahutu. Tavalistes tingimustes koosneb ta väikestest jugadest — spikulitest, mis eksisteerivad ainult 10—20 minutit. Spikulite ise-

loom ja muutlikkus meenutab stepitulekahju fotosfääri suhteliselt rahulikul pinnal.

Just siin toimuvad katastroofilised häired — kromosfääri loited. Nad tekivad äkki ja kaovad pisut aeglasemalt, tavaliselt tunni aja jooksul. Loited on allikaks tugevale röntgenikiirgusele, mis omakorda kutsub esile ionisatsiooni suurenemise 60—80 kilomeetri kõrgusel. See toob kaasa järske ionosfääri häireid.

Kromosfääri loidetega kaasnevad tugevad plasmavood. Need vood ulatuvad Maa ümbruskonda ja tekitavad tema magnetväljas tugevaid häireid, kutsudes esile virmalisi.

Nii kromosfääri temperatuuri suurenemist eemaldumisel Päikese pinnast kui ka tema paljusid teisi omadusi on veel raske seletada, kuigi sel on suur tähtsus mitmetele geofüüsikalistele nähtustele: just kromosfäär on lühilainelise ja korpuskulaarse kiirguse allikas. Need kiirgused muutuvad tugevasti ajas ja põhjustavad seetõttu muudatusi kõrgatmosfääri tiheduses ning kutsuvad esile magnetvälja häireid. Mainitud küsimuse lahendamine sõltub kõigepealt kromosfääris vaadeldavate nähtuste keerukusest. Kuid asi seisab veel selles, et kromosfäär, millel on kõrgeim temperatuur, kiirgab energiat lähemate lainete piirkonnas kui fotosfäär, kuid need lained, nagu juba mainitud, neelduvad Maa atmosfääris, jõudmata tema pinnani. Kromosfääri detailne tundmaõppimine on seepärast üks osa uurimistest, mida tulevikus teostatakse tehiskaaslaste ja kosmoserakettidega.

Seal, kus lõpeb kromosfäär, algab Päikese kroon — tema atmosfääri kõige hõredam, väline piirkond. Maalt on see hästi näha täieliku päikesevarjutuse ajal, kui Kuu ekraanina katab tugevasti kiirgavad fotosfääri piirkonnad. Kroon on selgesti jälgitav Päikese mitmekordse raadiuseni; tõenäoliselt ulatub ta aga veelgi kaugemale. Need plasmavood, mis jõuavad Maa ümbruskonda ja kutsuvad esile magnetvälja häireid, ei ole nähtavasti midagi muud, kui omapärane mittetatsionaarne muutuv krooni pikendus. On püstitatud hüpotees, et ka «rahulik», alati olemasolev Päikese kroon ulatub väga hõredal kujul Maa orbii-dini. Kui see on nii, siis ei asetse Maa planeetidevahelises ruumis, vaid Päikese krooni välises osas ning igasugune kosmilise ruumi uurimine Maa orbiiidi läheduses on seega Päikese ja tema tegevuse uurimine.

Nagu juba mainitud, on Päikese krooni temperatuur

suurusjärgus miljon kraadi. Seepärast langeb tema kiirgus põhiliselt spektri lühilainelisse ossa. Peale selle on kroon äärmiselt hõre ja tema kiirgus moodustab ainult miljondiku osa Päikese üldisest kiirgusest. Seetõttu näemegi krooni siis, kui Päikese ketast katab Kuu. Kuid võib-olla pole tingimata vajalik oodata nii haruldast nähtust? Vahest piisab krooni nägemiseks, kui vaatlusriista objektiivile ette asetada ekraan, mis katab Päikese heleda osa?

Nii see olekski, kui inimesele avaneks võimalus vaadelda Päikest kosmosest või Kuu pinnalt. Maalt on Päikese vaatlus raskendatud, kuna atmosfääris hajunud valgus on palju heledam krooni omahelendusest.⁷

Kroon muutub tunduvalt aja jooksul, kuid tal on ka mõned püsivad iseärasused. Kui Päikese aktiivsus on kõige väiksem (üheteistkümneaastase päikesetsükli miinimumis), siis on kroon Päikese ekvaatori suunas välja veninud, kuid ühe või teise pooluse piirkonnas on tal selgesti eraldatavate lühikeste kiirte kuju. Suurima aktiivsuse ajal paistavad polaarkiired vähem selgesti ja krooni ehitus ekvaatori kohal ei erine tema ehitusest pooluste kohal. Peale selle ilmuvad sel ajal kroonis lokaalsed ebaühtlused — piirkonnad, kus vaadeldavatelt tähtedelt tuleva radiokiirguse läbipääs on raskendatud. Need ebaühtlused asetsevad reeglina kromosfääri aktiivsete piirkondade kohal.

Krooni kuju ei ole ainus informatsiooniallikas Päikese magnetväljade kohta. Magnetvälja suurust mistahes punktis saab määrata ka spektraalsete meetoditega — spektraaljoonte «lõhestumise» põhjal, mis tekib siis, kui kiirgav gaas asub magnetväljas. Kasutades nimetatud otsust mõõtmismeetodit, pole raske koostada kaarti magnetväljade jaotuse kohta Päikese pinnal.

Väga väärtuslik on võimalus otsustada Päikese magnetväljade üle tema krooni kuju ja käitumise põhjal, sest nii saab näitlikult ette kujutada neid jõude, mis paiskavad hõõguva plasma voogusid maailmaruumi, sealhulgas ka Maa suunas; see nagu võimaldaks vaadelda nimetatud voogusid vahetult nende lätete juures.

⁷ Mäestikuobservatooriumides on võimalik vaadelda Päikese krooni otseselt nn. Lyot' koronograafiga. Selles kõrvaldatakse hele päikeseketta kujutis objektiivile fokaaltasandisse paigutatud spetsiaalse katikuga. — R. P.

Päikese magnetväljad, eriti äga «lokaalsed» väljad, on seotud üksikute aktiivsete piirkondadega ning muutuvad tugevasti Päikese aktiivsuse muutumisega. Et saada paremat kujutlust nende väljade omapärast ja osast Päikesel arenevates tormilistes, katastroofilistes nähtustes, pöördume tagasi mõningate Päikese aktiivsuse avalduste iselärasuste juurde.

Me juba tunneme loiteid — katastroofilisi häireid, mis on seotud korpuskulaarse ja lühilainelise kiirguse järsu kasvuga. Nagu selgus, alluvad nad kindlale seaduspärasusele — nende hulk muutub perioodiliselt. Häirete muutumise põhiperiood võrdub üheteistkümne aastaga, see tähendab, et iga üheteistkümne aasta pärast kasvab Päikese aktiivsus järsult.

Aktiivsuse muutused on sel perioodil seotud tumedate laikude hulga muutumisega Päikese fotosfääris.

Laikudega nimelt ongi seotud võimsad magnetväljad, mille tugevus võib ületada Päikese üldise magnetvälja tugevuse 3000 korda. Need väljad haaravad piirkondi mõõtmetega kuni 10 000 kilomeetrit. Kui madalama temperatuuriga piirkond ulatub ka niisama sügavale, siis võib oletada, et päikeselaigu magnetväli kujutab enesest Päikese üldvälja omapärast «väljavenimist», mille kutsub esile gaasi «antitsükloonaalne», keeriseline liikumine laigu piirkonnas.

Laike on kerge vaadelda ka palja silmaga, sellepärast muutusid nad juba ammu Päikese aktiivsuse omapäraseks indikaatoriks. Kuid laigud on kõige tõenäolisemalt ainult sügaval Päikese sisemuses arenevate protsesside väline ilming, ja ei tule arvata, et Päikese aktiivsus on täpselt määratud tumedate laikude hulga ja pindalaga.

Kõige sagedamini esinevad laigud kahekaupa, kusjuures nende polaarsus on vastupidine. Üksikutel laikudel on tavaliselt samuti dipoolsed magnetväljad.

Põhja- ja lõunapoolkeral esinevatel laikudel on reeglina erinev magnetiline polaarsus, kusjuures Päikese aktiivsuse tsükli muutumine kutsub esile muudatusi Päikese üldmagnetvälja ning sellega koos ka laikude magnetilises polaarsuses. Käesoleva kümneaastaku alguses väljusid Päikese magnetvälja jõujooned lõunapoolsest polaarsest piirkonnast ja sulgusid põhjapoolses.

Kuna lokaalsed magnetväljad tekivad varem, kui ilmub nähtav laik, ja säilivad pikka aega pärast selle kadumist, siis

võib arvata, et just magnetväljadega on seotud füüsikalised mehhanismid, mis seletavad Päikese aktiivsuse olemust.

Fotosfääri aktiivsed piirkonnad, kus kujunevad laigud, avastatakse tänu sellele, et neil on pisut tugevamad magnetväljad ning intensiivsem kiirgus ioniseeritud kaltsiumi ja vesiniku joontes. See võimaldab saada Päikese aktiivsete piirkondade fotosid, kui kasutada erilisi valgusfiltreid, mis lasevad kiirgust läbi ainult ioniseeritud kaltsiumi joontes.

Praegu ei ole teada, mis toimub aktiivsetest piirkondadest sügavamal. Nende kohal võib aga näha suhteliselt «külmi» heledaid gaasipilvi, mida nimetatakse rahulikudeks protuberantsideks. On avaldatud arvamust, et need pilved on nagu «heljundatud» Päikese magnetväljas, kuid see vajab veel kontrollimist. On olemas ka aktiivsed protuberantsid, mis paiskuvad välja kromosfäärist, langedes seejärel kas tagasi või kadudes jäljetult sadade tuhandete kilomeetrite kaugusel Päikese pinnast.

Aktiivsete piirkondade kohal asetseva krooni temperatuur tõuseb kolme-nelja miljoni kraadini, kuna rahuliku krooni temperatuur on samal ajal üks-kaks miljonit kraadi.

Oma mõju poolest Maale on kõige tähtsamateks Päikese aktiivsuse avaldusteks loited — heledad pilved, mis tekivad fotosfääri kohal ja eksisteerivad ligikaudu pool tundi. Loited on seotud päikeselaikudega ja eriti laikude rühmadega. Neil on erinevad mõõtmed ja erinev heledus — vaevalt märgatavatest, mis võivad ilmuda aktiivsetes piirkondades ligikaudu iga 30 minuti järel, kuni gigantsete loideteni, mis tekivad ainult paar korda aastas.

Tugev loide, läbimõõduga umbes 40 000 kilomeetrit, võib oma olemasolu kestel (kuni pool tundi) kiirata energiat 10^{32} — 10^{33} ergi. Piisab, kui ütleme, et kogu kromosfääri ja krooni poolt sama aja jooksul kiiratud energia on sellest väiksem. Seepärast ei saa teha oletust, et see energia on «laenatud» gaasilt, millest koosnevad Päikese pilved. Tema ainsaks allikaks võib olla päikeselaikude piirkonnas eksisteerivate magnetväljade annihilatsioon (kadumine).

Magnetväljad on ebastabiilsed ja vabastavad kergesti neis akumulbeerunud energia, mis tungib esile Päikese sügavamatest piirkondadest. Vabanenud energia avaldub tugevasti ioniseeritud gaasi kineetilise energiana ja lühilainekiirguse pahvakutena.

Arvatavasti pole te veel unustanud kahte kitsast «spektraalset akent», mille kaudu Maa atmosfäär laseb planeedi pinnale Päikese kiirgust?

Esimene neist on «optiline aken», mis vastab nähtavale spektriosale. Teine on palju laiem. See on raadiokiirgus lainepikkusega mõnest millimeetrist 30—50 meetrini. Nii-suguse «akna» kaudu kuulavad maapealsed raadioteleskoobid universumi häält.

Raadiokiirguse sünnitab Päikese ioniseeritud atmosfäär, kus vabade elektronide kontsentratsioon on küllalt kõrge selleks, et allpool asuvate kihtide raadiokiirgused peegelduksid tagasi ja neelduksid. Mistahes sagedusega raadiokiirgus võib tekkida kõrgemal selle sageduse jaoks kriitilisest tasemest.

Päikese sentimeetrilise diapsooniga raadiokiirgus tuleb meile kromosfäärist. Nimetatud asjaolu on väga tähtis, just kromosfäär on nende häirete allikas, millega Päike mõjutab Maa kõrgatmosfääri ja magnetvälja. Raadiokiirgus 3 kuni 30 sentimeetrit ongi Päikese aktiivsuse omapäraseks karakteristikuks.

Kui tahetakse teada Maa kõrgatmosfääris või magnetväljas esineva ühe või teise häire põhjust ja kui on alust «kahtlustamiseks», et selle allikaks võib olla Päike, siis võrreldakse häire muutumist Päikese raadiokiirgusega selles lainepikkuste diapsoonis. Ja see pole veel kõik. Valguse kiirusega leviv raadiokiirgus ennetab mistahes osakeste voo, hoiatades inimest «ohu» eest, mis ähvardab raadiosidet ja kosmoselende, nende magnetiliste tormide eest, mida osakeste vood enesega «kaasa toovad». Ja tõepoolest, häired tekivad ligikaudu päev pärast raadiokiirguse «hoiatust».

Meetrise diapsooniga raadiokiirgus saabub meile Päikese hõredamatest piirkondadest — kroonist, ja võimaldab määrata selle temperatuuri.

Veel pikemate lainetega raadiokiirgusi kutsuvad esile plasmavood Päikese kroonis, planeetidevahelises ja tähtedevahelises ruumis.

Nagu röntgeni- ja ultraviolettkiirguski, nii on ka selline raadiokiirgus väga muutlik ajas, sest ta tekib samuti Päikese dünaamilises atmosfääris. Vaadeldakse omapäraseid torme, raadiokiirguse pahvakuid. Mõningates neist

muutub raadiolainete pikkus järk-järgult. Seda seletatakse allika kiirgussageduse Doppleri nihkega.

Viimase mõistega ei ole me veel kohtunud. Doppleri nihke olemust kirjeldas üsna kujukalt ameerika astronoom D. Menzel.

Kujutleme, räägib ta, et kiirguse allikas ja vastuvõtja on armunud paarike, keda eraldab teatav vahemaa. Armastajad leppisid kokku, et üks neist, kelle käsutuses on piiramatu arv käskjalgu, kirjutab võrdsete ajavahemikkude järel kirju ja saadab need ära kulleritega, kes kõik liiguvad ühesuguse kiirusega. Kui saatja ja adressaat teineteise suhtes ei liigu, siis on loomulik, et kirjad saabuvad täpselt samade ajavahemikkude tagant, mis eraldavad kirjade saatmise momente.

Kujutleme nüüd, et armastajate vahemaa hakkab muutuma: saatja või adressaat, ükskõik kumb, eemaldub. Ja kohe hakkavad kirjad saabuma harvemini, olgugi et neid saadetakse endiselt samade ajavahemikkude järel. Nii-sugune aeglustumine kirjade saamise sageduses seletub asjaoluga, et tee, mida käskjalad läbivad, pidevalt suureneb. Pilt on vastupidine, kui saatja ja adressaadi vaheline kaugus hakkab vähenema.

Selgub, et kirjade saamise rütmi põhjal võib adressaat arvutada kiiruse, millega saatja eemaldub või temale läheneb. Ta teab kirjade hilinemise või varem saabumise aega, teab ka käskjalgade liikumise kiirust. Korrutades ühte suurust teisega, arvutab ta, kui palju suurenes või vähenes kaugus tema ja saatja vahel sel ajavahemikul, mis eraldab käskjalgade teeasaatmist.

Sama toimub raadiokiirguse registreerimisel. «Käskjalgadeks» on raadiolained, ajaks, mis eraldab «käskjalgade» teeasaatmist, periood, mille kestel toimub raadioside eemalduva või läheneva allikaga. Sel juhul osutub hilinemine või ennistamine «kirjade» saamise rütmis sageduste Doppleri nihkeks, mille järgi saab arvutada allika ja vastuvõtja vahelise kauguse muutumist. Kui raadiokiirguse sagedus muutub ühe kümnendiku võrra, siis tähendab see, et raadiokiirguse allikas ja vastuvõtja liiguvad teineteise suhtes kiirusega, mis võrdub kümnendikuga valguse kiirusest, teisiti öeldes, kiirusega kolmkümmend tuhat kilomeetrit sekundis. Kiiruse küllalt täpsiks mõõtmiseks on ilmselt vaja, et kiirataivate raadiolainete sagedus ei muutuks ehk, nagu räägitakse, sagedus

peab olema stabiilne. Antud juhul võivad selle järk-järgult sagedust muutva raadiokiirguse allikaks olla ainult oma liikumist kiirendavad plasmavood.

Päikeselt lähtuva pideva plasmavoo (nõndanimetatud «päikesetuule») ja mitmesuguse energiaga osakeste perioodiliselt tekkivat ebakorrapärast väljapaiskumist peetakse praegu tõestatud faktiks. Need vood levivad väga kaugele Päikesest. Neid võib vaadelda kui omapärast Päikese krooni jätkumist ja nad võivad ulatuda Maa orbiidini.

Kosmoserakettide abil on juba saadud esimesed eksperimentaalsed kinnitused plasmavoogude olemasolu kohta, kuid ees on veel palju tundmatut, eriti vähe on uuritud laetud osakesi, millel on väga väike energia.

KAS PÄIKE MÕJUTAB ILMASTIKKU?

Päikese uurimine on erakordselt tähtis ülesanne inimese maapealsete huvide seisukohalt. Ühed tema kiirgused kutsuvad esile ionosfääri häireid, magnetilisi torme, teised hoiatavad õigeaegselt nende häirete võimaliku tekkimise eest. On olemas palju praktilisi küsimusi, mille lahendamiseks tuleb tunda nende nähtuste seaduspärasust, nende mehhanismi. Neid tundmata ei saa läbi näiteks kaasaegne raadioside.

Kõikide atmosfääriliikumiste energia — see on Päikese muundunud energia. Enamik meteorolooge on praegu arvamusel, et meteoroloogilised protsessid, mida me tajume ilmamuutustena, ei sõltu Päikesest. Arvatakse, et nad ainult saavad Päikeselt energiat, mida siis «oma äranägemise järgi» kulutavad, alludes ainult seesmistele termohüdrodünaamilistele protsessidele. Niisuguse olemise aluseks on Päikese energiavoo konstantsus, eriti aga nimetatud voo selle osa konstantsus, mis saabub Maa pinnale ja antakse seejärel üle madalamale atmosfäärile.

Kuid ühenduses sellega teame, et Päikese tegevuses toimuvad perioodilised muutused. Kas need ei mõju mingil määral atmosfääriliikumistele? Mõned klimatoloogid otsivad niisugust mõju, kõrvutades mõningaid perioodilisi kliimamuutusi Päikese aktiivsuse muutumisega, püüdes statistika abil leida nõndanimetatud «heliogeofüüsikalisi seoseid». Selliseid kokkulangemisi õnnestub mõnikord avastada, kuid need ei ole küllalt kindlad ja räägivad osa-

liselt üksteisele vastu. Seepärast on praegu raske kõnelda seoste olemasolust ilmastiku- ning kliimamuutuste ja Päikese aktiivsuse muutumise vahel. Igal juhul tuleb sellele küsimusele veenva vastuse andmiseks kindlaks teha võimalikud füüsikalised mehhanismid, millega Päike võib madalatmosfäärile mõju avaldada...

Päikese mõju kõrgatmosfäärile ja Maa magnetväljale on see-eest kaheldamatu. Virraliste ja magnetiliste torvide sagedus sõltub rangelt Päikese aktiivsuse muutumisest.

Tehiskaaslaste abil oli võimalik kindlaks teha, et Päikese kiirguse muutudes muutub ka kõrgatmosfääri tihedus. See on arusaadav, sest kogu lühilaineline kiirgus, kõige muutlikum osa Päikese kiirgusest, neeldub ju kõrgatmosfääris, muutes selle temperatuuri ja ionisatsiooni.

Selgus näiteks, et atmosfääri tihedus muutub 27-ööpäevase perioodiga, s. t. ajavahemiku kestel, mil Päike teeb ühe täispöörde ümber oma telje, ja on Päikese ketta aktiivsete piirkondade ebaühtlase jaotuse tulemuseks. Tehiskaaslaste pidurdumiskiiruse mõõtmise põhjal avastati, et atmosfääri tiheduse muutumine sõltub Päikese aktiivsuse muutumisest.

*

Kõik, mida me teame Päikesest ning tema mõjust Maale, on kogutud pikaajaliste vaatluste tulemusena. Võib julgesti öelda, et tehiskaaslased ja kosmoseraketid ei ole veel kasutanud oma tohutuid võimalusi isegi tühisel määral, olgugi et nõukogude teadlased on nende abil saavutanud tähelepanuväärset edu.

Me räägime sageli, et tõeline edu Kuu ja teiste planeetide uurimisel saavutatakse alles pärast seda kui, piltlikult rääkides, inimene «puudutab» neid oma kätega. Ja see on tõepoolest nii.

Kahjuks ei saa me sama öelda Päikese kohta. Mitte ainult inimene, vaid ka automaatne aparaat muutuks gaasiks ammu enne Päikese nähtava pinnani jõudmist. Selle-eest võib Päike meile palju jutustada oma kiirgustega. Kuna need neelduvad Maa atmosfääris, korpuskulaarsed vood aga moonduvad Maa magnetväljas, siis tuleb aparaadid viia väljapoole Maa segava mõju piire.

Heliofüüsikaliste ja geofüüsikaliste protsesside sama-

aegne uurimine aitab tundma õppida nendevahelisi seoseid.

Selleks on vaja teostada kestvaid uurimisi. Rahvusvahelise Geofüüsika Aasta⁸ läbiviimine, kui algasid esimesed uurimised tehiskaaslastega, oli määratud kõige suuremale Päikese aktiivsuse perioodile. Tähendab, selleks et kindlaks teha, mil määral sõltuvad Päikesest kõrgatmosfääri tihedus ja temas kulgevad protsessid ning magnetvälja muutused, tuleb neid võrrelda suurustega, mis saadakse, kui Päikese aktiivsus muutub vähimaks. Seda tehtigi nõndanimetatud Rahuliku Päikese Aastal⁹.

See oli samaaegselt ka rahvusvaheline teaduslik üritus, mille kestel kümnete maade teadlased vaatlesid mitmesuguseid Päikese aktiivsusest sõltuvaid geofüüsikalisi nähtusi. Neid vaatlusi teostati ühtse programmi järgi, kooskõlastatud ajavahemikkudel, üle kogu maakera laiali paisatud arvukates jaamades.

Programmi teostamisel etendasid suurt osa kosmoseuurimised. Päikese lühilainelise kiirguse tundmaõppimiseks kasutati tehiskaaslasi. Kosmoseraketid mõõtsid Päikese poolt välja paisatud plasmavoogusid suurtes kaugustes Maast.

On kätte jõudnud vaatlusmaterjali üldistamise ja andmete analüüsimise aeg. Geofüüsikaliste nähtuste sõltuvus Päikese aktiivsusest aitab välja selgitada nende mehhanisme, see aga omakorda teenib nende nähtuste praktilise kasutamise eesmärke inimese vajadusteks ja aktiivseks vahelesegamiseks.

Praegu tundub niisuguse vahelesegamise võimalus fantastilisena, kuid kas ei tundunud veel viisteist-kakskümmend aastat tagasi fantastilisena ka Maa kunstliku kaaslaste ülesaatmine.

Aja jooksul, kui on juba lihtne määrata, kuidas mõjub Maale see või teine Päikese aktiivsuse avaldus, tekib nähtavasti vajadus spetsiaalse päikeseteenistuse loomiseks meie valgusallika igakülgseks ja pidevaks kontrollimiseks.

⁸ Vt. J. Rossi artiklit «Rahvusvahelisest Geofüüsika Aastast», Tartu Tähetorni Kalender 1957. — *Tõlk.*

⁹ Vt. Ü.-I. Veltmanni artikleid «Rahvusvaheline Rahuliku Päikese Aasta», Eesti Loodus nr. 6, 1964, «Lõppes Rahvusvaheline Rahuliku Päikese Aasta», Eesti Loodus nr. 1, 1966 ja Ch. Villmanni artiklit «Rahvusvahelise Rahuliku Päikese Aasta teaduslikud ülesanded», Tartu Tähetorni Kalender 1965. — *Tõlk.*

Seda teostatakse muidugi maapealsete ja aerostaatiliste vaatlustega, Maa tehiskaaslaste ja tehisplaneetide abil, mis muutuvad atmosfääritagusteks astronoomiaobservatooriumideks.

Spetsiaalne päikeseteenistus on tähtis ka kosmoselendude kavandamisel. Surmatoov kiirgus, mis täidab planeetidevahelist ruumi pärast Päikese loiteid, võib tehnika kaasaegse taseme juures osutada ületamatuks takistuseks. Tähendab, tuleb õppida ennustama Päikese loiteid, õppida koostama ohutute navigatsiooniperioodide graafikut.

Niisuguste ennustuse lihtsaim vorm lähtub Päikese aktiivsuse tundmisest. Rahuliku Päikese periood on sobivaim aeg kosmoselendudeks. Nõukogude teadlased teatavasti juba kasutasid edukalt end õigustanud meetodeid Päikese kontrollimiseks ja tema tegevuse ennustamiseks nõukogude kosmonautide kestvate kosmoselendude ettevalmistamise ja teostamise ajal.

Päike pole ainus kiirgusallikas. Mõnikümmend aastat tagasi avastati fantastiliselt kõrge energiaga osakesed. Neid vaadeldi nii Maa pinnal, suures sügavuses maa ja vee all kui ka kõrguses, milleni oli jõudnud inimene. Osakeste intensiivsus suurenes kõrgusega. See viis mõttele, et nende allikas asub kosmoses. Nad ilmusid ühtlaselt ööpäeva mistahes ajal ja mitmesugustest suundadest. Tähendab, neid ei saanud panna mingi üksiku taevase allika arvele ...

Osakesi hakati nimetama kosmilisteks kiirteks.

Nende kiirgus pakkus suurt huvi tuuma- ja astrofüüsikale. Kuid see kiirgus, mida vaadeldi Maa pinnal, ei olnud kosmiline selle sõna täielikus mõttes — siia jõudsid ainult «killud», mis tekkisid esialgsete kosmiliste osakeste kokkupõrkel Maa atmosfääri osakestega.

Selleks et uurida primaarset kosmist kiirgust, oleks tarvis tõusta võimalikult kõrgele. Spetsiaalsed jaamad mägedes ja aerostaatidel ülessaadetud aparaadid probleemi loomulikult ei lahendanud. Nii ühel kui teisel juhul jäi mõõteaparatuurist kõrgemale veel küllalt paks atmosfäärikiht, mille läbimine osutus jõukohaseks ainult tehiskaaslastele ja kosmoserakettidele.

Kosmiliste kiirte voo intensiivsus on väga väike, seepärast ei avalda nad iga üksiku osakese erakordselt suurele energiale vaatamata Maa atmosfäärile praktiliselt mingit mõju ning ei kujuta enesest ohtu inimese lendudele. Seepärast pakub nende uurimine palju vähem huvi kui Päikese kiirguse uurimine.

Hiljuti avastati, et kosmilised kiired tekivad ka Päikesel tugevate loidete ajal.

Kosmilised kiired, nagu igasugune muu kiirguski, kannavad eneses looduse poolt kodeeritud andmeid oma lähte-

¹⁰ Vt. I. Kuusiku artiklit «Kosmilisest kiirgusest», Tartu Tähetorni Kalender 1958. — *Tõlk.*

allikate kohta. Sellepärast tunnevadki teadlased nende vastu praegu erilist huvi: on ju kiirguse analüüs esialgu ainus viis tähtede ja udukogude saladustesse tungimiseks. Inimese või automaatjaama lend nende juurde jääb ikka veel fantastika valdkonda, vaatamata kaasaegse kosmose- tehnika grandioossetele edusammudele. Pealegi ei piisa mõne üksiku tähe uurimisest. On vaja teada nende tekki- mise saladust, kõiki nende arengu staadiume, kõiki prot- sesse, mis on seotud aine olemasoluga universumis. Seda pole võimalik saavutada, kui uurida ainult üksikuid tähti või udukogusid. Nende arenguprotsessid kulgevad liiga aeglaselt isegi inimkonna evolutsiooniga võrreldes. Pole võimalik saata rakette ka kõikide tähtede juurde korraga, isegi kui see muutuks reaalseks. Tähendab, ka siis jätka- vad oma teenistust kosmilised kiired ja elektromagnetili- sed kiirgused, mis saabuvad meile kõikjalt. On ainult tar- vis osata neid dešifreerida.

SÜNDMUSTE TAHTMATUD TUNNISTAJAD

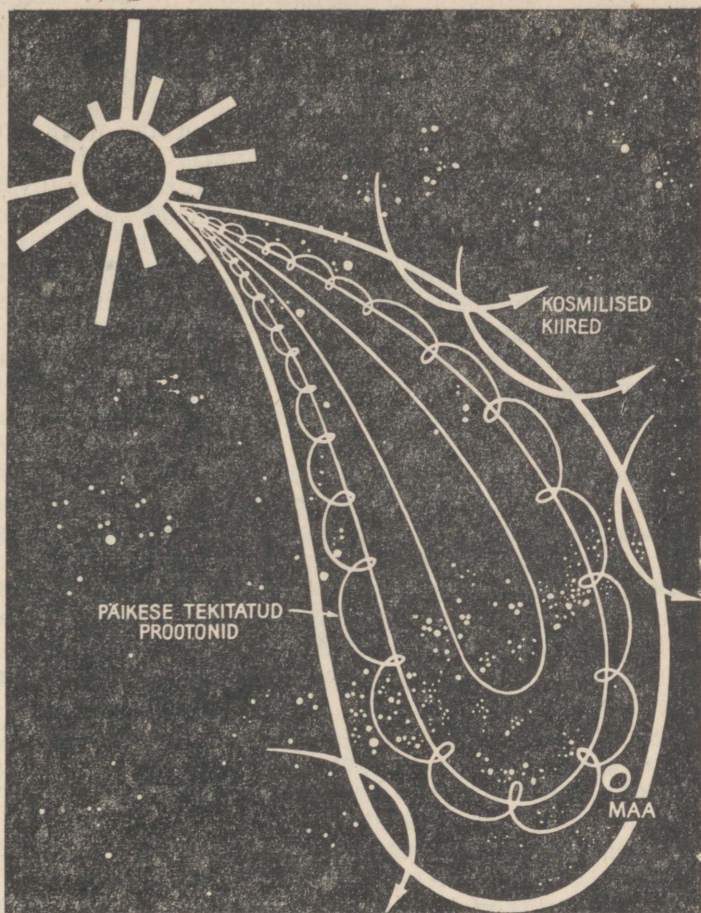
Kosmilised kiired sisaldavad eneses informatsiooni mitte ainult allika kohta, mis neid kiirgab. Mõnikord või- vad nad jutustada ka sellest, mida nad kohtasid oma teel.

Näiteks selgus, et maapinnani jõudnud kosmilise kiir- guse muutusi ei saa seletada Maa magnetvälja mõju ja häiretega, vaid et need olid tekkinud juba varem, seoses Päikese magnetilise aktiivsusega, mõned muutused aga ka seoses üksikute Päikesel vaadeldavate nähtustega. Pri- maarsete kosmiliste kiirte voo intensiivsuse muutumist nimetatakse «modulatsiooniks».

On veel üks argument, mis räägib selle kasuks, et kos- miliste kiirte modulatsioon on tingitud Päikesesüsteemi sisemistest protsessidest: muutused toimuvad liiga kiiresti, mistõttu neid ei saa seletada mingisuguste galaktiliste protsessidega.

Andmetest, mis koguti automaatse planeetidevahelise jaama «Marss 1» lennu ajal, selgus, et väga kaugel Maa orbiidist eksisteerivad palju suurema intensiivsusega kii- red, kui need, mida registreerisid esimesed kosmilised raketid.

«Marss 1» lennu tulemused on huvitavad selle poolest, et nad kuuluvad Päikese aktiivsuse vähenemise aega.



Loite puhul Päikeselt väljapaiskunud plasmapihv ulatub pika keelena planeetidevahelisse ruumi. Pilvesse on «sisse külmunud» magnetväljad, mille tõttu suur osa Päikese tekitatud kosmilistest kiirtest on suletud «magnetpudelis» (nende liikumine piki jõujoont on kujutatud spiraalina). Ka galaktikast tulevatel kosmilistel kiirtel pole kerge läbida magnetvälju. Seepärast ongi sel ajal, kui Maa juhtub asetsema «magnetpudeli» sees, märgata mõningat galaktiliste kosmiliste kiirte voo vähenemist.

Tähendab, sel ajal kosmiliste kiirte intensiivsus Maa-lähedases ruumis pisut suurenes.

Võib oletada, et kosmilise kiirguse üldvoog väljaspool Päikesesüsteemi, kuhu plasmavood ja nende magnetväljad ei ulatu, on palju intensiivsem kui Maa orbiidi piirkonnas. Kosmiliste kiirte Päikesest sõltuvate variatsioonide näiteks on ka niinimetatud Forbushi efekt — kiirte intensiivsuse järsk langus umbes päev pärast mõningaid suuri loiteid. Niisuguseid nähtusi vaadeldakse üheaegselt kogu maa-keral ja nad võivad olla vahetult seotud ainult kosmiliste kiirte voo modulatsiooniga, mida kutsuvad esile päikesetekkelised magnetväljad.

Primaarsete kosmiliste kiirte voog väheneb seejuures kiirusega kolm või enam protsenti tunnis, relativistlikkude osakeste (valguse kiirusele lähedaste kiirustega osakesed) intensiivsuse üldine kahanemine saavutab kolmkümmend ja enam protsenti. Seejärel intensiivsus taastub aeglaselt — ühe- või kaheööpäevase poolperioodiga, suurenedes selle aja jooksul ligikaudu pool üldisest vähenemisest, s. t. umbes viisteist protsenti.

Need muutused sõltuvad osakeste energiast palju vähem kui modulatsioonid, mille periood on üksteist aastat. See tähendab, et mitterelativistlike kiirustega osakeste intensiivsuse muutused on umbes samasuguse iseloomuga, kusjuures sõltuvus on seda väiksem, mida võimsam oli loide. Mitmesuguse energiaga osakeste intensiivsuse vähenemist ajas peaaegu ei eristata. Kõik see eeldab, et modulatsiooni füüsikaline mehhanism on ühtemoodi efektiivne mistahes energiaga osakeste puhul.

Kuna need intensiivsuse kahanemised on heas kooskõlas Päikese loidetega ja hilinevad tavaliselt üks või kaks päeva, siis võib oletada, et nimetatud nähtused arenevad Maa lähimas ümbruskonnas ning igal juhul mitte kogu tema orbiidi poolt haaratud ruumis.

Kui eeldada, et Päikese aktiivsuse miinimumi ajal eksisteerivad planeetidevahelises ruumis ainult väljad, mis ei põhjusta kosmiliste kiirte voo muutusi, siis jõuab Maani seesama relativistlike (aga võib-olla ka osaliselt või täielikult mitterelativistlike) osakeste voog, mis eksisteerib ka väljaspool Päikesesüsteemi.

Siis vaatleme Maal Päikese aktiivsuse maksimumi ajal ainult neid osakesi, mis suutsid läbida planeetidevahelise ruumi magnetvälju. Need väljad transformeerisid vasta-

vält selle voo — «moduleerisid» ta ja heitsid temast välja väiksema energiaga osakesed.

Käesoleva ajani on püstitatud palju hüpoteese päikese-tekkeliste magnetväljade mõju all olevate kosmiliste kiirte intensiivsuse ja energetilise spektri mitmesuguste muutuste kohta.

Väikeste, kahekümne nelja tunniliste variatsioonide põhjuseks peetakse kitsast plasmavoogu, mis kannab temasse «kinni külmunud» magnetvälja.

Kosmiliste kiirte teel Maale võivad esineda korrapärad magnetväljad, mida on planeetidevahelisse ruumi kandnud plasma. Sel juhul peavad kiired «difundeeruma», vaevaga läbima selle piirkonna, mis põhjustab intensiivsuse vaadeldavat kahanemist. Kui kogu Maa asetseb nii-suguses piirkonnas, siis väheneb loomulikult ka kõikidest suundadest tulev kiirgus.

Viimasel ajal on saadud tõendeid selle kasuks, et magnetväljadel, mis kutsuvad esile äärmisel juhul 11-aastase perioodiga primaarsete kosmiliste kiirte voo muutumist, on heliotsentriline iseloom, et kogu Maa orbiidi poolt haaratud planeetidevahelise ruumi piirkond on omapärane plasmavoogusid hajutav «lääts», mida läbivad (ja muudavad seejuures oma intensiivsust) kosmilised kiired.

Järskude intensiivsuse muutuste olemasolu, eriti aga fakt, et selle vähenemine ei sõltu osakeste kiirusest (või «magnetilisest jäikusest») sunnib oletama, et eksisteerivad mõned väga tugevate magnetväljadega piirkonnad.

KAS ON VÕIMALIK UURIDA PÄIKESEPLASMA VOOGUSID?

Plasmavood avastati esmakordselt aparatuuriga kosmoseraketil, mis lasti välja Kuu suunas 1959. a., hiljem Veenuse suunas lähetatud raketiga ja ameerika kosmoserakettidega.

Kuid planeetidevahelist ruumi täitvate plasmavoogude üldkarakteristikute uurimisel saab kasutada ka kosmilisi kiiri, eriti nende muutumist seoses Päikese aktiivsuse muutumisega, üksikute voogude kuju jne. Seega kujutavad kosmilised kiired omapäraseid looduslikke sonde, mis uurivad magnetvälju Päikesesüsteemi planeetidevahelises ruumis.

Tõsi, uurida neid on raske. Praegu on teadmata, kui suurt takistust kujutab endast Maa magnetväli ja selle häired. Oletatakse, et kosmiliste kiirte süstemaatiline registreerimine maapinnast eemal, väljaspool tema tugevat magnetvälja, võimaldaks nagu «näha» korpuskulaarsete voogude liikumist planeetidevahelises ruumis, niisamuti nagu lainete järgi veepinnal võib mõnikord jälgida sügavuses liikuvat keha. Eriti oleks see võimalik siis, kui samal ajal registreerida kosmiliste kiirte järel teatavatest suundadest tulevaid osakesi. Kuna aga suure energiaga osakesed tungivad vabalt läbi väga paksude ainekihtide, siis siin mingit suunda teiste osakeste ekraneerimise teel eraldada on praktiliselt võimatu isegi siis, kui arvestada, et kõige tundlikumaks magnetväljade ja plasmavoogude indikaatoriks on kosmilised osakesed suhteliselt «väikese» energiaga — umbes 50 miljardit elektronvolti. Väljapääs võib leiduda ainult nende osakeste uurimises, mida registreeritakse samaaegselt teineteisest mõningale kaugusele ja vajalikus suunas eemaldatud loendajate paariga.

Muidugi, niisugused uurimised on alles kauge perspektiiv: aparaat oleks väga keeruline ning niisugused eksperimendid kestaksid liiga kaua. Käesoleval ajal jäävad tõenäoliselt üsna kasulikeks Maa peal kosmiliste kiirte variatsioonide tundmaõppimine ja uurimised, mida teostatakse kõrgeaerostaatide abil.

Seevastu on praegu tingimata vajalik korpuskulaarvoogude ja magnetväljade uurimine, mida saab teostada ja teostataksegi planeetidevaheliste jaamade ning «kosmosesondide» abil. Need annavad absoluutselt usaldusväärset materjali kosmiliste kiirte voo modulatsiooni kohta ja võimaldavad kindlamalt «lugeda» neid teateid planeetidevahelisest ruumist, mis on šifreeritud kosmiliste kiirte voo muutustes.

JUHUS TULEB APPI

Eespool mainisime juba, et kosmilisi kiiri võib tekitada Päike. Selgub, et neid saab kasutada Päikeselt väljapaisatavate plasmapiilvede ja sinna «kinni külmunud» magnetväljade tundmaõppimiseks.

Kosmilisi kiiri, mis tulid meile universumist ja mida kutsus esile Päike, uurisid ameerika tead-

lased 1960. aastal. See oli võimalik tänu mitme asjaolu õnnelikule kokkusattumisele.

Sel ajal asus Päikesesüsteemi seismises osas väga kaugel Maast kosmoserakett «Pioneer 5» ja töötas ühe seeriasse «Explorer» kuuluva tehiskaaslase aparatuur. Nii tehiskaaslane kui ka kosmoserakett olid spetsiaalselt ette nähtud planeetidevahelises ruumis plasmavoogude ja magnetväljade uurimiseks.

Samal ajal — 30. märtsist kuni 1. aprillini ja 10. kuni 19. novembrini 1960. aastal — tekkis Päikesel kaks loidete seeriat, mis olid erakordselt soodsad planeetidevahelise ruumi uurimiseks. Need olid «kahekordsed»: ühes ja samas piirkonnas tekkisid üksteisele järgnevad loited, mille tulemusena paiskusid planeetidevahelisse ruumi plasmapilved (neid registreeriti nii Maal, tehiskaaslasel kui ka kosmoseraketil); seejärel uuriti suure energiaga prootoneid (mille registreerimise järgi, kõrvuti tavaliste kosmiliste kiirte registreerimisega, võib otsustada varem väljapaiskunud plasmapilvede magnetväljade omaduste üle). Nende loidete vaatluste analüüsi tulemusena töötati välja huvitavad füüsikalised skeemid.

Kas mäletate, et kromosfääri loite puhul, mis tekib tavaliselt päikeselaigu piirkonnas, toimub kiirguse pahvak ja mitmesuguse energiaga osakeste väljapaiskumine? Kui loide on pööratud Maa poole, siis ulatuvad kiirgus ja plasmavood Maa ümbruskonda. Erinevus on ainult selles, et lühilaineline ja raadiokiirgus, mis levivad kiirusega umbes 300 000 kilomeetrit sekundis, jõuavad Maale ligikaudu 8 minuti pärast, plasmapilved aga, mis levivad kiirusega 1600 kilomeetrit sekundis, saabuvad Maale umbes ööpäev pärast loite algust.

Plasmavoogude koguenergia moodustab vähem kui miljondiku osa kiirgusest Päikese spektri nähtavas osas, kusjuures see on põhiliselt akumulunud magnetväljades. Osakeste eneste kineetiline energia on tunduvalt väiksem nende poolt kaasas kantavate magnetväljade energiast.

Laikude piirkonnas, kus toimuvad loited, on magnetväljad väga tugevad — ligikaudu tuhat korda tugevamad Maa magnetväljast. Mingil viisil on nad seotud ka loidete tekkimisega. Kui aga niisugused loited tekivad ja plasmapilved suunduvad Maale, siis viivad nad kaasa ka magnet-

väljad, mis plasma kõrge juhtivuse tõttu näivad justkui temasse kinnikülmunuina. Seega põhjustab pilve paisumine magnetvälja jõujoonte «väljavenimist» radiaalselt Päikesest.

Vastavalt pilve paisumisele langeb välja tugevus, kuid moodustab isegi Maa ümbruses ligikaudu ühe tuhandiku — ühe kümnetuhandiku Maa magnetvälja tugevusest. Planeetidevahelistes mastaapides on see tähelepanuväärne suurus, umbes 10—100 korda suurem tavalise välja tugevusest planeetidevahelises ruumis.

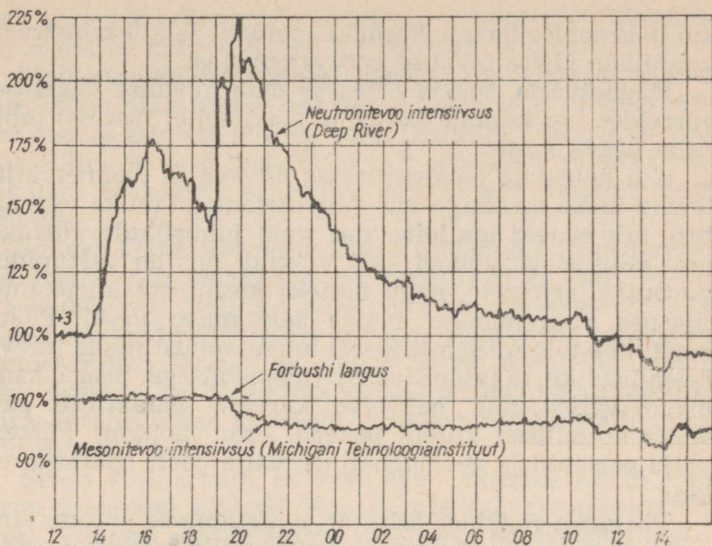
Niisuguse tugevusega magnetväljad Päikese ja Maa vahel on suureks takistuseks teiste osakeste voogudele. Vood, mis tungivad varem välja paiskunud pilvesse tagantpoolt, tõugatakse pilve väljas liikuvate osakeste nõndanimetatud Larmori raadiuse¹¹ võrra tagasi. Kui antud energiaga osakestel on see suurus tunduvalt väiksem pilve vähimast mõõtmest, siis ei suuda nad tema piiridest läbi tungida.

Nii näiteks on väljas tugevusega 10^{-4} gaussi liikuvatel prootonitel, mille energia on miljon elektronvolti, Larmori raadius ligikaudu kümme tuhat kilomeetrit, see aga on väga väike suurus, võrreldes plasmapiilvede mõõtmetega, mis haaravad ruumi Päikesest Maani ja kaugemale. Niisugused osakesed ei suuda pilve piiridest läbi tungida.

Isegi kosmiliste kiirte tavalistel osakestel energiaga miljardi elektronvoldi ümber on Larmori raadius suurusjärgus miljon kilomeetrit, mis moodustab vähem kui sajandiku osa pilve mõõtmetest. Tähendab, ka niisugused osakesed peaksid tagasi peegelduma. Suure energiaga kosmilised osakesed on võimelised tungima ka pilve sisse, kuid missugune osa neist läbi suudab tungida, see sõltub välja tugevusest.

Järelikult võib kosmiliste kiirte registreerimisel Maal oodata, et sel ajal, kui Maa satub plasmapiilve, väheneb kosmiliste kiirte intensiivsus seda enam, mida suurem on pilv ja mida suurem on temasse «kinni külmunud» magnetvälja tugevus.

¹¹ Larmori raadiuse all mõistetakse raadiust ringjoonel, mille kirjeldab laetud osake, liikudes ümber magnetjõujoonte. Matemaatiliselt on Larmori raadius määratud valemiga $R = v \cdot \frac{mc}{eH}$, kus v on osakese kiirus risti magnetväljaga, e — tema laeng, m — mass, H — magnetvälja tugevus, c — valguse kiirus. — R. P.



Hääletut tormi, mis tekkis Maa-lähedases ruumis üksteisele järgnevate loidete tulemusena 11.—21. novembrini 1960. aastal, registreeriti mitte ainult kosmoses, vaid ka Maal. Varsti pärast 3+ klassi loidet kasvas kosmiliste kiirte voog (ülemine kõver), galaktilise päritoluga kiirte voog samal ajal vähenes (alumine kõver). Neutronite voo järsku suurenemist võib seletada asjaoluga, et hakati registreerima kosmiliste kiirte seda osa, mis asus esimese loitega välja paisatud plasmapiilve poolt kujundatud «magnetpudelis».

Niisugune kosmiliste kiirte intensiivsuse vähenemine avastati umbes kakskümmend aastat tagasi ja nimetati teatavasti Forbushi languseks. Selle vähenemise füüsikalisi põhjusi hakati uurima alles hiljuti — eriti raske oli kindlaks teha, kas seda põhjustab Päikese tegevus või tema poolt esile kutsutud häired Maa magnetväljas.

«Pioneer 5», mis asetses loite ajal Maast umbes 5 miljoni kilomeetri kaugusel, registreeris kosmiliste kiirte voo intensiivsuse languse umbes samal ajal, kui seda märgati ka Maal. Viimane asjaolu annab põhjust arvata, et selle nähtuse mehhanism on heliotsentriline. «Pioneer 5» pardale paigutatud magnetomeeter näitas aga planeetidevahelise magnetvälja tugevuse märgatavat suurenemist momendil,

kui plasmapiilv haaras kosmoseaparaadi ja kui registreeriti kosmiliste kiirte tavalise voo vähenemist.

Magnetvälja tugevus kasvas oma tavalise väärtusega võrreldes ligi kümme korda ja püsis sellel tasemel umbes kahe päeva kestel.

Kui nõustuda päikeseplasma pilvede ja magnetväljade leviku ühise skeemiga, siis võib oletada, et on ka teisi nähtusi, mis ei teki iga loite ajal, vaid juhuslikult. Niisugusteks nähtusteks võivad olla efektid, mis on vastupidised Forbushi langusele, nagu näiteks kosmiliste kiirte intensiivsuse suurenemine nende tekitamise arvel Päikese poolt, mis toimub samaaegselt universumist meile tulevate kosmiliste kiirte intensiivsuse vähenemisega. Seega, samad magnetväljad, mis heidavad kõrvale galaktilise päritoluga kosmilised kiired, peavad kinni hoidma Päikeselt välja paisatud ja geomagnetilise välja poolt haaratud osakesi.

Piltlikult rääkides kujutab plasmapiilves «kinnikülmunud» magnetväli «magnetpudelit», mille seinad on selleks küllalt «tugevad», et välised kosmilised osakesed ei saaks sisse ja juba sinna sattunud osakesed välja tungida. Kosmilised osakesed võivad sellesse «pudelisse» sattuda ainult loite piirkonnas oleva «kaela» kaudu.

Maapealsed vastuvõtjad registreerivad umbes saja miljoni elektronvoldise energiaga osakeste voo intensiivsuse järsku kasvu siis, kui Maa ise asub «magnetpudeli» sees. Seevastu, kui Maa on väljaspool «pudelit», ei registreeri aparaadid mingit intensiivsuse kasvu, või siis äärmisel juhul vaid väikest suurenemist, mis on esile kutsutud suure energiaga prootonite aeglasest «imendumisest» läbi «pudeli seina».

Seda kõike silmas pidades pöördume tagasi nende nähtuste vaatlemise juurde, mis õnneliku juhuse tõttu kulgesid just «Pioneer 5» ja «Exploreri» spetsiaalse aparatuuri töötamise ajal.

Niisiis, loite ajal, mis toimus 1960. aasta märtsis, asetes «Pioneer 5» peaaegu Maa ja Päikese vahelisel ühendussirgel umbes viie miljoni kilomeetri kaugusel Maast, «Explorer» liikus aga orbiidil ümber Maa 1900 kilomeetri kaugusel.

Loide kestis ligi neli tundi, aga pisut vähem kui ööpäev hiljem algas Maal magnetiline torm, millega kaasnes primaarsete kosmiliste kiirte intensiivsuse langus. Seda

registreeris ka «Pioneer 5» detektor. Plasmapilve liikumise kiirus ulatus kahe tuhande kilomeetrini sekundis.

Ligikaudu kolmkümmend kaheksa tundi pärast esimese loite lõppu algas teine, mis kestis kolm ja pool tundi. Sel ajal haaras esimese loitega välja paisatud plasmapilv juba Maa. Teine loide oli aga erinevalt esimesest allikaks väga jäikadele osakestele energiaga umbes sada miljonit elektronvolti.

Selleks ajaks, kui need jäigad osakesed olid genereeritud, haaras plasmapilv juba «Pioneer 5» ja ka Maa või, teisisi öeldes, nad asetsesid selle pilve «magnetpudelis». Just need prootonid registreeris kiirguse väga järsu pahvakuna kosmoseraketi aparatuur varsti pärast seda, kui toimus teine loide ja kui oli registreeritud primaarsete kosmiliste kiirte intensiivsuse Forbushi langus, mille oli esile kutsunud esimene loide.

Seega võib arvata, et teise loite tekitatud kõrge energiaga prootonid liikusid Maa juurde esimese plasmapilve sees, saabudes siia ligikaudu tund aega pärast loite algust. Algul avastati need prootonid selle tõttu, et nad kutsusid polaarpiirkondades esile raadiolainete tugeva kustumise.

Kui prootonid energiaga sada miljonit elektronvolti liiguksid otse Maa poole, siis jõuaksid nad temani ligikaudu kaheksateistkümne minuti pärast. Tähendab, magnetväli esimese loite poolt tekitatud pilves pikendas prootonite lennuaega Päikeselt Maale umbes kolm korda.

See võimaldab teha kaks järeldust.

Esiteks, osakeste lennukestuse suurenemine on tingitud nähtavasti sellest, et nende liikumise trajektoor peab olema spiraalne. Osakeste liikumise mehhanismist magnetväljas räägime veel täpsemalt. Aeglustumise astme järgi võib otsustada, et tugevus magnetväljas, milles suure energiaga osakesed liikusid, peab olema ligikaudu kümme või sada tuhat korda nõrgem Maa magnetvälja tugevusest.

Teiseks on oluline, et prootonitel, vaatamata nende liikumise aeglustumisele pilves, on Maani jõudes ikka veel küllalt suur energia. Seda võib lugeda tõestuseks asjaolule, et magnetväli tõe poolt on seotud oma alusega loite piirkonnas ja et magnetvälja jõujooned tulevad Maa ümbruskonda ligikaudu radiaalsuunas.

Kõik see leidis aset 1960. aasta novembris, kui Maa asetses jäikade prootonite kiirgumise ajal väljaspool «magnetpudelit» ja plasmapilv jõudis temani pisut hiljem. Aja-

vahemikul 10. kuni 15. novembrini tekkis Päikesel kaks teineteisele järgnevat loidet, mis olid viimase viie aasta jooksul toimunutest kõige tugevamad (pärast 1956. aasta veebruari). Kuna aga Päikese aktiivsus selle aja jooksul langes, siis võib arvata, et enne uue maksimumi algust on tugevamaid loiteid vaevalt oodata. Kui nii, siis oli nimetatud juhus seda õnnelikum.

Sündmused kosmoses arenesid noil päevil järgmiselt. Algul toimus oma mõõtmetelt suhteliselt väike loide. See ei tekitanud suure energiaga prootoneid, kuid paiskas välja plasmapiilve, mis eemaldus Päikesest suhteliselt aeglaselt — kiirusega umbes 800 kilomeetrit sekundis. Ligi kaudu kolmekümne kaheksa tunni pärast jõudis see Maa ümbruskonda ja kutsus esile magnetstormi. Kaks tundi hiljem registreeriti ka Forbushi langus.

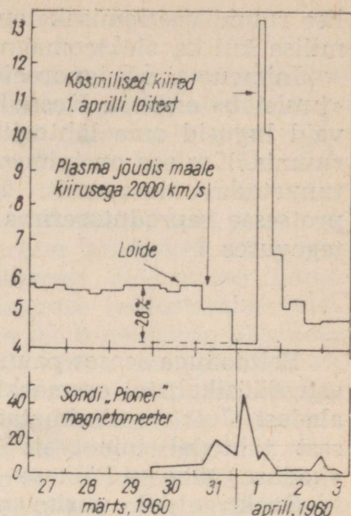
Kaks ja pool ööpäeva pärast esimese loite algust toimus samas piirkonnas teine, seekord väga suur loide, mis kestis kuus tundi. Loite ajal tekkisid Päikese kosmilised kiired — väga suure energiaga prootonid. Mõni tund enne Forbushi languse algust hakkas kosmiliste kiirte intensiivsus kasvama, seejärel aga jälle langema. Selle kutsusid esile Päikese tekitatud suure energiaga prootonid, mis «lipasid välja» Maast veel kaugel asuvast pilvest ja levisid planeetidevahelises ruumis väljaspool «magnetpudelit», mille seintest nad olid «läbi imbunud». Niipea kui Maa sattus pilve sisemusse ja algas nende kosmiliste kiirte intensiivsuse kahanemine, mida polnud tekitanud Päike, registreeriti uus — veel suurem Päikese kosmiliste kiirte pahvak. Umbes tunni aja pärast hakkas selle intensiivsus aeglaselt alanema.

Sündmuste järjestuse võrdlemine näitab, et kosmiliste kiirte teise pahvaku kutsusid esile Päikese prootonid, mis levisid plasmapiilves, «magnetpudeli» sees.

Nagu eelmisel juhulgi, võis nende osakeste teadaoleva energia ja aja järgi, mis neil kulus Maani jõudmiseks, otsustada plasmapiilve «kinni külmunud» magnetvälja tugevuse üle. Seejuures kujutas Maa nagu omapärast kosmoselaeva, mis võimaldas plasmapiilve uurida teatud kaugel Päikesest. Päikese kosmilised kiired olid aga mikrosondideks, mis jutustasid üldistest omadustest pilve nendes seesmistes alades, mis täitsid ruumi Päikese ja Maa vahel.

Veel hiljuti võis näida, et inimesel pole oma praktilises

Joonisel on kõrvutatud kosmilise kiirguse intensiivsuse muutused, mis on registreeritud suure energiaga osakeste loendajaga, ja kosmosesondile «Pioneer 5» paigutatud magnetomeetri näidud. Päikese loide toimus 30. märtsil 1960. aastal. Umbes ööpäeva jooksul jõudis temalt välja paiskunud plasmavoog Maa ümbrusesse, kutsudes esile kosmiliste kiirte voo intensiivsuse vähenemise. Magnetomeeter registreeris samal ajal magnetvälja tugevuse suurenemist. Esimesel aprillil toimus samas piirkonnas teine loide, mis põhjustas suure energiaga osakeste detektori loendamiskiiruse järsku tõusu.



maapeelses tegevuses mingit kasu neist pisikestest osakestest, mis kujutlematult suure kiirusega kihutavad läbi universumi.

Praegu ei või enam teha ennatlikke järeldusi. Teaduse ajaloos on palju kordi juhtunud, et avastused, mis näisid täiesti kasutuna, leidsid ootamatult praktilise rakenduse. Nii on see ka siin. Nagu nägime, õppis inimene «küsitlema» kosmosesaadikuid, et teada saada, mis toimub nende «suures kodus» — Päikese süsteemis. Tõsi, nende jutustus pole veel eriti arusaadav, sest inimene ei valda täielikult «keelt», milles temaga vesteldakse. Ees seisavad uued teoreetilised tööd magnethüdrodünaamika ja kosmilise ruumi plasmafüüsika alal, ees on tehiskaaslaste ja kosmoseraketide abil läbiviidavad laialdased eksperimentaalsed uurimised, mis edukalt ja intensiivselt arenevad eriti viimastel aastatel. Nii üks kui ka teine täiendab kosmiliste kiirte poolt toodavaid teateid, aitab neid paremini mõista.

Kuid kas ei lange ära vajadus taolisteks uurimisteks pärast seda, kui kosmosesondid alustavad oma regulaarseid lende planeetidevahelises ruumis?

Tõenäoliselt mitte. Raske on uskuda, et sonde saab olema nii palju, et mistahes väikeses ruumiosas leiduks igal ajamomendil kas või üks neist. Kogu planeetidevahe-

lise ruumi vaatlemiseks on nagu varemgi tarvilik nii kosmilise kui ka elektromagnetilise kiirguse analüüs.

Inimene ei või ignoreerida neid «hääli», millega loodus «jutustab» enesest. Kosmilised kiired võivad vesta haara-vaid lugusid oma lähteallikaist ja rännakuist maailma-ruumis. Kas see on inimesele vajalik? Muidugi. See aitab tunnetada universumit, õppida looduselt neid või teisi protsesse reprodutseerima ja kasutama oma praktilises tegevuses.

„TABAMATUD“ OSAKESED

Eeltooduga seoses pakub suurt huvi võimalus kasutada astrofüüsikalistel eesmärkidel kaasaja füüsika üht uutest aladest. Jutt on niinimetatud neutriinokiirguse kasutamise-
st tähtedel toimuvate protsesside ja kõigepealt meie «koduse» tähe — Päikese — uurimiseks.

Spektraalsed uurimismeetodid võimaldavad tundma õppida protsesse Päikese pinnal ja selle kohal, s. o. neis piirkondades, mis on elektromagnetilisele kiirgusele läbi-
paistvad. Raadiokiirgused on suutelised tungima läbi pak-
sude ainekihtide, seepärast annab nende uurimine teateid nähtavast kihist pisut sügavamalt, võimaldades nagu eemaldada pindmist katet.

Kui aga võrrelda raadiokiirguse suhtes läbipaistva kesta paksust Päikese üldmõõtmetega, siis selgub, et sees-
mised kihid, kus tegelikult tekibki energiavoog, milles «supleb» meie planeet, on otseseks eksperimentaalseks uurimiseks kättesaamatud. Ka on võimatu suunata sinna aparatuuri otseste uurimiste teostamiseks, sest see muutub auruks juba ammu enne Päikeseni jõudmist.

Tähendab, olukord on lootusetu? Kõik järeldused Päi-
kese ehitusest ja temas toimuvatest protsessidest tuleb teha ainult spekulatiivselt, loogilisel teel, lähtudes meile teada olevatest andmetest Päikese ja aine tuumamuun-
duste kohta?

Nii igatahes näis veel üsna hiljuti. Uued võimalused avanesid alles pärast tähelepanuväärse tuumaosakese — neutriino — avastamist, mille olemasolu nagu antiosakes-
tegi puhul tehti kindlaks teoreetiliselt.

Neutronite radioaktiivsel lagunemisel tekivad kaks hästi tuntud osakest — prooton ja elektron. Kuid osutus, et selle juures «rikutakse» energia jäävuse seadust — lagu-

nemisproduktide energia oli väiksem, kui eeldati arvutuste kohaselt.

Energia ei saa kaduda. Jäi vaid oletada, et selle viib ära mingi tundmatu osake. Kuna see osake pidi olema laenguta, siis nimetati ta «neutriinoks» (täpsemalt, neutronite lagunemisel tekib antineutriino). Itaalia keeles tähendab see samaaegselt «neutraalne» ja «tabamatu». Seega määras nimetus täiesti täpselt osakese põhiomadused.

Selleks et teha kindlaks neutriino juuresolek, oli tarvis sundida teda astuma vastastikusse mõjustusse mingi ainega ja katsuda avastada niisuguse mõjustamise tulemusi. Kuid tänu oma omadustele läbib neutriino häireteta kolossaalseid ainemassiive. Tema vaba tee pikkust või keskmist kaugust, mille vältel neutriino kihutab mingis aines, põrkumata selle osakestega, märgitakse tohutute arvudega — miljonite miljardite kilomeetritega, mis vastab kaugusele Maast tähtedeni ning seejuures mitte kõige lähemateni. Tähendab, kui suurem osa meie Galaktikast oleks täidetud mingi tiheda ainega, siis tungiks neutriinovoog ka sel juhul temast läbi.

Loomulikult ei saa Päikese mistahes kihi paksus olla takistuseks neutriinode voole, ja kui õpiksime neid registreerima, siis võiksime saada andmeid ka protsessidest, mis kulgevad Päikese tsentraalsetes piirkondades.

«Tabamatute» osakeste avastamise meetodid töötati siiski välja! Algul õnnestus avastada ainult võimsaid neutriinoallikaid: mõned tuumareaktorid tekitavad «tabamatute» osakeste voo, mis langeb ühe ruutsentimeetri suurusele pinnale ja omab intensiivsust kuni kümnekond miljardit osakest ühes miljardiksekundis. Vastastikusse mõjustuses vesinikku sisaldava ainega kutsub see voog esile tuumamuundusi, mille tulemusena tekivad neutronid. Muunduste arv pole suur — umbes 100 terve tonni aine kohta, kuid see-eest on nendeprodukte võrdlemisi kerge avastada. Nii tõestatigi mõistatuslike osakeste olemasolu.

Neutriinovoog aga, mis saabub meile Päikeselt, on palju nõrgem sellest, mis kunstlikult luuakse reaktorites. Kirjeldatud meetod võimaldab registreerida osakeste voogu tihedusega mitte vähem kui miljard miljardit osakest ruutsentimeetrile sekundis, Päikeselt oodatav neutriinovoog on aga tuhat korda väiksem.

Nimetatud ülesande lahendamine muutus reaalsemaks

alles pärast seda, kui õnnestus «kaasa tõmmata» veel üks tuumareaktsioon neutriino osavõtul. Osutus, et tema ja kloori ühe isotoobi vastastikusel mõjustamisel saadakse argooni isotoobi tuum ja üks elektron. Neid osakesi on juba võimalik avastada olemasolevate meetoditega.

Kui kasutada traditsioonilist astronoomiaalast terminoloogiat ja nimetada neutronkiirguse avastamise instrumenti «teleskoobiks», siis tuleks meil mõnekümne tonni süsiniktetrakloriidiga (CCl_4) reservuaari nimetada «teleskoobi» objektiiviks. Ta võimaldaks näha objekte, mis kiirgavad neutriinovooge intensiivsusega «ainult» 10 miljardit osakest ruutsentimeetrile sekundis. Niisugune tundlikkus pole veel küllaldane, kuid seda on täiesti võimalik suurendada.

Koos neutriinovooga mõjustab «objektiivi» aga ka teiste osakeste voog, mis samuti kutsub temas esile tuumamuundusi. Neutriinovoogu on võimalik eraldada, tuginedes ainult tema erakordsele läbimisvõimele. Kui «objektiivi» ette asetada mõnesaja või -tuhande meetri paksune ekraan, siis seda ei läbiks mingid teised osakesed peale neutriino. Nende voog oleks usaldusväärset puhastatud igasugustest «lisanditest».

Kuidas aga luua sellist ekraani?

Kas see ülesanne on kaasaja tehnikale jõukohane?

Ülesanne pole jõukohane, kuid, nagu selgub, pole ka vajadust spetsiaalse ekraani ehitamiseks. See on looduses juba olemas. Ekraanina võib edukalt kasutada Maad... Teisiti öeldes, kui vaadelda Päikest mitte Maa pinnalt, vaid mingi šahti sügavusest, s. t. läbi Maa paksu massiivi, siis võib «näha» just neid Päikese piirkondi, kus toimuvad reaktsioonid, mille puhul tekivad neutriinod. Pinnase ja kivimite suur massiiv muutub antud juhul lihtsalt astrofüüsikalise instrumendi «detailiks». Päikese vaatlusi võib seejuures teostada mitte ainult päeval, vaid ka öösel — läbi maakera kogu massiivi. Ekraani paksuse suurenemine tuhandete kilomeetriteni ei oma olulist tähtsust.

Muidugi, neutriino-astronoomia on veel uus teadusala ja just seepärast väärrib ta kõige tähelepanelikumat uurimist.

Neutriino-astronoomiat saab kasutada mitte ainult Päikese tundmaõppimiseks.

Antiosakeste olemasolu võimalikkus on praegu tõestatud nii teoreetiliselt kui ka eksperimentaalselt. Kõrvuti

tavalisest materiasest koosnevate maailmadega peavad eksisteerima ka antiainest maailmad, mis väliselt ei erine esimestest millegi poolest. Neid oleks võimalik avastada siis, kui saaks vaadelda ainet ja antiainest tähtede või galaktikate kokkupõrget. Kuid need on hajutatud nii suurtele kaugustele, et selliste põrkumiste tõenäosus on erakordselt väike, seda enam et inimkonna kogu ajalugu on vaid hetk universumi ajaloos.

Siin võibki appi tulla neutriino-astronoomia. Kui ta asub üksikute tähtede ja galaktikate tundmaõppimisele ja avastab, et nendest või teistest objektidest saabub meile tavaliste osakeste voost erinev antineutronite lagunemisele omane osakeste voog, siis ongi tõestatud «antimaailmade» olemasolu.

Inimmõistuse tungimine maailmaruumi sügavusse on ühtlasi tungimine materia sügavusse, megamaailma uurimine on ühtlasi ka mikromaailma uurimine ja vastupidi.

Kui laetud osake liigub magnetväljas, siis mõjuvad temale loomulikult needsamad kõrvalekallutatavad jõud, mis vooluga juhtmelegi, kui see asetada magnetvälja.

Osakese liikumise trajektoor sõltub magnetvälja tugevusest ja osakese kineetilisest energiast ehk, teisiti öeldes, tema liikumise kiirusest. Kui kiirus on suur, magnetväli aga suhteliselt nõrk, siis trajektoor lihtsalt pisut kõverdub. Selle näiteks on kosmilised kiired, mille trajektoor ainult veidi kõverdub Maa magnetvälja mõjul. Just sellepärast nimetatakse suure energiaga osakesi mõnikord jäikadeks.

Kuid me teame juba, et põhiline osa Päikese korpuskulaarkiirgusest koosneb palju väiksema kineetilise energiaga osakestest. Kuidas need käituvad, sattudes magnetvälja? Selgub, et selline osake saab liikuda vaid spiraalsel trajektoorigi piki magnetvälja jõujoont ehk, nagu öeldakse, ta võib liikuda end «magnetvälja jõujoonele peale kerides». Kui niisugune joon moodustab kinnise rõnga, siis tsirkuleerib osake mööda seda rõngast nii kaua, kuni ta kaotab oma energia mingi kokkupõrke tagajärjel. Osake on sattunud lõksu...

Võimalust hoida osakesi teatava kindla konfiguratsiooniga magnetväljas kasutasid teadlased laialdaselt ka plasma füüsikaliste omaduste uurimisel. Need on nõnda nimetatud «magnetpudolid», millest oli juba juttu.

Reaalsetel magnetväljadel on kõige sagedamini dipooli iseloom — jõujooned väljuvad neis lehvikutaoliselt ühest poolusest ja suubuvad koonduva kimbuna teise. Kuidas mõjutab osakese liikumist jõujoonte lähenemine üksteisele pooluse juures? Ta aeglustab oma liikumist nagu sukeldudes elastsesse keskkonda, peatub hetkeks ja alustab siis spiraalset kiirendatud liikumist piki sedasama jõujoont, aga vastupidises suunas. Magnetväli nagu tõukaks teda tagasi. Teisele poolusele lähenemisel toimub seesama, ja

nii lõputult, või täpsemalt, nii kaua, kuni osake kaotab oma energia näiteks teiste osakestega kokkupõrkamisel.

Tähendab, ka dipoolsed magnetväljad on laetud osakestele püünisteks.

Magnetpüüniste mehhanismi tuntakse juba ammu. Meie sajandi alguses tulid teadlased virmalisi kirjeldades järeldusele, et Maa magnetväli võib endaga haarata osakesi, ja isegi demonstreerisid seda mudelil.

Maa magnetväljal on samuti dipoolne iseloom. Tähendab, ka tema võib olla püüniseks teatud osakestele, mis on laetud küllalt suure energiaga. Selles polnud kahtlust, ja ometi jäi kiirgusvööndite olemasolu saladuseks kuni esimeste tehiskaaslaste ja kosmoserakettide väljasaatmiseni. Raske on niisugust teaduse «hooletust» millegagi seletada. Tõenäoliselt libises see küsimus teadlaste tähelepanust välja, aga võib-olla oli tollal ka liiga vähe andmeid Päikese poolt kiiratavate osakeste — selle «materjali» kohta, mis täiendab osakeste varu Maa magnetpüünises.

VÖÖNDID PLANEEDI ÜMBER

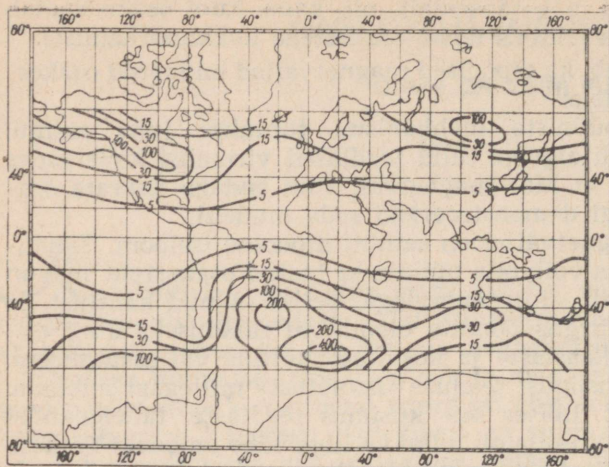
Kiirgusvööndid avastati praktiliselt üheaegselt nõukogude ja ameerika uurijate poolt.

Nõukogude sputnikute orbiidid olid madalamad, kuid suurema kallakuga ekvaatori tasapinna suhtes, ameerika tehiskaaslaste kõrgetel orbiitidel oli aga ekvaatori suhtes väiksem kalle. Vastavalt sellele näitasid teisele ja kolmandale nõukogude sputnikule paigutatud osakeste loendajad kiirguse intensiivsuse järsku suurenemist polaarliustel, ameerika tehiskaaslaste «Explorer 1» ja «Explorer 3» loendajad aga «lämbusid» orbiidi apogee lähedal ja hakkasid jälle normaalselt töötama väiksematel kõrgustel.

Algul tundus see mõistatuslikuna: andmed justkui rääkisid üksteisele vastu.

Kui tehiskaaslaste väljasaatmiseni võis oletada, et eksisteeris suure energiaga osakestega täidetud magnetpüünis, siis polnud absoluutselt mingit alust eeldada kahe või mõningate andmete kohaselt kolme kiirgustsooni olemasolu. Isegi praegu jääb magnetvälja poolt anastatud osakeste mitmeks vööndiks ehk tsooniks jaotumine raskesti seletatavaks faktiks.

Kui püstitati oletus kahe vööndi olemasolu kohta, siis



Kiirguse intensiivsuse geograafiline jaotus 306—339 kilomeetri kõrgusel (teise satelliitlaeva andmetel 19.—20. augustil 1960. aastal). Jooned ühendavad punkte, kus suure energiaga osakeste voo intensiivsus on ühesugune. Paistab silma, et kiirguse intensiivsus suureneb ekvaatorist kaugenemisega. See on tingitud välise kiirgusvööndi harude lähenemisest Maale. Suure intensiivsusega kiirguse mõned piirkonnad on seotud Maa magnetvälja kohalikkude anomaaliatega, kus toimub nagu magnetjõujoonte paindumine planeedi pinna suunas. Just seepärast saavad magnetvälja poolt kinni püütud ja piki tema jõujooni liikuvad suure kiirusega osakesed läheneda Maale.

sai selgeks, et nõukogude tehiskaaslased läbisid välise kiirgusvööndi polaarse ülahaaru, kuna samal ajal ameerika tehiskaaslaste orbiit haaras sisemise kiirgusvööndi alumise ääre.

Oletus leidis kinnitust, niipea kui kosmoseraketid läbisid kogu kiirgusvööndite massiivi. Ootamatult suur edu sai osaks ameerika teadlastele raketi «Pioneer 3» väljasaatmisel Kuu suunas. Rakett ei jõudnud sihile, kuid see-eest lõi kas läbi kiirgusvööndid ja, eemaldudes 107 000 kilomeetriteni, hakkas langema tagasi Maale piki trajektoori teist haru, teostades kiirgusvööndite sondeerimist mitte ainult trajektoori tõusval, vaid ka laskuval osal.

Järgmised lennud võimaldasid täielikumalt selgitada kiirgusvööndite ehitust, nende muutumist ajas, selgitada

magnetvälja poolt anastatud osakeste olemust ja mõõtanende osakeste energiat.

Suurt osa etendasid selles nõukogude satelliitlaevad, mis uurisid kosmoselennu ettevalmistamise käigus detailselt kiirgusvööndite alumisi piire.

Veelgi varem tehti kindlaks, et vööndid paiknevad Maa suhtes mõningal määral ekstsentriliselt: läänepoolkeral maapinnale lähemal, idapoolkeral — kaugemal. See selektub magnetdipooli tsentri nihkega Maa tsentri suhtes.

Aparatuur, mis oli paigutatud teisele ja kolmandale laevspuutnikule, võimaldas uurida kiirgusvööndite sisepinna «reljeefi». Ja selgus, et kiirgusvööndid kordavad erakordselt täpselt magnetvälja iseloomu. Suurte magnetanomaaliate rajoonides leiab aset justkui magnetvälja jõujoonte paine, ohtliku vööndi pind läheneb Maale. Eriti märgatav on see Lõuna-Atlandi kohal, Brasiilia planetaarse magnetanomaalia rajoonis. Siin läheneb kiirgusvöönd Maale umbes 300 kilomeetrit.

Esimeste mõõtmiste tulemused lubasid väita, et seesmine kiirgusvöönd ulatub umbes 3000 kilomeetrit maapinnast ning koosneb suhteliselt suure energiaga prootonitest — kuni sada miljonit elektronvolti. Need osakesed kujutavad kosmoselendudele vahetut kiirgusohu. Neist tuleb püüda mööda minna või siis lennata kiirgusvöönditest läbi nii kiiresti kui võimalik. Seesmine vöönd on võrdlemisi stabiilne: tema mõõtmed, koostis ja ka osakeste energia aja jooksul praktiliselt ei muutu.

Väline vöönd algab pärast väikest «vahemaad», mille avastasid esimesed tehiskaaslased ja kosmoseraketid. Tema kiirguse intensiivsuse maksimum on umbes kahekümne tuhande kilomeetri kaugusel ja ulatub viiekümne kuni kuuekümne tuhande kilomeetrit. Seal on registreeritud elektrone energiaga 30 000—1 500 000 elektronvolti ¹², kuid magnetiliste mõõtmiste materjalid annavad põhjust arvata, et sellès vööndis leidub ka prootoneid. Väline vöönd, eriti tema välisservad, pole stabiilne; vööndi piirjooned, osakeste intensiivsus ja energia muutuvad ajas tugevasti, kusjuures need muutused on heas kooskõlas Päikese aktiivsuse muutumisega.

¹² Pärast USA poolt 9. juulil 1962. aastal Johnstoni saare kohal suures kõrguses teostatud tuumaplahvatust võib välises vööndis leida elektrone energiaga kuni seitse miljonit elektronvolti. — R. P.

Enamiku välise vööndi osakeste energia on suhteliselt väike, seepärast ei kujuta nad vahetut kiirguseohtu kosmoselendudele, vaatamata voo suurele intensiivsusele. Nende eest on end kerge kaitsta suhteliselt õhukese ekraaniga. Raskem on kaitset leida nõndanimetatud «pidurdava» röntgenikiirguse eest, mis tekib välise vööndi kiirete elektronide pidurdumisel kosmoselaeva väliskesta aines. Seepärast on inimestel ka välises kiirgusvööndis võimatu kestvamalt viibida.

Nõukogude kosmoserakettide abil teostatud mõõtmised annavad põhjust oletada ajas erakordselt stabiilsete laetud osakeste kolmanda vööndi — välise vööndi omapäraste narmaste — olemasolu. Kuna osakeste voo intensiivsus selles on küllaltki suur, aga energia väike, siis ei ole ta eriti ohtlik. Raske on praegu otsustada, kas ta etendab mingit osa geofüüsikalises mõttes, kuid tema uurimine pakub tõenäoliselt suurt huvi magnetvälja laetud osakeste haardemehhanismi eksperimentaalse uurimise seisukohalt.

Maa-lähedase ruumi piirkond, milles asetsevad Maa magnetvälja poolt haaratud osakeste vööndid, sai nüüd nimetuse magnetosfäär. Tema tundmaõppimises on suur panus nõukogude teadlastelt. Resultaate, mis on saadud nõukogude kosmoserakettide abil, kinnitavad ka ameerika uurimismaterjalid.

Välise vööndi maksimumi rajoonis avastasid nõukogude raketid magnetvälja tugevuse languse. Kaugusel kaks kuni seitse Maa raadiust avastati ka «Explorer 10» abil magnetväli pingega umbes sada gammat; kaugusel kümnest kahekümne raadiuseni eksisteerib väli pingega 10 kuni 20 gammat. Viimane on suunatud radiaalselt Päikesega ja liitub Maa alalise magnetväljaga. Kaugusel üle kahekümne Maa raadiuse muutub magnetväli suuruselt ja suunalt ebastabiilseks. Nimetatud muutlikkusega on tihedalt seotud positiivsete osakeste vood, mis on avastatud neissamades piirkondades. Voogude intensiivsus on umbes kümme miljardit osakest ruutsentimeetrile sekundis, osakeste eneste energia on aga suhteliselt väike — pisut üle 500 elektronvoldi. Need on juba tegelikult päikeseplasma vood neisse kinni külmunud magnetväljadega, millest oli juttu eespool. Oma teel pörkavad nad kokku Maa magnetväljaga ja kutsuvad selles esile häireid.

Praegu on meile tähtis vaadelda üksikasjalikumalt kiirgusvööndeid, neid suhteliselt stabiilseid moodustisi, mis on

omased Maale enesele. Automaatjaama «Luna 1» poolt avastatud magnetvälja tugevuse langus välise vööndi piirkonnas räägib sellest, et siin peab olema stabiilne voolusüsteem. Mis võib selle esile kutsuda?

Rääkides magnetpüünisesse langenud osakeste liikumisest, ei meenutanud me üht iseärasust. Osakesed ei jää kuitahes kauaks ühele ja samale magnetvälja jõujoonele. Toimub osakeste nõndanimetatud triivimine, mille tulemusena elektronid nihkuvad itta, prootonid aga läände.

See tähendab, et kui geomagnetilise välja mingist punktist oleksid välja paisatud elektronid ja prootonid, siis leviksid need kiiresti mitte ainult ühele, vaid kõigile jõujoontele, moodustades kunstliku kiirgusvööndi võrdlemisi õhukese kesta näol. Niisuguseks laetud osakeste allikaks võib olla aatomiplahvatus. 1958. aasta augustis teostasidki ameeriklased niinimetatud «eksperiment Arguse».

See kinnitas teoreetilisi kujutlusi laetud osakeste liikumise mehhanismist magnetväljas ja kutsus esile kunstlikke võimalisi varem ennustatud kohas, kuid ei andnud midagi selle nähtuse füüsikalise mehhanismi tundmaõppimiseks. Eksperimendi peamine eesmärk oli sõjaline — välja selgitada kunstliku vööndi mõju teda läbivatele kosmoseaparaatidele ja aatomilaengutele ning leida ballistiliste raketite vaatlusradarite ekraaneerimise viise.

Samasugune eksperiment, ainult suuremates mastaapides, viidi Ameerika Ühendriikide poolt läbi 9. juulil 1962. aastal.

Seekord tekkis palju intensiivsem kunstlik vöönd, mis eksisteerib juba pikemat aega, ohustades kosmonautide lendusid suurtes kõrgustes ja kahjustades ka kosmilise ruumi uurimist. Oletatakse, et selle vööndi osakeste mõjul läksid rikki seadmed mitmel ameerika aparaadil, sealhulgas ka Kuule saadetud kosmoseaparaadil «Ranger 2», televisioonisatelliidil «Telestar» ja teistel. Ajakirjanduses on ära toodud arvutustulemused, mis näitavad, et selle plahvatuse tagajärjed avaldavad mõju veel kahekümne aasta jooksul.

On ilmne, et taolised eksperimendid toovad kasu asemel vaid erakordselt suurt kahju, rääkimata sellest, mida nad etendavad relvastumise võidujooksus.

Maa kiirgusvööndeid on uurinud paljud teadlased, kümned tehiskaaslased ja kosmoseraketid on võimaldanud saada andmeid nende struktuuri muutuste kohta, neile on pühendatud suur hulk teaduslikke töid. Vaatamata kõigele sellele on lõplikult selgitamata üks peamistest küsimustest: mil viisil tekivad kiirgusvööndid, missuguseid osakesi (pidades silmas päritolu) ja kuidas nimelt haarab magnetväli?

Eksisteerib kaks hüpoteesi.

Esimese järgi on laetud osakeste allikaks Päike. Seda kinnitab välise kiirgusvööndi mõõtmete ja osakeste voo intensiivsuse tihe sõltuvus Päikese aktiivsusest. Tundmatuks jääb aga füüsikaline mehhanism, mille abil magnetväli anastab osakesed Päikesest väljapurskuvast plasmast.

On avaldatud arvamust, et osakesed võivad magnetvälja tungida plasmapiilvede magnetvälja ja Maa magnetvälja omapäraste pörkumiste tulemusena. Võimalik, et haaratakse suhteliselt aeglasi osakesi, mida kiirendatakse juba haardeprotsessis.

Nii või teisiti, kuid eksperimentaalseid andmeid ning isegi selle nähtuse küllalt täielikku ja usaldatavat matemaatilist mudelit pole olemas, kuigi pole kahtlust, et väline vöönd koosneb põhiliselt Päikese-tekkelistest osakesetest.

Magnetväljas akumulierenud laetud osakeste teise võimaliku allikana osutatakse «neutronite albeedole» ehk «kosmiliste kiirte albeedole».

Selle olemus peitub järgnevas. Kui primaarse kosmilise kiirguse osakesed pörkuvad atmosfääri sattudes selle osakestega, siis tekib terve kaskaad sekundaarseid osakesi, mille hulgas on ka neutronid. Olles elektrilaenguta läbivad nad vabalt magnetvälju, ja need, mille kiirus on Maast eemale suunatud, läheksid takistamatult tagasi kosmilisse ruumi, kui nende eluiga poleks liiga lühike.

Neutronite lagunemisel tekivad prootonid, elektronid ja antineutriinod. Protoni ja elektroni haarab magnetväli otsekohe, nagu see toimus ka suures kõrguses teostatud tuumaplahvatuste korral ning nagu see toimub iga laetud osakesega, mis satub magnetvälja.

Seesmisel vööndis vaadeldavate osakeste koosseis ja nende energeetiline spekter vastab teatud määral neutronite radioaktiivse lagunemise hüpoteesile.

«Neutron-hüpoteesi» korral on anastamise mehhanism teada, ebaselgeks jääb aga teine küsimus — kas väikese intensiivsusega kosmiliste kiirte neutronite lagunemine suudab tagada osakeste vaadeldavat kontsentratsiooni seesmises vööndis. Kuid miks räägime ainult seesmisest vööndist? On raske oletada, et järsult muutlik väline vöönd kujuneb ainuüksi ajaliselt enam-vähem konstantse kosmiliste kiirte voo albeedo arvel. Ja kui see olekski nii, kas ei saaks siis järske muutusi välises vööndis seletada Päikese aktiivsuse muutustega.

Muidugi, kui registreerida osakeste intensiivsuse kestvaid muutusi seesmises kiirgusevööndis Päikese aktiivsuse täieliku või äärmisel juhul poole tsükli kestel ja kõrvutada neid sama ajavahemiku jooksul toimunud primaarsete kosmiliste kiirte voo muutustega, mis on tingitud kosmiliste kiirte voo modulatsioonist, siis võiks see olla «neutron-hüpoteesi» õigsuse kontrollimise võtteks.

Täpselt samuti võiks talitada siis, kui vaatleme kiirguse intensiivsuse muutumist seesmises vööndis pärast Päikese loidet. Primaarse kosmilise voo modulatsioon planeetidevaheliste magnetväljade toimel võib samuti mõjutada seesmise vööndi kiirguse intensiivsust. See aga omakorda kinnitaks «neutron-hüpoteesi» õigsust.

Eeltoodud hüpoteesid puudutasid kiirgusvööndite osakeste «bilansi tuludeartiklit». Kuna aga osakesi tuleb pidevalt juurde, nende üldhulk aga jääb ligikaudu konstantseks, siis peab toimuma ka osakeste äravool kiirgusvöönditest.

Selline äravool toimub siis, kui laetud osakesed kaotavad energiat kokkupõrkel gaasiosakestega. Viimaste kiirus kokkupõrke tulemusena suureneb, mis tegelikult avaldub gaasi kuumenemises. Kiiruse kaotanud laetud osakest magnetväli aga enam kinni ei hoia.

Muidugi, suurim osakeste äravool esineb seal, kus kiirgusvööndid lähenevad tihedale atmosfäärile, näiteks magnetanomaaliate piirkonnas ja peamiselt polaarpiirkondades. Seepärast on avaldatud arvamust, et virmalised, või vähemalt mõned nende erijuhud, kujutavadki atmosfääris oma energia kaotanud ja tema helendumist esile kutsunud osakeste äravoolu kiirgusvöönditest.

On kindlaks tehtud, et virmaliste sagedus ja intensiivsus tõuseb järsult, kui Päikese korpuskulaarsed vood lähe-



Päikeselt loidete ajal välja paiskunud suure energiaga laetud osakesed on sunnitud liikuma piki magnetvälja jõujooni ja tungivad atmosfääri kõige kergemini polaarrajoonides. Madalamates laiustes võivad nad oma liikumist aeglustades tagasi pöörduda. Nende liikumise trajektoorid on joonisel kujutatud pideva lainelise joonega. Laenguta neutronid jõuavad Maani, läbides magnetvälja tema mistahes punktis (sirged punktiirjooned).

nevad Maale. Samal ajal väheneb kiirguse intensiivsus välises vööndis.

Võib arvata, et voogu «kinni külmunud» magnetväljade pörkumine Maa magnetväljaga põhjustab geomagnetilise välja jõujoonte «painet». Need jooned «sukelduvad» madalamatesse atmosfäärikihtidesse, kus neile «istutatud» osakesed kaotavad atmosfääriosakestega kokku pörkudes kiiremini kui tavaliselt oma energia ning hülgavad magnetpüünise, kutsudes esile virmalisi ja kõrgatmosfääri mõninga soojenemise.

Muide, välismaal avaldati arvamust, et tugev tuumaplahvatus kosmoses võib viia... kiirgusvööndite hävimisele. Selle aluseks oli väide, et niisuguse plahvatuse plasmas peavad eksisteerima võimsad magnetväljad, mis kutsuvad esile geomagnetilise välja jõujoonte «paine» ja «uputavad» need atmosfääris, kus nad vabanevad kõigist neile «istutatud» osakestest. Uued osakesed aga, mis triivivad nende asemele, kaotaksid samuti oma energia. Kui selline «paine» püsiks küllalt kaua, siis väheneks vööndite kõigi osakeste kiirus ja nad läheksid nagu omapärase «äravoolurenni» kaudu atmosfääri.

Nagu teada, oli USA poolt teostatud võimsa tuumaplahvatuse tulemus hoopis vastupidine. Võimalik, et esineski joonte teatud «paine» ja varem eksisteerinud osakeste voo intensiivsuse mõningane vähenemine, kuid ühtlasi oli see plahvatus ise kolossaalse hulga uute osakeste allikaks. Magnetväli haaras nad otsekohe ja kujunes uus, kunstlik vöönd.

Viimasel ajal kaheldakse tõsiselt selles, et virmalisi kutsub esile osakeste äravool kiirgusvöönditest. Osutus, et magnetvälja poolt anastatud kõikide osakeste energia on täiesti ebapiisav isegi suhteliselt nõrkade virmaliste tekitamiseks.¹³ Kui aga virmalisi kutsuvad esile osakeste väga võimsad vood, miks siis mitte oletada, et nimelt nende voo-
gude teatava hulga osakeste arvel toimubki kiirgusvööndite varude täiendamine? Niisugune hüpotees on püstitatud, ent viis, kuidas osakesed püünisesse tungivad, jääb endiselt saladuseks.

¹³ Välises kiirgusvööndis tehtud mõõtmistest selgus, et ka sel juhul kui kõik elektronid peaksid sukelduma atmosfääri (s. o. väline vöönd tühjeneks täiesti), oleks tulemuseks ainult pooltunnise kestusega virmalised. — R. P.

Ühenduses sellega luuakse praegu ka teisi hüpoteese, mis panevad kahtluse alla mitme isoleeritud ja oma füüsikalise olemuse poolest erineva vööndi olemasolu. Arvatakse, et tegelikult eksisteerib üksainus gigantne vöönd, milles eemaldumisega tihedast atmosfääriosast järk-järgult muutub prootonite ja elektronide hulk ning energia. Selle vööndi mistahes piirkonnas võib leida osakeste energia diapasoni, kus nende kontsentratsioon on suurem kui ükskõik millises teises piirkonnas. Seesmise ja välise vööndi avastamine pole muud midagi kui mõõteaparatuuri ebatäiuslikkuse tulemus. See registreeris ainult teatud osakesed, jäädes tundetuks teiste suhtes.

Kas see on nii, seda näitavad edaspidised uurimised ja juba olemasolevate andmete töötlemine. Vaatamata hüpoteesi tõepärasusele, kasutatakse ka edaspidi termineid «seesmine», «väline» ja «kolmas» kiirgusvöönd, kuna need nimetused on muutunud teatud mõttes traditsiooniliseks.¹⁴ Võib juhtuda, et nimetused säilivad isegi sel juhul, kui viimane hüpotees leiab kinnitust. Siis võib neid kasutada magnetosfääri teatud piirkondade tähistamiseks, täpselt samuti nagu nimetusi «mered» omistatakse Kuu pinna teatud piirkondadele, kuigi juba ammu on kõigile teada, et nendes «meredes» pole tilkagi vett.

KIIRGUSVÖÖNDITEST SOLTUB NII MÖNDAGI

Välist vööndit võib pidada omapäraseks laetud osakeste «vahepealseks reservuaariks» nende teel Päikeselt Maale. Selle vööndi ulatus sunnib mõtlema, et niisugune «reservuaar» võib koguda, anastada ja Maa poole suunata osakesi suurest ruumalast.

Kui see on nii, siis peaks Maa magnetväli mitmekordselt suurendama korpuskulaarset kiirgust, üht Maa atmosfääri energiabilansi artiklitest. Tähendab, kiirgusvööndite tähtsus geofüüsikalises mõttes võib olla küllalt suur.

Oletati, et anastatud osakesed kutsuvad esile öötaeva helendumise ja kõrgatmosfääri kuumenemise. Peale selle, esimese nõukogude kosmoseraketi abil saadud andmed sunnivad mõtlema, et väline vöönd, täpsemalt osakeste

¹⁴ Kolmanda vööndi eristamine välisest valmistab raskusi, sest ta on viimasega geneetiliselt seotud. Seepärast on praegu traditsiooniliseks muutunud ainult kahe vööndi — sisemise ja välise — eristamine. — R. P.

maksimaalse intensiivsuse piirkond temas, seletab geomagnetiliste tormide peafaasi mehhanismi.

Nimetatud järeldusi kinnitavad osakeste energia ja magnetpüümisest äravoolamise kiiruse hinnangud. Koos sellega on kõikide nende nähtuste mehhanismi täielikuks mõistmiseks, selle osa mõistmiseks, mida neis mängivad magnetvälja poolt anastatud osakesed, vajalik kiirgusvööndite ja kõrgatmosfääri edaspidine uurimine, mida võib teostada kosmoseaparaatide abil.

Orbiidile viidud tehiskaaslastega, mis on eemaldunud umbes Maa viie raadiuse kaugusele, saaks määrata kohta, kus laetud osakesed tungivad virmaliste ajal magnetvälja. Võib-olla saaks ka määrata mitmesuguste osakeste trajektoore, nende vahetu registreerimine kiirgusvööndis virmaliste ajal aga võiks tuua selgust selle nähtuse mehhanismi.

Nendes uurimistes kuulub suur osa ka geofüüsikalistele kõrgrakettidele.

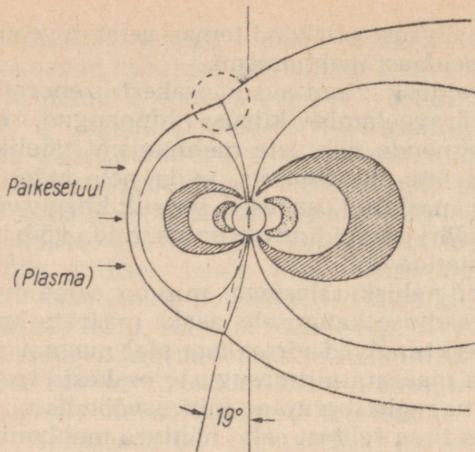
Tehiskaaslastega uuritakse vaid suuremõõtmelisi ebaühtlusi välises kiirgusvööndis. Seejuures ei võimalda nende suur liikumiskiirus eristada stabiilseid suuremõõtmelisi ebaühtlusi muutustest ajas. Suhteliselt väikese kiirusega geofüüsikaliste rakettidega saab uurida ka väikesi ebaühtlusi ehk, nagu väljendatakse, kiirgusvööndite peenstruktuuri.

Selles osas on kõige vähem uuritud osakeste energiaspektrit mõnekümnest tuhandest elektronvoldist kuni mõne elektronvoldini. Niisuguste osakeste jaotus ruumis on samuti teadmata.

Erilise tähtsusega on siin väikese energiaga osakeste voo mõõtmise eksperimendid, mida sooritas «Sputnik 3». Nende eksperimentidega avastati geoaktiivsete osakeste võimas voog energiaga 10 kiloelektronvoldi ümber. Tänu tehiskaaslasel asuvale magnetomeetrile õnnestus uurida ka selle voo orientatsiooni magnetvälja suhtes. Ilmnes, et tegemist on anastatud osakeste vooga, mis nihkub aeglaselt piki magnetvälja jõujooni, sattudes ionosfääri välis-tesse piirkondadesse.

Hiljem uuriti geoaktiivsete osakeste vooge seeriasse «Kosmos» kuuluvate tehiskaaslastega, mida hakati üles saatma 1962. aastal.

Probleemi edaspidine uurimine on erakordselt tähtis, kuna oletatakse, et suhteliselt väikese energiaga osakesed avaldavad Maa atmosfäärile suurt mõju.



Maa-lähedase ruumi piirkonda, milles asuvad geomagnetväli ja selle poolt kinni püütud osakekestest moodustunud kiirgusvööndid, nimetatakse magnetosfääriks. Joonisel näeme «päikesetuule» mõju magnetosfäärile. «Päikesetuul» on plasmavoog, mis levib koos temasse «kinni külmunud» magnetväljadega Päikeselt planeetidevahelisse ruumi.

Kosmose uurimine võimaldas avastada kiirgusvööndeid, kosmose uurimine aitab neid ka tundma õppida ja selgitada nende osatähtsust geofüüsikaliste nähtuste üldises kompleksis.

Nagu juba mainitud, kujutavad kiirgusvööndid tõsist ohtu kosmoselendudele. Seepärast on Maa-lähedastel orbiitidel toimuvate lendude ohutuse tagamiseks vaja teada vööndite, eriti nende alumise ääre piirjooni. Nagu teada, tehti need kindlaks nõukogude laevtehiskaaslaste ülessaatmisega inimese esimeste kosmoselendude ettevalmistamise käigus, ja nii oli võimalik valida trassid selliselt, et kiirgusohtu praktiliselt ei esinenud.

Kuid teada kiirgusvööndite piirjooni — see pole veel kõik. Vööndite mõõtmed ja kiirguse intensiivsus sõltuvad tunduvalt Päikese aktiivsusest. Seepärast peab oskama prognoosida olukorda Päikesel, tuleb teostada tema pidevat vaatlust kogu lennuaja kestel, et ohtlike loidete avastamisel saaks peituda Maa atmosfääri.

Andrian Nikolajevi ja Pavel Popovitši kestva grupilennu ettevalmistamisel tuli arvestada veel ühe julma

ohu — kunstliku kiirgusvööndi olemasolu, mis kujunes ameerika megatonnise pommi plahvatamisel suures kõrguses.

Tehiskaaslastega seeriast «Kosmos» tehti pidevalt osakeste kontsentratsiooni vaatlusi selles vööndis ja temast allpool asetsevates rajoonides. Luba lennuks anti pärast seda, kui kiirguse intensiivsus trassi rajoonis alanes piirideni, mis tagas lennu ohutuse.

Maa atmosfäär on võrdlemisi ebahütlane. Kõik tema karakteristikud — tihedus, temperatuur, rõhk, elektriline ja neutraalne koostis — muutuvad kõrguse suurenemisel ning nende järgi teostatakse erinevate atmosfäärikihtide klassifitseerimist.

Kõige rohkem kasutatavaks võib vahest lugeda klassifikatsiooni temperatuuri järgi.

Maapinnaga vahetult kokku puutuvas atmosfäärikihis väheneb temperatuur pidevalt kõrguseni 9—15 kilomeetrit. See on troposfäär. Kõrgemal, 25—30 kilomeetrit maapinnast, asetseb piirkond, milles temperatuur on praktiliselt konstantne. Siit edasi, kõrguseni 50—60 kilomeetrit, temperatuur jälle kasvab, hakkab aga seejärel uuesti langema, saavutades 80 kilomeetri kõrgusel oma vähima väärtuse.

Troposfääri kohal lasuvat ja temast nõndanimetatud tropopausiga eraldatud atmosfäärikihti nimetatakse stratosfääriks. See ulatub 50—60 kilomeetri kõrgusele, kus temperatuur saavutab oma maksimaalse väärtuse.

Stratosfäärist kõrgemal asetsevat ja temast stratopausiga eraldatud kihti nimetatakse mesosfääriks. Mesosfäär lõpeb piirkonnas, kus temperatuur langeb absoluutse miinimumini. Temast kõrgemal asetsevast mesopausist algab termosfääri laialdane piirkond, milles temperatuur järsult tõuseb, saavutades väga suuri väärtusi. Termosfäär läheb üle eksosfääriks — konstantse temperatuuriga piirkonnaks, kust õhu kerged osakesed võivad hajuda planeetidevahelisse ruumi. Eksosfäär on atmosfääri omapärane «narmastik».

Teine võimalus klassifitseerimiseks on atmosfääri koostise järgi. Näiteks piirkonda, milles koostis jääb ligikaudu niisuguseks nagu maapinna tasemel, nimetatakse homosfääriks. See määratlus pole täpne, kuna homosfääris esinevad ka muutlikud koostisosad — veeaur ja osoon. Kuid

sellega võib leppida, kuna need muudavad vähe atmosfääri keskmist molekulkaalu.

Homopaus — see on tase, millel saab märgatavaks koostise muutumine; kõrguse osas ühtib ta mesopausiga (pisut kõrgemal kui 80—90 kilomeetrit). Tema kohal asub heterosfäär, kus molekulkaal molekulide dissotsiatsiooni¹⁵ tulemusena muutub ja atmosfäärigaaside üksikud koostisosad on difuusses tasakaalus.

Mõnikord kasutatakse nimetuse «homosfäär» asemel terminit «turbosfäär». Sellega märgitakse piirkonda, kus atmosfääri segunemine domineerib kergemate ja raske-
mate gaaside eraldumistendentsi üle. (Difuusse tasakaalu piirkond algab pisut kõrgemal kui 100 km.)

Laialt kasutatakse terminit «osonosfäär». See nimetus kuulub osoonikihile, mis asub umbes 20—60 kilomeetri kõrgusel. Osooni kontsentratsioon selles pole kuigi suur. Kui ta esineks ühtlase kihina normaalse temperatuuri ja rõhu juures (0°C ja 760 mm elavhõbedasammast), siis oleks selle kihi paksus ainult 0,2—0,3 sentimeetrit. Muidugi, niisugune osoonihulk ei avalda õhu keskmisele molekulkaalule mingit mõju. Kuid selle kihi olemasolul on väga suur tähtsus, sest tänu temale tõuseb sellises kõrguses märgatavalt atmosfääri temperatuur. On täheldatud ka seost osoonisisalduse muutumise ja meteoroloogiliste nähtuste vahel ning osoonisisalduse sõltuvust laiuskraadist.

Atmosfäärikihtide klassifitseerimise aluseks võib olla ka atmosfääri elektriline koostis või tema elektrijuhtivus. Neutraalse koosseisuga atmosfäärikihti, mis ulatub ligikaudu 80 kilomeetri kõrgusele, nimetatakse neutrosfääriks. Temast kõrgemal asub ionosfäär. Viimane termin on väga levinud seoses tähtsusega, mis sellel kihil on kaugraadioside tagamisel ja mitmesuguste geofüüsikaliste nähtuste uurimisel.

Kõikidest loetletud atmosfäärikihtidest uuritakse rakettide ja tehiskaaslaste abil piirkondi, mis asetsevad kõrgemal kui 30—40 kilomeetrit, sest sinna ei saa tõusta aerostaadid. Just sellest atmosfääri osast tulebki järgnevalt juttu.

¹⁵ Molekulide dissotsiatsioon — molekulide pöörduv lagunemine aatomiteks, aatomirühmadeks või ioonideks; keeruliste molekulide lagunemine lihtsamateks. — R. P.

Veel suhteliselt hiljuti ei teatud kõrgatmosfäärist tegelikult midagi. Kuid spektraalsete ja raadiotehniliste uurimismeetodite arenguga avanes võimalus teostada vaatlusi Maa pealt.

Õise taeva helendumise ja meteoriitide uurimine lubas otsustada kõrgatmosfääri koosseisu, tiheduse ja temperatuuri üle; ülivõimsate akustiliste lainete anomaalne levimine andis tõuke teatud järelduste tegemiseks kõrgemate või, täpsemalt, keskmiste atmosfäärikihtide temperatuuri kohta; impulss-raadiosondeerimine, mis leiutati kohe pärast seda, kui oli avastatud lühikeste raadiolainete võime peegelduda kõrgatmosfääri elektrit juhtivatelt kihtidelt, võimaldas uurida ionosfääri madalamaid kihte.

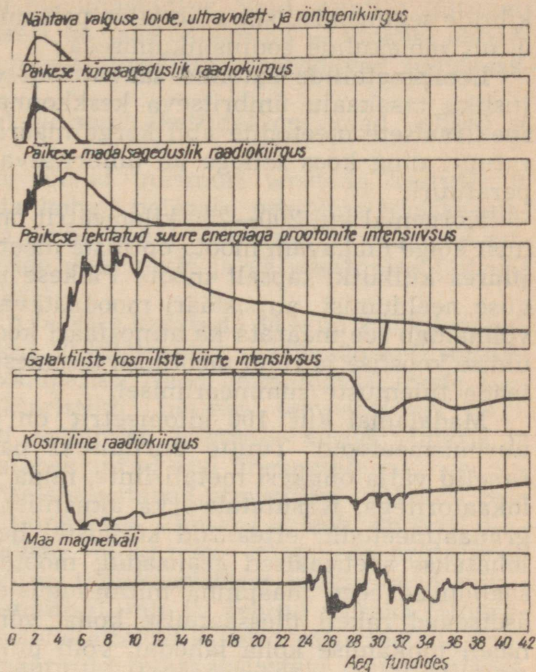
Seega oli teada võrdlemisi palju, kuid mitte kõik ei osutunud vaieldamatuks. Mõningad tulemused, mis olid saadud erinevate meetoditega, ei ühtunud, mõningad aga olid lihtsalt ebatõenäolised, kuna nendeni jõuti küllalt meelevaldsete oletuste teel.

Just seepärast oli kõrgrakettide ja tehiskaaslaste väljasaatmisel üheks põhiülesandeks kõrgatmosfääri uurimine.

Kuidas see toimus? Kõigepealt — vastava aparatuuriga. Spetsiaalsed termomeetrid ja manomeetrid määrasid temperatuuri (kuni 100 km kõrguseni) ja rõhu (pisut rohkem kui 300 km kõrguseni). Ioonipüüdjad ja teised aparaadid uurisid ionoosseisu. Saatja tehiskaaslase pardal kiirgas raadiosignaale, mille leviku järgi mõõdeti elektronide kontsentratsiooni. Võeti õhuproove jne. Raketid paiskasid välja kerakujulisi konteinereid, millele paigutatud aparatuur registreeris nende kiirenduse vaba langemise protsessis, ja see andis võimaluse määrata atmosfääri tihedust sõltuvalt kõrgustest.

Tuulte mõõtmisi ionosfääris hakati teostama mitmesuguste helenduvate jälgede järgi, mida tekitavad näiteks leelismetallide aurud. Kui neid videviku ajal hajutada atmosfääris, siis saab pilve intensiivset helendumist kergesti fotografeerida. Pilve nihe võimaldab määrata tuule kiirust antud kõrgusel ning tema piiride muutumine ehk pilve paisumise kiirus — atmosfääri tihedust.

Kuna kõrgemal kui 100—120 kilomeetrit praktiliselt enam ei esine turbulentsi, s. o. mitmesuguste atmosfääri-



Päikese kromosfääri loitega on seotud keerukad nähtused, mis arenevad Päikesel, Maa lähedal planeetidevahelises ruumis, Maa atmosfääris ja pinnal. Joonisel on kujutatud nende nähtuste järjestus ajas. (Horisontaalteljele on kantud aeg tundides, vertikaalteljele igas joonise osas, mis kuulub üksiku nähtuse juurde, selle nähtuse areng ajas.) Algul on näha eredat loidet, mis kestab umbes kaks tundi. Samaaegselt toimub intensiivne kiirgamine nii ultravioletsete kui ka röntgenikiirte piirkonnas ning registreeritakse Päikese raadiokiirguse pahvakuid kõrgetel ja madalatel sagedustel. Need kestavad tunduvalt kauem kui nähtav loide. Umbes tunni-poolteise möödudes ulatub Maa ümbrusesse Päikese päritoluga prootonite voog (Päikese genereeritud kosmilised kiired). Palju tunde pärast loite algust täheldatakse galaktilise päritoluga kosmiliste kiirte voo järsku vähenemist, mis on tõendiks, et Päikesest välja paiskunud plasmapiiv koos temasse «külmunud» magnetväljadega jõudis Maa ümbruskonda. Varsti pärast loite algust võib märgata kosmiliste raadiomürade intensiivsuse järsku alanemist, mis kestab suhteliselt kaua. Hulk tunde pärast loidet, samaaegselt kosmiliste kiirte voo intensiivsuse vähenemisega, puhkevad Maal magnetilised tormid. Nende tekkimine tõendab samuti, et Maa ümbruskonda jõudis suhteliselt väikese energiaga osakeste võimas voog, mille Päike paiskas välja loite ajal.

kihtide segunemist, siis võib pilve paisumist seletada eranditult molekulide soojusliikumisega.

Leelismetallide aatomid saavutavad väga kiiresti soojusliku tasakaalu ümbritseva keskkonnaga, seepärast on spektraalsete meetodite abil kerge määrata nende temperatuuri ning koos sellega ka ümbritseva keskkonna temperatuuri.

Kõrgemal kui 200—250 kilomeetrit on atmosfääri tihedust kõige mugavam mõõta optiliste meetoditega. Kui selle juures küllaltki täpselt mõõta Päikese ultravioletse kiirguse neeldumist atmosfääri moodustavates gaasides, siis võimaldab see määrata ka atmosfääri koostise. Atmosfääri üldise koostise ja rõhu mõõtmise tasemest kõrgemal saame teada tulemuste summeerimisel.

Madalamal kui 100 kilomeetrit on juba teistsugused uurimismeetodid. Tuulte uurimiseks paiskavad väikesed raketid välja õhuke si metall-linte, mida jälgitakse raadiolokaatoritega. Kasutatakse ka akustilist, nõndanimetatud granaatmeetodit: etteantud kõrgustel heidetakse välja ja lõhatakse spetsiaalsed granaadid; mõõtes akustilise laine saabumise aega maapinna mitmesugustes punktides, mis asetsevad raketi ülesaatmise koha või, täpsemalt, granaadi lõhkamise koha lähedal, võib uurida temperatuuri ja tuulte jaotust kõrguse järgi.

Väga laialt on levinud meetod, mille kohaselt atmosfääri tihedust mõõdetakse tehiskaaslaste pidurdumise põhjal suurtes kõrgustes, kus rõhu vahetu mõõtmine manomeetri abil on kas võimatu või mitteküllaldaselt usaldatav.

On teada, et atmosfääri takistus on võrdeline atmosfääri tihedusega ja tehiskaaslase kiiruse ruuduga. Samuti teame, et tehiskaaslase kiirus on kõige suurem perigees — orbiidi madalaimas punktis, atmosfääri tihedus aga langeb väga kiiresti kõrguse suurenemisel. See võimaldab suuri vigu tegemata väita, et kogu pidurdus, mis ilmneb tehiskaaslase ümber Maa tiirlemise perioodi vähenemises, toimub nimelt perigees (kui kaaslane ei liigu just ring-orbiidil). Perigees nihkub aeglaselt piki orbiiti. Tänu sellele võib tehiskaaslaste liikumise kestvate vaatluste tulemusena määrata atmosfääri tihedust mitmesugustel laiustel.

Muidugi, see kõik on maksev kõrguse kohta, kus tehiskaaslased tiirlevad enam-vähem kestvalt, see on kaugusel 160—200 ja enam kilomeetrit, sõltuvalt nende orbiidist.

Nimetatud piir ei ole konstantne, vaid muutub sõltuvalt atmosfääri tihedusest, see aga omakorda — Päikese aktiivsusest. Mainitud piirist madalamal asendavad tehiskaas-
lasi sondraketid.

Tehiskaaslastel ja sondrakettidel on omad eelised ja puudused.

Tehiskaaslased võivad uurimusi teostada kestvalt ja maakera suure ala kohal, polaarse orbiidiga tehiskaas-
lased aga kogu Maa pinna kohal. Sondraketid erinevad esi-
mestest trajektoorida iseloomult ja väljalaskmise lihtsuse
ning odavuse poolest.

Kõigepealt saab rakette kasutada 30 kuni 200 kilomeet-
rini (madalamal kui 30 kilomeetrit on tõenäoliselt kasuli-
kum rakendada sondpalle). Need võimaldavad saada jao-
tuse mingi karakteristikku, näiteks temperatuuri järgi.
Raketid teostavad mõõtmist mistahes antud punktis ja
registreerivad mistahes antud ajal üheaegselt mitmesugu-
seid suurusi, mis iseloomustavad atmosfääri olukorda reas
teatava piirkonna punktides. Viimane asjaolu on eriti olu-
line suuremõõtmeliste ja kiiresti kulgevate protsesside
uurimisel. Raketid on tehiskaaslastest mugavamad niisu-
guste katsete läbiviimisel, mis on seotud näiteks fotogra-
feerimisega. Peale selle aitavad raketid välja töötada apa-
ratuuri, mis on määratud tehiskaaslastele paigutamiseks.

Seega, atmosfääri uurimine tehiskaaslaste abil ei
välista sondrakettide kasutamist. Veelgi enam, seal kus
see on võimalik, kasutatakse endiselt laialdaselt aerostaat-
tilisi ja maapealseid meetodeid.

UUED ANDMED

Missugused on kõrgatmosfääri uurimise peamised tule-
mused?

Kõigepealt, kõrgatmosfääri tihedus ja temperatuur
osutusid tunduvalt suuremaks, kui seda oletati teoreeti-
liste hinnangute ja maapealsete uurimismeetodite põhjal.
Tõsi, lahkumineku kuulub põhiliselt Päikese maksimaalse
aktiivsuse perioodi.¹⁶

¹⁶ Esimeste tehiskaaslaste abil kogutud andmetest ilmnes, et
200 km kõrgusel on õhu tihedus 2—4 korda suurem, kui näitasid
sondrakettide ja teiste meetodite abil kogutud andmed. Hiljem sel-
gus, et lahkumineku põhjustas Päikese aktiivsuse tugev tõus sel
perioodil. — R. P.

Muutused ka teadmised Maa atmosfääri ulatusest. Kui varem arvati, et atmosfäär lõpeb maapinnast umbes 1000 kilomeetri kaugusel, siis nüüd tuli piir nihutada kahe kuni kolme tuhande kilomeetri kaugusele. Seegi on veel küllalt tinglik. Ultravioletne kiirgus, mis tuleb kosmostest, võimaldas avastada Maad ümbritseva vesinikupilve — «geokrooni». Hiljem selgus, et see ulatub atmosfääri omapärase pikendusena umbes 20 000 kilomeetri kaugusele.

Küllaltki ootamatuks osutusid atmosfääri tiheduse muutused, mida näitas tehiskaaslaste pidurdumise ebaühtlus.

Kõige kergem oli seletada neid tiheduse muutusi, mis toimuvad 27-päevase perioodiga — Maa suhtes kõige aktiivsemate Päikese ekvaatori lähedaste piirkondade pöörlemise perioodiga.¹⁷ Täheandab, atmosfääri tihedus sõltub Päikese aktiivsuse muutumisest Päikese pöörlemisel või, teisiti rääkides, aktiivsete piirkondade ebaühtlasest jaotusest temal. Kui aktiivne ala oli Päikese nähtava ketta tsentris, siis toimus Maa atmosfääri soojenemine, paisumine ja tiheduse märkimisväärne suurenemine.

Esimesed tehiskaaslased saadeti üles Päikese suurima aktiivsuse ajal. Saadud tulemuste põhjal arvutati ka järgnevate tehiskaaslaste eksisteerimise kestvus. Kuid praktilikas selgus, et mõned neist, kõrge orbiidi ja pika elueaga, «tujutsesid» ega tahtnud ettenähtud ajal oma orbiidilt lahkuda. Selle põhjuseks oli Päikese muutuv aktiivsus, mis pärast 1958. aastat hakkas kiiresti langema. Nii käitus näiteks eriti nõukogude «Sputnik 3».

Nüüd on kindlaks tehtud, et sõltuvalt Päikese aktiivsusest võib Maa atmosfääri tihedus muutuda ligi sada korda, temperatuur aga mitmesaja kraadi võrra.

Olemasolevad tulemused võimaldasid 1964. aastaks, Päikese aktiivsuse miinimumi perioodiks, arvutada kõrgatmosfääri tiheduse ja temperatuuri. Näiteks pidi nende arvutuste kohaselt 1964. aasta öine temperatuur ekso-sfääris olema 500° K.

Miks vaadeldi just öist temperatuuri?

Asi on selles, et kõrgatmosfääri temperatuur muutub ka ööpäeva kestel, nagu selgus tehiskaaslastega tehtud vaatlustest. Nende orbiidid pöörlevad määratud tasandis,

¹⁷ Päikese mitmesugused laiusvööndid pöörlevad ümber telje erinevate kiirustega.

ja pidurdumine toimub põhiliselt perigee piirkonnas, mis püsivalt läheb orbiidi «päevaselt» poolelt üle «öisele» ja tagasi. See võimaldas võrrelda kõrgatmosfääri tiheduse väärtusi ning nende järgi arvutada temperatuure.

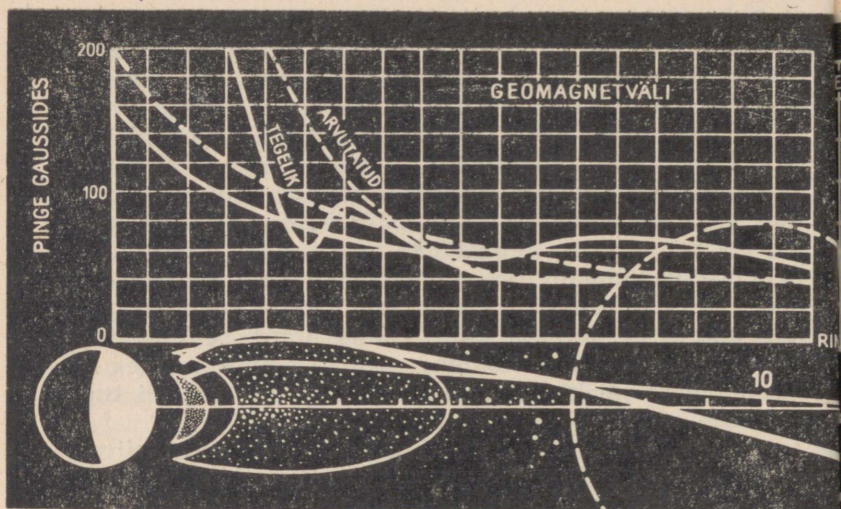
Ööpäevased temperatuurimuutused sõltuvad ka Päikesest. Kuid mõõtmiseks tuleb nad eraldada «puhtal kujul». Järelikult on vaja eemaldada mitteperioodilised, juhuslikud muutused, mis on tingitud Päikese aktiivsuse muutustest, ja uurida ka seda Päikese mõju Maa atmosfäärile. See osutus võimalikuks, kui kõrvutati muutused tehiskaaslaste pidurdumiskiirustes ja Päikese raadiokiirguses lainepikkusega kolmest kuni kolmekümne sentimeetrini. Niisugune kiirgus sünnib nendessamades piirkondades, kus lühilaineline ja korpuskulaarne kiirguski, mis nii tugevasti mõjutavad kõrgatmosfääri.

Atmosfääri kõrgemates kihtides neeldub intensiivselt Päikese lühilaineline kiirgus. Selle tulemusena kuumeneb kõrgatmosfäär, tehiskaaslased pidurduvad tugevamini ja nende orbiidid muutuvad kiiremini. Nimetatud järeldusi on juba palju kordi kontrollitud.

Tiheduse muutumine on heas kooskõlas aktiivsuse muutumisega — see tähendab, et kõrgatmosfääri tulevast ultravioletsest kiirgusest põhiliselt piisab kõrgatmosfääri soojendamiseks. Kuid osutus, et mitte iga vaadeldav tiheduse tõus ei ole seletatav lühilainelise kiirguse mõjuga.

Pärast mõningaid loiteid vaadeldi huvitavat nähtust: atmosfääri tiheduse järsk kasv ei toimunud vahetult pärast seda, kui raadiokiirguse pahvak «teatas» Maale Päikese loitest, vaid umbes ööpäev hiljem. Lühilaineline kiirgus saabus samaaegselt raadiokiirgusega ja seepärast ei langenud ta «kahtluse alla». Jäi veel korpuskulaarne kiirgus — needsamad plasmavood, mis kutsuvad esile ka magnetilisi torme. Üheaegselt tehiskaaslaste pidurdumise tugevnemisega algavad tormid tõestasidki, et Päikese korpuskulaarvood on seekord «süüdi» kõrgatmosfääri kuumutamises.

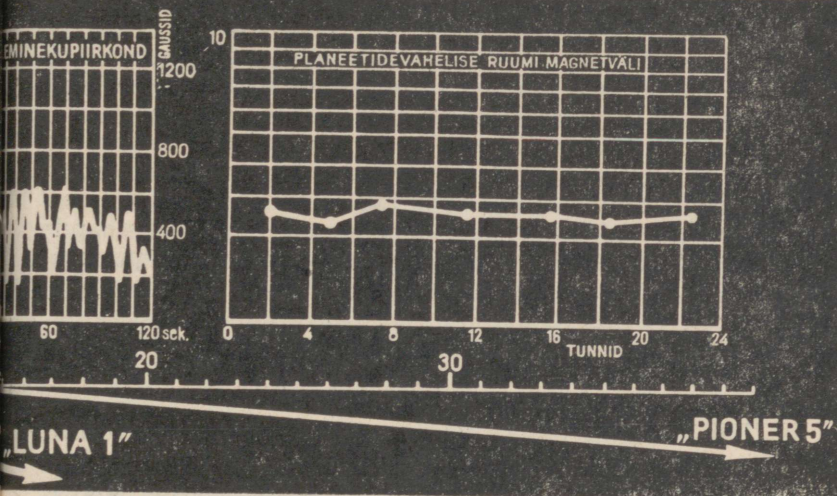
Ilmnes samuti, et kõik tehiskaaslased ei reageeri Päikese aktiivsuse avaldustele ühteviisi. Sel ajal kui «Sputnik 3» ja ameerika «Echo» muutsid kuulekalt oma tiirlemisperioodi, mis kõneles atmosfääri tiheduse kasvust, jäi teine ameerika tehiskaaslane — «Vanguard 1» — «ükskõikseks» plasmavoogude suhtes, mis paisati välja Päikese loite ajal; tema periood ei muutunud.



Kosmoserakettide väljasaatmine võimaldas uurida magnetvälju väga kaugel Maast. Automaatjaamale «Luna 1» paigutatud magnetomeeter avastas teise kiirgusvööndi maksimumi piirkonnas magnetvälja tugeva anomaalia. Võimalik, et see tõendab voolusüsteemi olemasolu nimetatud piirkonnas. Teine magnetvälja anomaalia avastati raketi «Pioneer 5» saatmisel väljapoole teise kiir-

Raske on uskuda, et atmosfäär pidurdab erinevaid tehiskaaslasi erinevalt. Jääb üle oletada, et pidurdumise suurenemine toimub mingisugustes piiratud alades, kus just ilmnebki atmosfääri kuumenemine korpuskulaarsete voogude mõjul. Kuid siis järeldub, et kuumenemine toimub polaarlaiustel: «Sputnik 3» orbiit oli ekvaatoritasandi suhtes rohkem kaldu ja läbis polaarlaiused, kuna «Vanguard 1» orbiidil oli samal ajal väike kalle. Peale selle läbis «Vanguard 1» orbiit palju kõrgemaid piirkondi kui kolmanda nõukogude tehiskaaslase orbiit. See tähendab, et korpuskulaarsed vood tungivad polaarpiirkondades sügavale atmosfääri, kutsudes esile selle kuumenemise, samal ajal kui ekvaatorilähedastel laiustel isegi kõrgemad atmosfäärikihid säilitavad oma endise temperatuuri.

Mainitud oletus näib seda enam tõepärane, et just polaarpiirkondades tekivad virmalised ja laskuvad alla-



gusvööndi piire. Varem avastasid nõukogude uurijad selles piirkonnas kolmanda laetud osakeste vööndi. Oletatakse, et ka siin eksisteerib ringvool. Maapinnast 12–14 Maa raadiuse kaugusel lõpeb korrapärane magnetväli ja algab üleminekupiirkond, milles magnetvälja suurus on väga kõikuv. Umbes 20 Maa raadiuse kaugusel algavad planeetidevahelise ruumi magnetväljad.

poole välise kiirgusvööndi harud. Aga väline vöönd ongi, nagu oletati, osakeste allikaks virmalistele, siis kui plasmapiilvede magnetväljad «suruvad kokku» Maa magnetvälja ühes selle välja jõujoontele «istutatud» osakeste trajektoridega. See pidigi sundima atmosfääri sukelduma neid magnetvälja jõujooni, millel osakesed varem võisid ühelt pooluselt teisele rännata, nüüd aga pidid kaotama energia ja «langema välja» magnetpüünisest.

Tegelikult toimub kõik hoopis keerulisemalt, palju on siin veel ebaselge. Veelgi enam, nagu juba märgitud, tekkisid viimasel ajal tõsised kahtlused selles, kas anastatud osakeste energiast piisab virmaliste esilekutsumiseks. See sunnib oletama, et ka kõrgatmosfääri kuumenemine võib olla tingitud samade osakeste voogudest, mis kutsuvad esile virmalisi.

Uurimised raketite ja tehiskaaslastega võimaldasid

avastada ka piiri heterosfääri, atmosfääri muutumatu koosseisuga kihi ja nende kihtide vahel, kus tehakse kindlaks ühe või teise gaasi peamine sisaldus.

Selgus, et see piir asub umbes 100 kilomeetri kõrgusel. Temast madalamal koosneb atmosfäär põhiliselt molekulaarsest lämmastikust ja molekulaarsest hapnikust. Kihis sajast kuni viiesaja kilomeetrini koosneb atmosfäär peamiselt atomaarsest hapnikust, kihis viiesajast kuni kahe tuhande kilomeetrini — heeliumist, ja kahe tuhande viiesajast kilomeetrist kõrgemal — geokrooni piirkonnas — atomaarsest vesinikust.

KÖRGATMOSFÄÄR ON VÄGA DUNAAMILINE

See oli ammu teada.

Raadiolokatsioonvaatlused näitasid, et meteoride ioniseeritud jäljed nihkuvad suure kiirusega kantuna õhuvooludest madalamas ionosfääris. Kuid meteoride jälgede triivimise vaatlused pole praegu laialt levinud, kuigi nad võiksid anda palju ulatuslikku materjali.

Tehiskaaslasi on selleks üldse võimatu kasutada, sest nad liiguvad niisuguses kõrguses, kus atmosfäär on liiga hõre, ja pealegi ei tabaks nad oma kiiruse tõttu tuule muutusi. Nähtavasti on atmosfäär ka seal väga liikuv, kuid see võib etendada määravat osa ainult ionosfääri formeermisel ja Päikeselt saadava energia ümberjaotamisel. Raske on mõelda, et atmosfääri liikumised mõnesaja kilomeetri kõrgusel võivad vahetult mõjutada allpool asuvaid kihte.

Selles mõttes pakkus suurimat huvi atmosfäärikiht kahe-kolmekümnest kilomeetrist rohkem kui saja kilomeetrini.

Oli tarvis küllalt sageli saata üles rakette üsna suure territooriumi mitmesugustest punktidest. Ainult niisugusel juhul õnnestuks tabada tuule tugevuse lokaalseid muutusi ja määrata tema valitsevaid suundi.

Sellist atmosfääri sondeerimise võrku pole praegu veel loodud. On ainult tehtud sedalaadi mõõtmiste üksikuid katseid.

Rakettide ja tehiskaaslaste meteoroloogilisele kasutamisele pühendatud sümposioonil Washingtonis 1962. aasta aprillis demonstreeriti esimesi kaarte, mis näitasid tuulte jaotust Põhja-Ameerika mandri kohal 45—60 kilomeetri kõrgusel. Andmed põhjenesid kolmes-neljas punktis teh-

tud vaatluste tulemustel. Muidugi, raske on mõelda, et nii väikese jaamade arvu juures võib saada midagi peale üldise kujutluse liikumistest atmosfääri neis kihtides, kuid isegi see lubas juba teha teatavaid järeldusi.

Skeemis atmosfääri liikumise kohta suures kõrguses — stratosfääri piirkonnas — on ülekaalus piki paralleele suunatud tuuled. Mida suurem on kõrgus, seda suurem on tuulte kiirus. Talvel puhuvad nad läänest, suvel — idast, kusjuures talvel kaldub tuul sageli tsonaalselt meridionaalsele suunale, tekitades õhu liikumises «lainelisust», mis suureneb kõrgusega.

Väga keeruline ja osalt seletamatu on pilt talvise tuule-režiimi üleminekust suvisele ja vastupidi. Põhjapoolkeral on üleminek talviselt režiimilt suvisele väga sageli seotud nõndanimetatud «järsu kuumenemisega» ehk «polaarkeerise lagunemisega», mis seisneb atmosfääri ühtlase voo ootamatus katkemises polaarpiirkondade ümber ja temperatuuri kiires tõusus mõnekümne kraadi võrra. Nähtavasti algab niisugune kuumenemine suurtes kõrgustes ja levib allapoole, haarates stratosfääri. Polaarse keerisliikumise lagunemise mehhanismi täielikult ette kujutada õnnestub nähtavasti alles pärast seda, kui on läbi viidud küllalt sagedased ja palju täiuslikumad uurimised just tuulerežiimi muutumise ajal.

Atmosfääri liikumist mesosfääris ja madalamas ionosfääris — silmas on peetud kõrgust 60 ja 105 kilomeetri vahel — iseloomustavad oma iseärasused. Nii suvise kui ka talvise sesooni puhul kasvab tuule keskmine kiirus siin kõrguse suurenedes pidevalt, säilitades üldiselt sama suuna, mis on tuultel stratosfääris. Kuid üleminek ühelt sesoonilt teisele, umbes sügise ja kevadise pööripäeva ajal, on väga keeruline.

Selles piirkonnas eksisteerivad juba järsemad, hüppetaolised tuule kiiruse muutused, kusjuures on huvitav, et niisugustel «nihetel» on kalduvus korduda kõrguse muutumisel 6—8 kilomeetri võrra. Teoreetilist seletust nendele «nihetele» veel ei ole.

On huvitav, et elektronide kontsentratsiooni jaotus 60—80 kilomeetri kaugusel maapinnast muutub kõrgusega täiesti analoogiliselt tuule muutumiskäigule. Ka selle põhjus on teadmata.

Kõrgusel 60 kuni 100 kilomeetrit kulgevad paljud fotokeemilised reaktsioonid, mis viivad atmosfääri ioniseeri-

misele ja kuumenemisele. Tõsi, kõrguseni 80—90 kilomeetrit väheneb üldine temperatuur, kuid see on nähtavasti tingitud asjaolust, et siin valitsevad veel ülekaalukalt mingid teised protsessid.

Selle ala ülemisel piiril, 105—115 kilomeetri kõrgusel, kaob turbulentne segunemine ja algab mõningate gaaside gravitatsiooniline ehk difuusne jagunemine. Mõnikord arvatakse seepärast, et mainitud tasemest kõrgemal puudub tuul.

Niisuguse arvamusega on raske nõustuda, sest teiste gaaside küllalt täielik difuusne eraldumine algab palju kõrgemal — mõnesaja kilomeetri kõrgusel. Pealegi pole sel kõrgusel avastatud mingit temperatuuri püsi, nagu see esineb stratopausi või mesopausi juures. See oleks aga vältimatu, kui nendes kõrgustes muutuks dünaamiline režiim.

Mõeldamatu on ka, et need temperatuuri ja tiheduse kiired muutused, mis avastati kahesaja kilomeetri kõrgusel ja kõrgemal, toimusid atmosfääri isoleeritud piirkondades või äärmisel juhul omapäraste lainete kujul, mis sarnanevad loodetega. Horisontaalsete järskude temperatuuri ja rõhu languste teket kõrgatmosfääris peavad tingimata saatma ka tugevad tuuled, mis püüavad võrdsustada rõhu erinevusi naaberpiirkondades. Kuidas ka ei oleks, enamik spetsialiste oletab, et ka nendel kõrgustel peavad puhuma väga «tugevad» tuuled, täpsemalt, tuuled, millel on suur kiirus, kuna tuule jõud tema tavalises mõistes sõltub veel tuule tihedusest, mis on seal äärmiselt madal.

PLANEEDI IOONKEST

Planeediioonkesta mõningatest iseärasustest me juba rääkisime, kuigi jätsime selgitamata tema põhikarakteristikud.

Päikese kiirgused ei kutsu esile mitte ainult kõrgatmosfääri kuumenemist, — lühilaineline kiirgus «kisub» ära elektrone aatomitelt ja molekulidelt, kutsub esile nende ionisatsiooni või isegi «rebib» molekulid osadeks, luues aatomitest koosneva atmosfääri.

Ionisatsiooni (voolu juhtivate kihtide) olemasolu avastati juba ammu, algul loogilise hüpoteesi abil, mis oli vajalik raadiolainete ülikauge levi seletamiseks, seejärel Maalt teostatava uurimise teel, sondeerides nimetatud kihte raa-

diosignaali, s. t. lühikeste impulsside abil, mis peegeldusid sellelt kihilt ning pärast tagasipöördumist Maa pinnale registreeriti vastuvõtuantenni poolt. Peegelduva signaali piirsagedus võimaldas arvutada elektronide kontsentratsiooni peegeldavas kihis, kuid aeg, mille impulss kulutas teel sinna ja tagasi, lubas määrata kihi kõrguse.

Niisugune sondeerimine näitas, et 80—300 kilomeetri kõrgusel eksisteerib mitu ioniseeritud kihti, mis tähistati tähtedega *D*, *E* ja *F*. Nagu selgus, jaguneb kiht *F* mõnikord kaheks — kihtideks F_1 ja F_2 . Kihilt kihile ülespoole elektronide kontsentratsioon kasvab, nad peegeldavad ikka lühemaid ja lühemaid laineid.

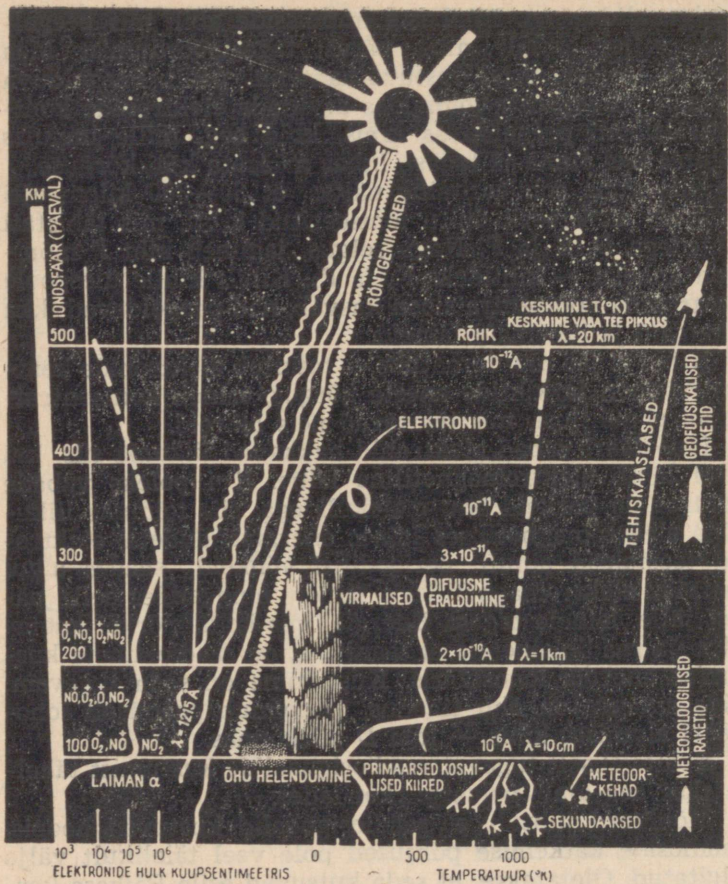
Kihid ei jää muutumatuks — muutub elektronide kontsentratsioon ja kihtide eneste kõrgus, esineb kontsentratsiooni ebaühtlusi, mis tekitavad neis häireid.

Ionosfääri vabad elektronid hakkavad liikuma siis, kui kihti läbib elektromagnetiline laine. Kui poleks vabade elektronide pörkeid õhu molekulidega, siis toimuks liikumine elektromagnetilises laines energiakadudeta, elektronid teostaksid ainult perioodilisi võnkeid, saades algul energiat elektromagnetiliselt lainelt ning andes selle pärast jälle lainele tagasi. Energia, mis kokkupörkel kaotatakse ja raadiolainetele ei tagastata, on raadiolainete kustumise energia ionosfääris. Kustumine on seda tugevam, mida suurem on õhu tihedus, ja toimub peamiselt ionosfääri alumises kihis — kihi *D* piirkonnas.

Ebatavaliselt tugevat raadiosignaali kustumist täheldatakse aeg-ajalt polaarpiirkondades.

Mõnikord juhtub, et raadiosignaalid kustuvad hoopis. Raadioside katkemise põhjused pole veel täielikult välja selgitatud. Oletatakse, et seda kutsuvad esile Päikese korpuskulaarvoogude ja virmaliste osakesed. Tõenäoliselt on raadiolainete erakordne neeldumine nagu tavaline kustuminegi esile kutsutud sellega, et elektronid kaotavad kokkupörkel atmosfääriosakestega oma energia. Viimane on seda enam tõenäoline, et polaarpiirkondades, nagu me juba teame, kasvab pärast Päikese loiteid kõrgatmosfääri temperatuur ja tihedus. Kui seejuures leiab aset ka ionsatsiooni tugevnemine, on neeldumine seda tugevam — vastavat elektronide kontsentratsiooni vaadeldakse siis väiksematel kõrgustel tihedamates atmosfäärikihtides.

Ionosfääri sondeerimine raadioimpulssidega maapinnalt lubas uurida ainult ionosfääri alumist osa — kuni elektro-



Palju huvitavaid ja osalt tänaseni mõistatuslikke nähtusi kulgeb Maa gigantses õhkkestas. Päikese aktiivsuse maksimumi aastatel ulatub ta 2000—3000 kilomeetri kaugusele, vesinikust geokroon aga kuni 20 000 kilomeetri kaugusele.

Joonise vasakus osas on kujutatud elektronide kontsentratsiooni muutumine ionosfääris (päeval) ja on antud ionosfääri koostis 100, 150 ja 200 kilomeetri kõrgusel. Paremalt on skemaatiliselt kujutatud lühilainelise — ultravioletse ja röntgenikiirguse atmosfääri tungimise sügavus. Piki spiraalseid trajektore tungivad polaarpiirkondades kõrgatmosfääri elektronid, kutsudes esile virmalisi.

Lai kõver, mis läheb üle punktiirjooneks, näitab atmosfääri temperatuuri sõltuvust kõrgusest. Looklev nool nimetatud kõvera keskmise osa kohal märgib selle piirkonna alumist piiri (110 km), kus algab gaaside difuusne jaotumine. Temperatuurikõvera punktiir-

nide kontsentratsiooni absoluutse maksimumini, s. t. kihini F_2 . Mis toimus kõrgemal, jäi mõistatuseks.

Tõsi, võeti ette ka küllalt edukaid katseid kõrgema ionosfääri uurimiseks raadiosignaalidega, mis tulid mitte-maistest allikatest. Niisuguseid looduslikke raadiokiirguse allikaid on palju, kuid ükski neist ei kõlvanud, kuna oli teadmata nende kiirguse algpolarisatsioon. Kuid just algpolarisatsiooni muutuse järgi oleks saanud kindlaks teha elektronide üldhulga kiire teel, ning seejärel, teades jaotust allpool kihti F_2 , oleks võinud määrata ka elektronide sisalduse ionosfääri kõrgemas osas.

Seda õnnestus teha, kui suunati radioimpulss Kuule ja võeti Maal vastu peegeldunud impulss. Niisuguse signaali polarisatsiooni muutumise määras elektronide kontsentratsioon kiire teel sinna ja tagasi.

Töötati välja ka teine viis kõrgema ionosfääri uurimiseks — äikeselahenduste ajal tekkivate radioimpulsside kuju muutumise põhjal. Selgus, et need levivad piki geomagnetilise välja jõujooni ja sõltuvalt elektronide hulgast nende teel muudavad oma esialgset kuju. See võimaldas välja arvutada elektronide kontsentratsiooni peamaksimumist kõrgemal. Selliseid radioimpulsse nimetatakse «atmosfäärivilinateks». Raadioamatöörid on nendega üsna tuttavad — need on samad «vilinad», mida sageli kuuleme vastuvõtjates.

Kuid vaatamata ionosfääri kõrgemate osade uurimise maapealsete võtete väljatöötamisele ei tohi arvata, et on saadud kõik teadlasi huvitavad andmed. Teati ainult elektronide summaarset sisaldust, aga mitte nende jaotust kõrguse järgi. Ja peamine, need tulemused ei olnud vaieldamatud...

Seepärast sai ionosfääri uurimine otseste meetoditega üheks peaaesandeks, mida lahendati algul rakettide, hil-

osast vasakul asuv arvude samm näitab atmosfääri rõhu suurust nendes kõrgustes, kuhu on paigutatud vastavad arvud. Siinsamas asetsev kosmiliste kiirte trajektoori haruline kujutis näitab piirkonda, kus primaarsed kosmilised kiired muunduvad sekundaarseteks. Pisut paremal asuv arvude samm kujutab õhu molekulide ja aatomite vaba tee pikkust vastavates kõrgustes. Parempoolses alumises nurgas on antud kõrgused, milles meteorkehad ära põlevad.

jem ka esimeste tehiskaaslaste abil. Sel eesmärgil toimus tehiskaaslaselt «Sputnik 1» kiiratavate raadiosignaali registreerimine sagedustel 20 ja 40 megaherti. Teisel ja kolmandal nõukogude tehiskaaslasel ning hiljem mõningatel seeria «Kosmos» tehiskaaslastel olid samuti saatjad, mis töötasid nendel sagedustel.

Niisugused raadiokiirgused ei levi sirgjoonelisel, sest ionosfäär kõverdab neid. Tähendab, kui oleks teada nende kõverdumise aste, võiks arvutada ka elektronide kontsentratsiooni raadiokiire teel. Kõige mõnusam oleks seda teha, vaadeldes tehiskaaslase «raadiotõusu» ja «raadioloojangut» ja võrreldes neid ajaliselt tehiskaaslase nähtavale ilmumise ja kadumisega horisondil.

Muidugi pole see ainus viis. Raadiosignaali polarisatsiooni muutuse, nõndanimetatud Faraday pöörde vaatlus võimaldas samuti uurida elektronide koguarvu raadiokiire teel.

Ionosfääri omadusi peamaksimumist kõrgemal uuriti tehiskaaslaste raadiokiirguse kustumise põhjal.

Kolmanda nõukogude tehiskaaslase pardale paigutatud saatja «Majakas» raadiokiirguse kestvad vaatlused võimaldasid isegi avastada ionosfääri ehituses ebaühtlusi, mis kutsusid esile raadiosignaali omapärase «vilkumise».

Pisut hiljem hakati ka Ameerika Ühendriikides üles saatma suhteliselt madalatel sagedustel töötavate saatjatega tehiskaaslasi, mis võimaldasid uurida ionosfääri. Algul lähetasid ameerika teadlased orbiidile kõrgsagedussaatjatega tehiskaaslasi. See on seletatav võib-olla asjaoluga, et tehiskaaslaste väikesed mõõtmed raskendasid nende vaatlemist täpsete optiliste ja fotograafiliste meetoditega ning raadiovaatlus oli nende asendi määramise kõige usaldatavamaks vahendiks. Nii võib toimida ainult sel juhul, kui saatja töösagedus on küllalt kõrge.

Kõrvuti nende uurimistega jätkus ionosfääri laialdane tundmaõppimine raketsondeerimise abil. Geofüüsikalised raketid tõusid 400—500 kilomeetri kõrgusele ja võimaldasid teada saada elektronide kontsentratsiooni jaotust kõrguse järgi.

Kõikide nende uurimiste tulemused olid pisut ootamatud, sest ei leidnud kinnitust oletus isoleeritud, selgesti avalduvate ionosfäärikihtide olemasolu kohta. See, mida varem, maapealsel impulss-sondeerimisel, peeti üksikuteks kihtideks, osutus lokaalseteks maksimumideks, elekt-

ronide kontsentratsioon kohalikkudeks suurenemisteks üldisel pideval kõveral ja, nagu räägitakse, «monotoonseks» elektronide kontsentratsiooni kasvamiseks, mis algas umbes 80 kilomeetri kõrgusel ja lõppes punktis, kus selle kontsentratsiooni väärtus saab suurimaks — kihi F_2 maksimumis.

Maksimumist kõrgemal väheneb elektronide kontsentratsioon sujuvalt — mitu korda aeglasemalt kui ta kasvas. Vähenemist ja ka maksimumi olemasolu ei saa seletada sellega, et kõik õhu molekulid on juba ioniseeritud, ega ka sellega, et suurtes kõrgustes on atmosfäär väga hõre. Maksimumpunktis on ioniseeritud ainult üks kümnetuhandik osa molekulide üldarvust õhus, ja alles umbes tuhande kilomeetri kõrgusel on kõik osakesed ioniseeritud.

Ionosfääri mitmesuguste piirkondade ja peamiselt piirkonna F kujunemise mehhanism on veel ebaseelge ja nõuab ionosfääri kestvat ning laialdast uurimist.

IONOSFÄÄRI UURIMIST SAAB LÄBI VIIA ÜLALTPOOLT

Nagu võisime märgata, pole olemasolevad ionosfääri uurimise viisid vabad puudustest.

Raadiokiirguse vaatlemine tehiskaaslastelt võimaldab saada ainult elektronide kontsentratsiooni summaarseid väärtusi, ja on tarvis teada ionosfääri alumise osa impulsssondeerimise tulemusi, et otsustada tema ülemise osa ehituse üle. Pisikesi moodustisi — «peenstruktuuri» — sel teel avastada ei ole võimalik kaugeltki mitte alati. Need vaatlused ei anna ka ionosfääri karakteristikute jaotust tehiskaaslase kogu orbiidil, tema poolt haaratavate laiuste kogu diapasoni kohal, selleks oleks tarvis erakordselt suurt hulka maapealseid jaamu kõikides geograafilistes rajoonides.

Rakettide abil võiks saada vertikaalse läbilõike, kuid selleks oleksid vajalikud liiga sagedased rakettide ülesaatmised Maa pinna tuhandetest punktides pika aja kestel. Teisiti oleks aga raske selgitada kõiki ionosfääri karakteristikute muutumise seaduspärasusi ajas ja ruumis. Nii-sugune moodus on aga liiga kallis ja kohmakas.

Eriti perspektiivseks ja paljutõotavaks peetakse eksperimenti, mis on seotud kõrgele orbiidile viidud tehiskaaslase kasutamisega. Sellele paigutatakse ionosfääri-

jaam, mis oma ehituselt on analoogiline nendega, mida kasutatakse ionosfääri madalama osa impulss-sondeerimiseks.

Täpselt samuti nagu maapealse raadiosondeerimise juureski võib jaam kiirata vahelduva sagedusega raadioimpulsse, kusjuures erinevad sagedused hakkavad peegelduma erinevatelt piirkondadelt — seekord juba ionosfääri ülemiselt osalt — ja registreerida neid, võimaldades määrata nii elektronide kontsentratsiooni kui ka ionosfääri mitmesuguste piirkondade «kõrgust», täpsemalt, nende kaugust orbitaalsest ionosfäärijaamast. Niisuguse tehiskaaslase saatsid üles Ameerika Ühendriikide ja Kanada teadlased.

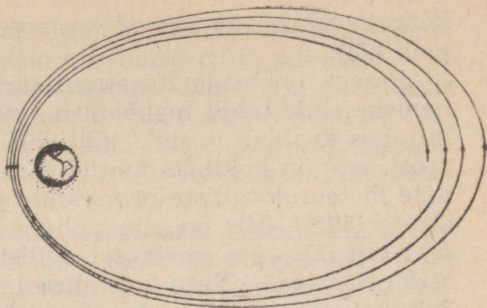
Maapealse raadiosondeerimise võrk lubaks uurida muutusi, mis toimuvad ionosfääri alumistes piirkondades mitmesugustel laiustel. Veel edukamalt uuriksid seda üks või mitu orbitaalset ionosfäärijaama, sest tiireldes ümber Maa, kompavad nad oma raadiokiirtega kõrgionosfääri, märkides pisimaidki muutusi «Maa elektronkesta» olekus. Saadud tulemusi võiks kõrvutada teiste füüsikaliste suuruste, peamiselt magnetvälja ja kiirguste muutustega. See võimaldaks paremini tundma õppida Päikese mõju kõrgatmosfäärile ja tema dünaamikale.

Suuri võimalusi peidab eneses tehiskaaslaste kasutamine ionosfääri ehituse ruumiliste ebakorrapärasuste ja nende muutuvuse uurimisel. Selle näiteks on ebaühtlused, mis kujunevad virmaliste tsooni lähedal. Suur osa neist eksisteerib küllalt pika aja jooksul, seepärast võib nende üldised piirjooned kindlaks teha tehiskaaslase raadiosaadete iseloomu muutuste registreerimisega, kusjuures see tehiskaaslane peab niisugusest ebaühtlusest mööduma ülaltpoolt. Kuid nende eksisteerimise aeg — kõigest mõned tunnid — ei ole ikkagi piisav selleks, et täpsemalt määrata ebaühtluste piirjooni ja muutusi ajas. See aga on tähtis nende kujunemise mehhanismi mõistmiseks.

Siin võiks olla kasulik tehiskaaslase raadiosaadete üheaegne registreerimine mitmes maapealses punktis. Ebaühtluste ruumilist jaotust saaks tõenäoliselt uurida selliselt, et ühe tehiskaaslase raadiosignaale registreeriks teine, mis asub esimesest suhteliselt väikesel kaugusel.

Suure tähtsusega võib olla ionosfääris eneses tekkiva raadiokiirguse uurimine. Praegusel ajal teatakse näiteks,

Tehiskaaslase liikumine pidurdub atmosfääri mõjul kõige tugevamini perigees. See põhjustab peamiselt orbiidi apogee kõrguse muutumist. Nende muutuste kaudu saab määrata atmosfääri tihedust perigee piirkonnas.



et sagedusel umbes 70 megahertsi avastatav raadiokiirgus sünnib ionosfääris mõningate häirete puhul.

Ionosfääri tundmaõppimine, tema üksikute piirkondade ja ebaühtluste kujunemise mõistmine on võimatu ilma samaaegse magnetvälja ja nende kiirgusvoogude uurimiseta, mis annavad ionosfääriprotsessidele energiat, ilma elektrivoolude, atmosfääri ionkoostise ja väljastpoolt, planeetidevahelisest ruumist saabuva aine uurimiseta.

Ionosfääri enese uurimine on väga väärtuslik nii praktilistel eesmärkidel kui ka teiste geofüüsikaliste nähtuste uurimisel. Näiteks oletatakse juba ammu, et magnetvälja muutuv osa on seotud just võimsate elektrivooludega ionosfääris.

Ionosfääri tundmine on üsna tähtis ka kõrgatmosfääri ülddünaamika seisukohalt, liikumiste uurimiseks temas. Muidugi jätkatakse süstemaatiliselt tiheduse, temperatuuri, kõrgatmosfääri koostise, temas esinevate tuulte ning kõikide nende liikumiste energiaallikate uurimist.

Aastatel 1963—1964 — Päikese aktiivsuse miinimumi ajal — keetsid kõrgatmosfääri intensiivsed uurimised raketite ja tehiskaaslaste abil.

Usaldusväärsetele andmetele kõrgatmosfääri kohta, mis saadi aktiivsuse maksimumi ajal, lisanduvad andmed kõrgatmosfääri olukorra kohta «Rahuliku Päikese Aastal». Meie planeedi kõige kõrgemat, kõige liikuvat kesta uuritakse küllalt detailselt.

Kuid võib-olla polekski mõtet uurida kõrgatmosfääri nii laialdaselt, seda enam, et need uurimised on suhteliselt kulukad?

Teame juba, et ionosfääri tundmaõppimine on erakordselt suure tähtsusega lühilainesaadetele. Üldtuntud on

kõrgatmosfääri uurimised kosmoseaparaatidega. Kuid see pole kõik.

Praegu on teadmata atmosfääri üldise liikumise mehhanism, selle mõju mehhanism, mida liikumine üksikutes kihtides avaldab teistele kihtidele. Me juba meenutasime seost, mis on kindlaks tehtud Maa-lähedases kihis toimuvate meteoroloogiliste protsesside ja osoonisisalduse vahel stratosfääris. Mis on siin põhjuseks ja mis järelmõjuks? Kas piirdub seos meteoroloogiliste protsessidega ainult stratosfääriga? Need küsimused nõuavad vastust. Igal juhul ei välista mõned teadlased üldse võimalust, et ionosfääris toimuvad nähtused mõjutavad mingil moel ilma troposfääris.

Vaadeldes ionosfääris toimuvaid muutusi, võib hinnata neid muutusi Päikese kiirguses, mida väiksematel kõrgustel ei saa vaadelda vahetult, kuid mis mõjutavad atmosfääri Maa-lähedasi kihte. Sel juhul võiks ionosfäär osutada omapäraseks peegliks, milles peegelduksid meteoroloogilised nähtused.

Elektrivoolud, mis tekivad ionosfääris, avaldavad tugevat mõju magnetväljale, luues tema muutuva komponendi. Need muutused vähendavad navigatsiooni täpsust. Võimalik, et seda õnnestub vältida, kui saadakse teada ionosfääris eksisteerivate voolusüsteemide muutumise seaduspärasused. Praegu antakse navigatsioonikaartidel alaliste magnetanomaaliate suurused, edaspidi võidakse anda ka teised anomaaliad, mis sõltuvad mitte ainult kohast, vaid ka ajast. Üha reaalsemaks muutub tehismõju ionosfäärile. Näiteks 20 kilogrammi kemikaalide — kergesti ioniseerivate leelismetallide aurude väljapaiskamine võib esile kutsuda tiheda peegeldava kihi seal, kus teda varem polnud. Võimalikud on nähtavasti ka teised mõjutusvahendid, mis pole seotud suurte energiakuludega.

Terve rida probleeme, mis nõuavad kõrgatmosfääri edaspidist uurimist, on seotud kosmoselendude ajastu algusega, inimese väljumisega kosmilisse ruumi.

Kosmoselaevad saabuvad tagasi Maale läbi kõrgatmosfääri. Nimelt temale annavad nad oma kolossaalse kineetilise energia. Seepärast on selge, kuivõrd tähtis on tunda kõrgatmosfääri tihedust, keemilist koostist, elektrilisi karakteristikuid ja nende muutumist ajas.

Maale tagasi pöörduva kosmoselaeva aerodünaamilise kuumenemise kõrval on veel üks probleem — side katke-

mine mõningates kõrgustes, mille kutsub esile laeva ekraaneringimine teda sel ajal haarava ioniseeritud pilvega.

Gaasi osakesed võivad avaldada oma mõju tundlikele elementidele, mis asetsevad kosmoselaeva või automaatajaama pinnal, näiteks päikesepatareidele. Et otsustada selle üle, kui tugev on see mõju, tuleb muidugi teada gaasi koostist ja keemilist olekut.

Ionosfäär kõverdab kosmoseaparaadi juhtimiseks kasutatava raadiokiire teed. Kuigi suhteliselt kõrgete sageduste puhul on ionosfääri mõju väike, tuleb sellega ometi arvestada ka sageduste korral suurusjärgus sada megahertsi, kui on vajalik omada täpset kontrolli tingimustes, kus vaatekiir kulgeb silmapiiri lähedal.

Päike kulutab kolossaalset energiat kõrgatmosfääri gaaside ionisatsiooniks ja dissotsiatsiooniks. Nagu akumulaatorisse on sinna kogutud erakordselt suured energiavarud. Samal ajal on teada, et kosmoseaparaatidega kõrgatmosfääri jõudmine ja nende kiirendamine kosmiliste kiirusteni on seotud suure kütusekuluga. Seepärast on üsna ahvatlev idee kasutada kosmiliste aparaatide jaoks «kohalikke energiavarusid», mis on akumuleerunud kõrgatmosfääris. Eriti tähtis on see lendudele, mis toimuvad orbitaalsest liikumisest madalamal. Selle energia kasutamine pole muidugi kerge, kuid võib arvata, et inimene lahendab ka nimetatud probleemi.

... Raske on loetleda kõike kasulikku, mida annab kõrgatmosfääri uurimine, seda enam, et teaduse areng teeb oma korrektiivid kõige julgematesse programmidesse. Seepärast on kaheldamatu, et kõrgatmosfääri uurimine annab praktikas palju enam, kui oletatakse praegu.

J nimene elab õhuookeani põhjas. Maa-lähedase atmosfääri füüsikaliste karakteristikute muutumisest — sellest, mida me nimetame kliimaks ja ilmaks — sõltub väga tugevasti tema majanduslik tegevus, tervis ning sageli ka elü. Kestev põud või liigsed vihmad toovad enesega kaasa ikalduse, lumetuisud võivad raskendada transporti, tormides upuvad laevad ja isegi maismaal toovad orkaanid inimestele hukatust. Kuid siiani pole meie võimuses ära hoida niisuguseid stiihia kapriise ning sageli ei suuda me neid isegi õigeaegselt ennustada, vaatamata sellele, et tuhanded õpetlased kogu maailmas töötavad selle ülesande lahendamisel. Nende teenistuses on laialdane meteoroloogiline võrk, maailma sidesüsteem, mis võimaldab vahetada informatsiooni ilma olukorrast mitmesugustes maakera kolgastes, kaasaegsed matemaatilised meetodid, mille abil saab täpselt formuleerida füüsikaliste protsesside seaduspärasusi ning nende muutusi ajas ja ruumis.

Kuid oma kogemuste põhjal teame, et ilm sageli tunduvalt erineb prognoosidest. Kas arvutusmasinad tõesti teevad vigu?

Muidugi pole põhjus selles. Kõige tõenäolisem on, et teadlaste kätes on veel vähe informatsiooni maakera mitmesugustes piirkondades valitseva ilma kohta, veel ei mõisteta piisavalt meteoroloogiliste protsesside füüsikat, mis määrab õhumasside mehhaanika ja termodünaamika.

Tõepoolest, olemasolev jaamade võrk haarab ainult maismaa. Kaks kolmandikku Maa pindalast, mis on kaetud ookeanidega, jääb väljapoole meteoroloogide vaatevälja. Laevadelt teostatavad vaatlused on episoodilised ja ei anna sellist üksikasjalikku ning süstemaatilist informatsiooni, nagu seda oleks vaja ilma pidevaks kontrollimiseks. Aga kliima ja ilm sõltuvad ju ka merest. Just sealt eraldub meile nii vajalik niiskus, just meri annab paljude maakera piirkondade kliimale pehmuse. See tähendab, et ookeanil

toimivate meteoroloogiliste protsesside kontroll oleks kõikide meie veeressursside allikate kontroll ja mõningal määral ka soojusallika kontroll.

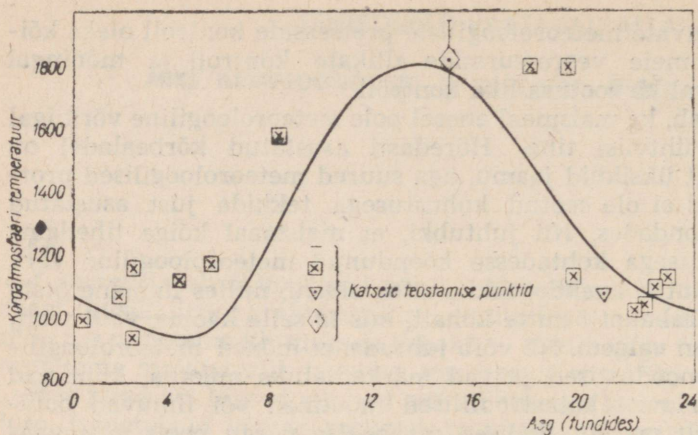
Jah, ka maismaal enesel pole meteoroloogiline võrk igal pool ühtviisi tihe. Hõredasti asustatud kõrbealadel on ainult üksikuid jaamu, aga suured meteoroloogilised protsessid ei ole seotud kohustusega tekkida just asustatud piirkondades. Nii juhtubki, et maismaal kõige tihedama asustusega kohtadesse koondunud meteoroloogiline võrk meenutab anekdootlikku situatsiooni, milles inimene otsib oma rahakotti mitte kohalt, kus ta selle kaotas, vaid sealt, kus on valgem. Nii võib juhtuda, et mõned meteoroloogilised moodustised jäävad märkamatuks niikaua, kuni nad omandavad katastroofilised mõõtmed või ilmuvad ootamatult merelt. Sellised maapealse võrgu poolt mittevaaeldavad tormid avastati real juhtudel esimeste meteoroloogiliste tehiskaaslaste abil ja ainult tänu nendele.

Teine põhjus, miks ilmaennustused pole alati õiged, seisab selles, et maapealsed uurimismeetodid ei võimalda täiel määral vaadelda niisuguseid nähtusi nagu pilvisuse arenemine ja muutumine suurtes ruumalades — piirdub ju ühest maapealsest punktist nähtav pilvedetsoon parimal juhul kümnekonna kilomeetriga.

Erinevat liiki pilved kujunevad õhu teatud kindla niiskuse ja temperatuuri juures, õhumasside liikumise teatud iseloomu juures. Seepärast, olles ilma tähtsaks elemendiks, iseloomustavad nad nimetatud liikumist näitlikult.

Kõik me oleme tõenäoliselt märganud, kuivõrd jahedamaks muutub ilm kuumal suvepäeval, kui Päike kattub pilvega. Isegi mõõtmetelt väike pilveke «haarab» märkimisväärse voo Päikese kiirgusenergiast ja peegeldab selle tagasi maailmaruumi. Asjaolu, et see energia ei jõudnud maapinnale, avaldab muidugi tugevat mõju ilmale, kuid maapealsetest jaamadest pilvisust vaadeldes pole seda just lihtne arvestada.

Maa ei saa energiat ainult Päikeselt. Nagu igasugune kuumutatud keha, kiirgab ta energiat maailmaruumi. Me ei märka Maa «helendumist», sest tema kiirgus langeb nähtamatusse, elektromagnetiliste lainete spektri infrapunasesse ossa. Maa atmosfäär laseb infrapunaseid kiiri teatavais sagedusvahemikes, nn. infrapunastes piludes, läbi küllalt hästi, kuid pilved on neile ületamatuks takistu-



Kõrgatmosfääri temperatuuri ööpäevased muutused arvatati tehiskaaslaste pidurdumise põhjal. Joonisel on näidatud, kuidas muutub kõrgatmosfääri temperatuur ööpäevas (mõõtmispunkti kohaliku aja järgi).

seks. Just seepärast on pilvitud ööd pilvistest külmemad: Maa pind jahtub või, nagu räägitakse, «külmeneb» kiiremini. Ka seda pilvede keerulist mõju ilmale on raske arvestada, teostades vaatlusi ainult maapealsetest jaamadest.

Sedasama võib öelda ka paljude teiste ilma avalduste kohta. Väga tihti juhtub, et suure linna ühes servas kallab vihma, aga teises mitte. Öhu temperatuur ja niiskus või maapinna temperatuur, tuule kiirus ja suund, mis on mõõdetud ühes jaamas teatud momendil, võivad mingil juhuslikul, arvestamata jäänud põhjusel erineda nendest keskmistest väärtustest, mis iseloomustavad kogu meteoroloogilist protsessi. Neil juhtudel räägitakse, et saadud väärtused ei ole representatiivsed, ei ole iseloomulikud. Tähen-dab, ei ole õige nimetatud suurusi mõõta ainult ühes punktis ja «omistada» seejärel suurele rajoonile, vaid nad peavad olema mingite keskmiste suurustena iseloomulikud kogu piirkonnale, kus teostatakse uurimisi.

Kuid pole veel loetletud kõik raskused. Teatavasti saab Maa-lähedane atmosfäär energiat maapinnalt, ja sellest sõltub tunduvalt tema liikumine. Kuidas aga määrata nii-

suguse aluspinna temperatuuri, nagu mets või isegi kõrge rohi?

Probleemide loetelu, mida ei saa lahendada, vaadeldes meteoroloogilisi protsesse maapealsete meetoditega, võiks veelgi jätkata. Kuid meil on praegu tähtis teha järeldus, et meteoroloogid pole süüdi, kui prognoosid on ebaõiged. Just vastupidi, tuleb hinnata nende oskust ja intuitsiooni, mis võimaldab neil anda õigeid prognoose, vaatamata tõsistele raskustele ilma kontrollimisel. Paljud küsimused saaksid lahendatud, kui mõõteriistad oleksid paigutatud tehiskaaslastele ja kui vaatlused toimuksid ülevalt.

TEHISKAASLASED FOTOGRAFEERIVAD PILVISUST

Tehiskaaslane teeb ringi ümber maakera enamasti vähem kui kahe tunniga. Liikudes ööpäeva kestel orbiidil, mis on lähedane polarsele, võib ta vaadelda suuremõõtmelisi pilvesüsteeme praktiliselt Maa kogu pinnal. Mitme tehiskaaslase üheaegne kasutamine võimaldab mitte vahele jätta isegi suhteliselt kiireid muutusi pilvkatte pildis. Tähendab, pilvesüsteemide fotografeerimine võimaldab otustada pilvisuse jaotuse ning arengu üle Maa mitmesuguste rajoonide kohal ja teha järeldusi atmosfääris toimuvate füüsikaliste protsesside seaduspärasuste kohta.

Niisugust fotografeerimist hakati teostama juba 1960. aastal pärast ameerika ilmastikusatelliidi «Tiros 1» ülesaatmist.¹⁸ Ja otsekohe andis see ka huvitavaid tulemusi. Avastati torme, mis Maa pealt jäid märkamatuks. Saadi ka kindlaid andmeid pilvesüsteemide kohta, mis iseloomustavad üht või teist meteoroloogilist protsessi.

Fotod võimaldasid avastada suuremõõtmelisi tsüklo-naalseid keeriseid, mille spiraalsed harud ulatuvad mõnikord tuhandete kilomeetrite kaugusele. Vahel on nendel keeristel mingi omavaheline sarnasus, kuid igaühel neist on ka oma detailsed karakteristikud, oma pilvisuse muster.

Pilvesüsteemide põhjal sai võimalikuks eristada kuiva ja niiske õhu masse, tuulte suunda ja «jugavoolusid», nör-

¹⁸ «Tirose» seeria 8 satelliidi järel viidi orbiidile täiustatud ilmastikusatelliidid seeriast «Nimbus»: «Nimbus 1» (26. aug. 1964) ja «Nimbus 2» (15. mail 1966), mis olid varustatud seadmetega nii päevaste kui ka öiste pilvede pildistamiseks. — R. P.

kade ning selgesti väljenduvate frontaalsete tsoonide olemasolu.

Omapäraseid pilvesüsteemid avastati mägipiirkondades. Nende tundmaõppimine võib osutada kasulikuks õhuvoolude — nõndanimetatud kohalikkude ehk orograafiliste tuulte — uurimisel mäeahelikkude kohal.

Ka Golfi hoovusel on omad pilvesüsteemid. See viitab kindla füüsikalise seose olemasolule aluspinna karakteristikute ja pilveliidide vahel.

Fotografeerimine kosmosest alles algas (muide, see on meteoroloogilistest eksperimentidest ainus, mis on käesolevaks ajaks tehiskaaslaste abil enam-vähem edukalt teostatud) ja selle abil võib edaspidi palju teada saada.

Suurest kõrgusest pildistatud heledad laigud (bliikid) mere pinnal on kasulikud ka tuule uurimiseks. Sõltuvalt tuule tugevusest ja suunast muutub ju mere pinnalainete iseloom, see aga muudab teatud määral bliikide asetuse üldist kuju.

Sel teel tutvuvad teadlased jääkatte jaotusega polaarmeredes, mis on väga tähtis mitte ainult jääolude vahetuks kontrollimiseks, vaid ka meteoroloogia seisukohalt, kuna jää avaldab atmosfäärile hoopis teistsugust mõju kui puhhas veepind.

Tähtis on registreerida ka maismaa lumikatet, muidugi siis, kui taevast pole sel ajal kaetud pilvedega. Pilvi ja lumikatet on ülesvõttel raske eristada — see on üks seni veel lahendamata meteoroloogilise uurimise probleemidest.

UNIVERSAALSED ABILISED

Fotografeerimine pole ainus aluspindade uurimise viis. Maa kiirgab spektri infrapunases osas, ja põhimõtteliselt võib selle kiirguse järgi määrata tema temperatuuri. Muidugi, mõõtmised peavad toimuma atmosfääris mitteneelduvate lainepikkuste diapsoonis. Kiirgustundlik andur võib oma kiirtega läbi kompida või, nagu räägitakse, «skaneerida» laia vööndi Maa pinnast, mis asetseb tehiskaaslase orbiidi all, aga igal järgneval orbiidi keerul on see pinnavöönd teine. Seega, isegi üks tehiskaaslane määrab temperatuuride jaotuse aluspinnal kogu maakera ulatuses.

Temperatuurid muutuvad küllalt kiiresti, seepärast on veel enam kui pilvesüsteemide fotografeerimise puhul va-

jalik omada mitut tehiskaaslast, mille orbiidid oleksid üksteise suhtes nihutatud.

Temperatuuride jaotus mere pinnal annab pildi hoo-
vustest meres. Tähendab, tehiskaaslastega võib uurida ka
merehoovusi. See aga pakub suurt huvi mitte ainult mete-
oroloogiale, vaid ka okeanoloogiale ja rahvamajanduse kõi-
kidele aladele, mis on nii või teisiti seotud merega. Tehis-
kaaslane kalatööstuse teenistuses — praegu kõlab see
pisut veidralt, kuid saabub aeg, mil me lakkame selle üle
imestamast, nagu me ei imesta tähtede kasutamise üle
navigatsioonis või lennukite kasutamise üle jääluures.

Soojuskiirguse järgi võib põhimõtteliselt määrata mitte
ainult aluspinna temperatuuri, vaid ka mõnede vahepeal-
sete atmosfäärikihtide temperatuuri. Näiteks, kui teostada
mõõtmisi vee neeldumisribas, siis kuulub määratav tem-
peratuur kihile, millest kõrgemal vett praktiliselt ei ole.
Sama võib ütelda mõõtmiste kohta osoonis ja süsihappe-
gaasi neeldumisribades, mis spektri infrapunases osas on
väga tugevad.

Tõsi, kõikide nende meetodite juures jääb püsima tea-
tav ebamäärasus selle kihi kõrguse suhtes, millele kuulub
määratav temperatuur. Eksisteerivad ka meetodilised
raskused, mis takistavad atmosfääri temperatuuri sondee-
rimist tehiskaaslastelt. Kuid mistahes raskusi sellel teel ei
saa lugeda ületamatuks.

Optiliste meetodite abil võib nähtavasti määrata mitte
ainult selle või teise gaasi sisaldust, mitte ainult tempera-
tuuri mitmesugustel kõrgustel.

Kiirguse üldise neeldumise järgi atmosfääri mingis
koostisosas, mille protsendiline hulk ajaliselt ei muutu,
näiteks süsihappegaasis või hapnikus, võib määrata selle
aine hulga kiirguse allika ja vastuvõtja vahel. Tähendab,
kui teame küllalt usaldusväärset maapinna pikalainelise
kiirguse intensiivsust mingis spektriribas, siis võime neel-
dumise järgi selles ribas arvutada atmosfääri rõhu maa-
pinnale.

Aga kuidas saada teada Maalt lähtuva kiirguse suu-
rust? Kas mitte üles seada spetsiaalseid rangelt kindlaks-
määratud suurusega kunstlikke kiirgusallikaid? Neid oleks
tarvis palju, nad peaksid olema väga võimsad ning nende
kiirgus suunatud. Ei, niisugune variant vaevalt kõlbaks.
Lihtsam ja odavam on uurida rõhu jaotust planeedi pinnal
«esiisade» viisil — baromeetrite ja barograafidega.

Aga kui mõõta kiirgust, mis on samasuunaline neeldumisribas mõõdetava kiirgusega, kuid lainepikkuselt temast pisut erinev ja mis atmosfääris üldse ei neeldu, asudes nõndanimetatud läbilaskvuse ribas, siis võib-olla oleksime õigustatud väitma, et meil on kiirgusallika võimsus ligikaudu teada ning võiksime tehiskaaslaselt mõõta rõhku atmosfääri Maa-lähedastes kihtides. Muidugi, see kõik on ainult printsiipiaalne võimalus, tegelik olukord on tunduvalt keerulisem.

Ookeani kohal võivad kõrgema ja madalama rõhu piirkondade erinevused avalduda tehiskaaslastelt mõõtes teisiti. On teada, et veepind peegeldab lühilainelist päikesekiirgust väga nõrgalt, pilvkate aga, vastupidi, väga hästi. Samal ajal on pilvkate madalrõhuala iseloomulik omapära, pilvisuse puudumine aga kõrgrõhuala iseärasus. Kui seda arvestada, siis ilmneb, et ookeanil asuva tsükloni kohal peaks vaadeldama peegelduva lühilainelise kiirguse tugevat voogu, antitsükloni kohal aga on peegeldunud voog nõrk.

Muidugi võib kõrge ja madala rõhuga piirkondade jaotuse üle otsustada ka tehiskaaslastelt saadud pilvkatte fotode järgi.

Edasi on teada, et osooni üldine sisaldus atmosfääris sõltub tugevasti meteoroloogilistest tingimustest madalamates kihtides. Kui selgub, et see sõltuvus on küllalt usaldusväärne ja kui õnnestub välja töötada osooni hulga määramise täpsed meetodid, siis muutuvad need andmed omapäraseks informatsiooniks meteoroloogilistest tingimustest, sealhulgas ka atmosfääri rõhust ühel või teisel tasemel.

Tõenäoliselt kasutatakse praktikas kõiki võimalikke andmete saamise viise rõhu jaotuse kohta, vähemalt nii kaua, kuni pole valitud üks, kõige usaldusväärsem, mida saab kasutada mistahes meteoroloogilistes tingimustes, mistahes päeva- ja aastaajal.

Optilisi meetodeid soovitatakse kasutada ka pilvede ülemise piiri kõrguse määramiseks, mõõtes päikesekiirguse neeldumist pilvedest kõrgemal asuvas kihis. Selleks tuleb muidugi valida atmosfääri mingi koostisosa neeldumisriba, mille koosseis mitmesugustel kõrgustel on varem teada. Vaadeldav kiirgus ei tohi läbida pilve. See on vajalik täielikuks veendumiseks, et registreeritakse üksnes pilvede ülemise osa poolt peegeldatud päikesekiirgust.

Kuid millist neeldumisriba eelistada? Ühed teadlased soovivad kasutada süsihappegaasi neeldumisriba lainepikkusega umbes kaks mikronit. Teised arvavad, et see on ebamugav, kuna ta kattub osaliselt vee neeldumisriba äärega (lainepikkus 1,87 mikronit), aga pilvedest kõrgemal võib veesisaldus olla veel küllalt suur. Sel põhjusel on parem kasutada molekulaarse hapniku neeldumisriba (lainepikkus 0,76 mikronit), mille sisaldus kõrgusega ka ajaliselt ei muutu.

Arvatakse, et nimetatud riba tuleks eelistada ka seepärast, et spektri selles piirkonnas on pilvede albeedo (peegeldamisvõime) suurem, tähendab päikesekiirgus lainepikkusega 0,76 mikronit peegeldub paremini, kui kiirgus lainepikkusega 2 mikronit. Muide, küsimus pilvede albeedost on selle meetodi valulapseks. Et võimalikult täpselt määrata pilvede ülemise piiri kõrgust, peab küllalt täpselt teadma nende albeedot.

Meteoroloogial ja seda enam atmosfäärifüüsikal on tähtis mitte ainult omada ilma ennustamiseks võimalikult täielikumat informatsiooni. Vajalik on informatsioon ka selle energiavoo kohta, mida atmosfäär saab vahetult Päikeselt ja Maalt, mida soojendab Päike.

Päikeseenergia jaotuse mõõtmiseks maakeral on vajalik teada Päikeselt saabuva energia jaotust, Maa pinnalt atmosfäärile antava ja vahetult maailmaruumi kiirguva energia jaotust jne., see tähendab, et on vaja teada kõiki energeetilise bilansi artikleid. Selle ülesande võib lahendada tehiskaaslastelt teostatavate kiirgusmõõtmiste abil. Esimesed sedalaadi katsed viidi läbi ameerika tehiskaaslasel «Explorer 7». Tõsi, need ei andnud praktika seisukohalt kuigi väärtuslikke tulemusi, kuid see ei tee lootusetuks järgmisi katseid.¹⁹

Tehiskaaslaste abil saab mõõta päikesekiirgust — nii otsest kui ka Maalt, pilvedelt ning atmosfäärist peegelduvat, samuti võib mõõta Maalt ja atmosfäärist eemalduvat infrapunast kiirgust.

Peale selle saab välgusähvatuste registreerimise järgi tehiskaaslastega uurida äikese jaotust maakera pinnal. Lõpuks, ilm on tingitud tuultest, mis püüavad Päikeselt saavat energiavoo ebaühtlast jaotust ühtlustada, «kompen-

¹⁹ «Nimbus 2» varustati spetsiaalse aparatuuriga maakera soojusbilansi mõõtmiseks. — R. P.

seerida ebaõiglust» soojuse jaotuses põhja- ja lõunalaiuste, maismaa ja mere, põhja- ja lõunapoolkera ning mitmesuguste maismaa ja mere osade vahel.

Kõik atmosfääriprotsessid moodustavad seega keerulise soojusmasina, mille mehhanismi tuleb uurida.

„KOSMOSEPROZEKTOR“

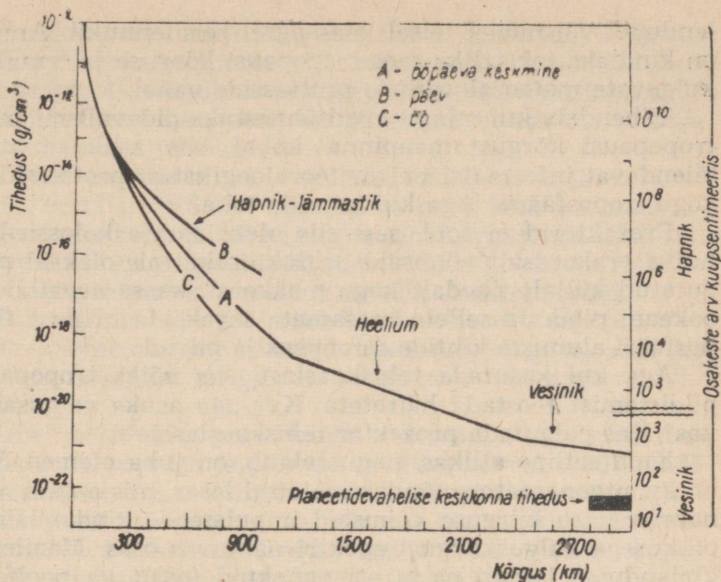
Aga kuidas uurida atmosfääri tolmusisaldust, määrata pilvede alumise piiri kõrgust? Selleks kasutatakse juba ammu «prožektorsondeerimise» meetodit.

On teada, et valguskiirt näeme kõrvalt ainult siis, kui ta läbib ähmast keskkonda, olgu see siis päikesekiir korteri tolmuses õhus või autolaterna kiir udus. Valgus hajub tolmu või vee pisimatel osakestel, mille tulemusena osa kiiri kaldub oma põhisuunast kõrvale ja satub vaatleja silma. Mida suurem on tolmusisaldus, seda suurem osa kiirtest tuleb vaatleja silma, seda eredam ja lühem näib valguskiir. Atmosfääri sondeerimise prožektormeetodis kasutatakse võimsa prožektori ülessuunatud kiirt, vaatleja silm kiire teel asendatakse valgustundliku aparaadiga. Selle näitude järgi arvutatakse tolmu või veetiljade sisaldust atmosfääris, mis etendab teatavat küllaltki tähtsat osa meteoroloogilistes protsessides.

See pole veel kõik. Tolmul on kalduvus koguneda seal, kus täheldatakse temperatuuri «inversioone», kus rikutakse «temperatuuri normaalset käiku», see tähendab tema alanemist kõrgusega.

Maapinna juures soojenenud õhk tõuseb vanaaegse õhupalli sarnaselt üles seepärast, et vaatamata tõusuga kaasnevale temperatuuri langemisele temas paisumise arvel, jääb ta ikkagi kergemaks ümbritsevast õhust — temperatuuri «normaalse käigu» juures on ümbritsev õhk ju ka seda külmem, mida kõrgemal ta asub. Kui aga soojenenud õhk jõuab inversioonikihini, osutub ümbritsev õhk temast kergemaks ja ta ei saa enam ülespoole tõusta, vaid jääb nagu laele toetudes peatuma, jättes sinna endaga toodud tolmu. Sellel tasemel kujunevadki pilved. Just inversioon on selle põhjuseks, et kuumal suvepäeval «ujuvad» kõik pilved ühel ja samal kõrgusel.²⁰

²⁰ Pilvede aluspinna kõrgus on määratud eelkõige kondensatsiooninivooga. Inversioon võib arvesse tulla ainult pilvede ülemise piiri kujunemisel. — R. P.



Rääkides kõrgatmosfääri tihedusest, tuleb märkida mitte ainult aastat, millal vaatlused toimusid, vaid ka vastavat aega ööpäevas. Nii tugevasti muutub tihedus ajas. Joonisel on näidatud tiheduse sõltuvus kõrgusest aastatel 1958—1960. Tiheduse muutumise erinev iseloom kõrguste teatud diapsoonides on tingitud kõrgatmosfääri koosseisu muutumisest kõrgusega. Kõver A annab kujutluse tiheduse keskmistest väärtustest mitmesugustel kõrgustel, kõverad B ja C kuuluvad vastavalt tiheduse päevastele ja öistele väärtustele. Graafiku parempoolses osas on võrdluseks märgitud gaasi tiheduse väärtused planeetidevahelises ruumis (mõnikümend osakest kuupsentimeetris).

Tähendab, uurides tolmu jaotust kõrguse järgi, võib langetada teatava otsuse ka temperatuuri jaotuse kohta kõrguse järgi.

Me teame, et eksisteerib alaline temperatuuriiinversioon, mis eraldab atmosfääri kahte alumist kihti — troposfääri, milles temperatuur kõrgusega väheneb, ja stratosfääri, kus temperatuur jääb konstantseks või pisut tõuseb. See on tropopaus.

Juba ammu on kindlaks tehtud, et tolmusisaldus on tropopausi kohal suurem kui tema naaberpiirkondades. Seda võib mõnikord näha ka palja silmaga TU-104 kõrg-

lendudel või mõnel teisel kaasaegsel reisilennukil. Ammu on kindlaks tehtud ka seos tropopausi kõrguse ja tema all kulgevate meteoroloogiliste protsesside vahel.

Tähendab, kui mingil viisil õnnestuks pidevalt määrata tropopausi kõrgust maapinna kohal, siis saaks tähtsat täiendavat informatsiooni meteoroloogilistest protsessidest kogu troposfääris. Aga kuidas seda teha?

Prožektorid ei sobi, sest siis oleks tarvis kolossaalset hulka erakordselt võimsaid prožektoreid, mis oleksid paigutatud küllalt tihedalt kogu maakeral, kaasa arvatud ka ookeani pind. Ja sellele vaatamata segaksid uurimist troposfääri alumiste kihtide sombusus ja pilved.

Aga kui kasutada tehiskaaslast, siis võiks tropopausi pildistamist teostada häireteta. Kus aga asuks valgusallikas? Kas paigutada prožektor tehiskaaslasele?

Kuid selline allikas, nagu selgub, on juba olemas. See on kvantgeneraator, nõndanimetatud laser, mis annab monokromaatse kiirguse võimsaid impulsse — kindla lainepikkusega valguskiirgust spektri nähtavas osas. Maailmakirjanduses leidub palju ettepanekuid (osalt ka poolfantastilisi) laserite kasutamise kohta kosmosetehnikas. Oletatakse, et kvantgeneraatorid võimaldavad järsult suurendada suunatud side kaugust elektromagnetiliste lainete optilisel diapasoonil ja üldse loovad erakordseid võimalusi sidepidamiseks; oletatakse ka, et võimsa valgusimpulsi rõhku saab kasutada kosmoseaparaatide liikumapanekuks.

Üldisest «innustusest» ei jäänud kõrvale ka meteoroloogia. Lääne ajakirjandus selgitab laseri kui omapärase prožektorid kasutamise viise. See, et laserid kiirgavad erinevalt prožektorist mitte pidevat valgusvoogu, vaid lühiajalist impulssi, ei kahjusta asja mingil määral. Isegi vastupidi. Kui orbiidil liikuva tehiskaaslase ja uuritava tropopausi vaheline kaugus on suur, siis võib sondeerimise meetodit pisut muuta ja mitte suunata kiirguse vastuvõtjat mingisse punkti kiire teel (selleks tuleks vastuvõtja paigutada teisele tehiskaaslasele), vaid võtta vastu see valguse impulss, mis on väljastatud impulsi omapäraseks peegelduseks hajutavalt kihilt. Kaugus kihini määratakse otsese impulsi kiirgamise ja peegeldunud impulsi vastuvõtmise vahelise aja järgi, nagu see toimub ka raadiolokatsiooni korral.

Laseri poolt kiiratava impulsi kestus on 0,2 mikrosekundit, võimsus võib aga ületada ühe megavati. Kiiratud kiire

lõigu pikkus on ainult 60 meetrit. See tähendab, et niisuguse sondeerimise juures võib nähtavasti eristada ka õhukesi aerosool- või pilvekihte, mis asetsevad üksteisest suhteliselt väikesel kaugusel, see tähendab, et saadakse kõrge ruumiline lahtusvõime.

Laseri impulss on väga võimas, seepärast on täiesti võimalik, et ta tungib läbi pilvede ja peegeldub ka maapinnalt, mis on kontrolliks hajutava kihi kõrguse määramisel. Tugevad on ka peegeldunud impulsid, mis võimaldab kiirguse vastuvõtjatena kasutada tavalisi fotokordisteid.

Sondeerides niiviisi tehiskaaslaselt atmosfääri, võib saada andmeid mitte ainult tropopausi kõrguse, vaid ka iga teise kiirgust peegeldava, hajutava või neelava kihi kohta.

Ühe ja sama impulsi käigu vaatlemise teel võib tõenäoliselt tropopausi ja pilvede kõrguse kõrval saada teada ka mesopausi, s. o. kõrgema temperatuuriinversiooni, samuti osoonikihi ülemise osa kõrguse (ka nende peegeldamisvõime). Võib saada informatsiooni ka kõikide troposfääris asuvate inversioonikihtide kohta.

Maapinnalt peegeldunud impulssi võib kasutada ka orbiidi kõrguse kontrollimiseks.

Valgus hajub ka tolmuvas atmosfääris — õhu molekulidelt. Niisugust hajumist nimetatakse reililikuks²¹.

Fotokordisti võtab seepärast peegeldunud impulsi vastu otsese impulsi kogu teel kuni maapinnani. Kihtides, kus hajumine on reililikust suurem, täheldatakse vastuvõetud signaali intensiivsuse kasvu, neeldumiskihtides on aga vastuvõetud signaali intensiivsus madalam kui juhul, kus neelavat kihti pole.

Tuleb märkida, et see viis ei ole veel täielikult välja töötatud, on esitatud ainult idee. Tolmu ja neelavate kihtide uurimiseks atmosfääris on olemas teised, täiuslikumad meetodid — mingilt allikalt tuleva valguse nõrgenemise põhjal, kui seda fotografeerida tehiskaaslaselt momendil, mil valgusallikas asub horisondil. Selliseks allikaks võib olla Päike.

Tolmu jaotuse uurimiseks tuleb valida need spektri osad, kus valguse hajumine tolmuosakestelt on palju suurem hajumisest õhu molekulidelt.

²¹ Inglise füüsiku J. W. Rayleigh'i (1842—1919) nimest, kes andis nähtusele seletuse. — *Tõlk.*

Meteoroloogiliste tehiskaaslastega võib saada väärtuslikku informatsiooni sademetetsoonide jaotuse kohta igal ajamomendil. Selleks tuleb kasutada sentimeetrilise diapsooniga raadiokiirgust, mis tungib läbi pilvede, kuid peegeldub veepiiskadelt.

Nagu teada, võimaldavad raadiolokaatorid juba praegu registreerida sademetetsoone teatavas piirkonnas raadiolokatsioonsondeerimise punkti ümber. Sedalaadi vaatluste edukus ja ka lennukitelt saadud raadiolokatsioonpeegelduste uurimine annab põhjust oletada, et niisugune pilvede ja sademete uurimise meetod on väga perspektiivne. Igal juhul, raadiolokatsioonseadme kasutamine on võetud USA ilmastikusatelliidi «Nimbus» tööprogrammi.

Raadiolokatsioonmõõtmiste lahusvõime lubab eraldada pilvisuse- ja sademetetsoone, saada kujutlust nende intensiivsusest ja pilvede kõrgusest. Selles mõttes on raadiolokatsioonmeetodid mõningal määral «konkurendiks» nendele pilvisuse fotograafilise ja optilise uurimise meetoditele, millega me juba tutvusime.

Raadiolokatsioonsondeerimisel võetakse vastu ka impulss, mis on peegeldunud Maa pinnalt. Seda võib kasutada pilvede kõrguse määramisel tausta nullpunktina, siis ei ole tarvis arvestada tehiskaaslase kõrguse muutusi, suunda on aga lihtsam korrigeerida, kui lokaatori kiir ei lange rangelt vertikaalselt. Meenutades rõhu määramise optilisi viise, võib arvata, et ka raadiolokatsioonsondeerimisel saab impulssi, mis annab kauguse Maa pinna ja orbiidi vahel, kasutada saadud rõhu taandamiseks sellele või teisele tasemele.

Raadiolokaatori sondeeriv kiir peab olema küllalt kitsas (et eristada väikesi pilvisuse- ja sademetetsoone), aga impulsi sagedus küllalt suur. Mida kõrgem on sagedus, seda suurem on ka sademetetsoonilt peegeldunud impulss. Kuid samal ajal, mida kõrgem on sagedus, seda enam nõrgeneb impulss atmosfääri läbides. Nagu näeme, on nõuded vasturääkivad. Järelikult on tarvis valida mingi optimaalne sagedus, mis annaks parimad tulemused.

Peale selle tuleb arvestada, et Maalt peegelduv impulss on sademetetsoonilt peegelduvast impulsist tugevam. Seepärast peab raadiolokatsioonmeetodite kasutamisel oskama eraldada mitmesugustelt objektidelt peegelduvaid im-

pulsse. Nende usaldusväärseks kindlaksmääramiseks võib ära kasutada asjaolu, et sademetetsoonilt peegeldunud impulss sõltub tunduvalt sagedusest. Maa pinnalt peegeldunud impulss on ikka ühesugune, millisel sagedusel ta ka poleks saadud. Tähendab, kui sondeerimist teostatakse samaaegselt kahel sagedusel, siis on Maa pinnalt ja sademetetsoonilt saabuvald signaale palju lihtsam eraldada.

Peegeldunud impulsside eristamiseks võib kasutada veel ühte asjaolu.

Vihmatilgad langevad Maale, kujutades seega liikuvat märklauda, kuna Maa on samal ajal liikumatu. Järelikult erineb sademetetsoonilt peegeldunud impulsi sagedus kiiratud impulsi sagedusest ja Maa pinnalt või mistahes teiselt liikumatult märgilt peegeldunud impulsi sagedusest.

Kõiki meetodeid madalatmosferaari optiliseks ja raadiotehniliseks uurimiseks tehiskaaslasega pole veel praktiliselt proovitud, nad ei ole veel saanud oma «tuusikut ellu». Veelgi enam, kaugeltki mitte kõik nende uurimismeetodite detailid pole veel küllalt selged ka teoreetilisest seisukohast. Võib juhtuda, et mõningate nende meetodite kasutamine kohtab ületamatuid raskusi, kuid samuti võib juhtuda vastupidist — esitatakse uusi uurimismeetodeid, aga ülesanded, mis on lahendatavad mõnel ülalkirjeldatud viisil, muutuvad tunduvalt laiemaks, kui praegu oletatakse.

Kõik need on alles ideed, mis vajavad nii teoreetilist töötlemist kui ka eksperimentaalset kontrolli. Nagu igal teiselgi alal, on idee ja tema realiseerimise vahel suur ja keeruline otsimiste, avastuste ja ebaõnnestumiste vaevarikas tee, mis on seaduspärane, aga mõnikord ka ootamatult edukas.

MISSUGUSED PEAVAD OLEMA ORBIIDID?

Isegi lihtsaid pilvesüsteemide piirjoonte fotosid on raske «siduda» maastikuga: kujutised ülesvõtetal on mõneti moonutatud maapinna kõveruse ja selle tõttu, et fotografeerimine toimub reeglina mingi nurga all vertikaali suhtes. Kuna liikumisel piki orbiiti muutub tehiskaaslase kõrgus, siis on ka ülesvõtete mõõtkava erinev.

Seepärast esitavad meteoroloogilised eesmärgid terve rea nõudeid tehiskaaslaste orbiitidele. Kõige mugavam on ilmselt ringorbiit. See võimaldab hoiduda tehiskaaslase

kõrguse paranditest vähemalt mõne tiiru kestel või mõne päeva jooksul.

Võimalikkude ringorbiitide lõpmatus hulgas on meteoroloogiliselt seisukohalt suurim tähtsus polaarsel ja ekvatoriaalsel.

Piki polaarorbiiti kulgeb tehiskaaslane Maa iga küllalt suure piirkonna kohal kaks korda ööpäevas. Üks kord näiteks liikumisel lõunast põhja ja päeval, teine kord liikumisel põhjast lõunasse ning öösel, või vastupidi. Kui tehiskaaslane on üles saadetud põhja suunas näiteks kohalikul keskpäeval, siis löikab ta umbes samal ajal (kohaliku aja järgi) ka kõiki laiusi seni, kuni ületab põhjapooluse. Pärast seda liigub ta teisel poolkeral, lõigates kõiki laiusi kohalikul keskööl.

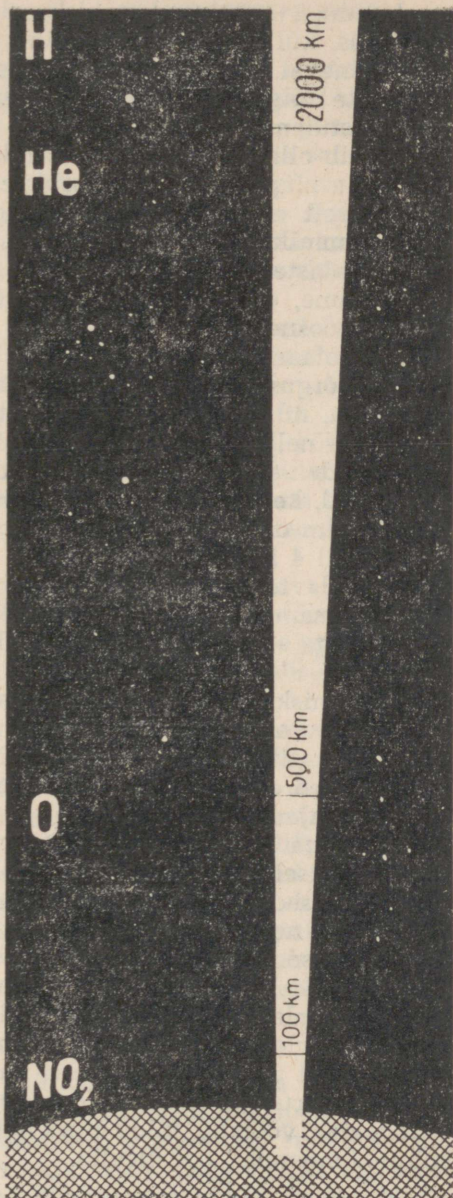
Maa liikumise tõttu ümber Päikese muutub tehiskaaslase läbimineku kohalik aeg nelja minuti võrra ööpäevas. Et poleks vaja sisse viia ööpäevaseid parandeid, on tarvis, et tehiskaaslase orbiidi tasand jääks liikumatuks mitte ruumi, vaid Päikese ja Maa tsentreid läbiva tasandi suhtes, mis tiirleb koos Maaga. Selleks tuleb pidevalt muuta orbiidi asendit nurga võrra, mis vastab selle tasandi pöördumisele.

Selgub, et niisuguse korrigeerimise sisseviimiseks pole vaja kasutada spetsiaalseid mootoreid. Seda võib teha Maa ise. Ette rutates ja mitte peatudes niisuguse mõju detailidel, võib märkida, et see toimub tänu Maa lapikusele pooluste juures ja avaldub siis, kui orbiidi tasand on kallutatud ekvaatori tasandi suhtes nurga all, mis erineb nullist ja üheksakümnest kraadist.

Tähendab, tehiskaaslane tuleb üles lennutada niisuguse, võimalikult 90° -le lähedase nurga all, et orbiidi tasand Maa lapikuse mõjul pöörduks vajalikus suunas nurga võrra, mis vastab Maa ümber Päikese tiirlemise poolt esile kutsutud nihkele.

500 kilomeetri kõrgusel kulgeva orbiidi puhul tuleb siis tehiskaaslane viia mitte polaarorbiidile, vaid ekvatoritasandi suhtes 97° võrra kallutatud (lugedes ekvaatoril võetud idasuunast) orbiidile. Siis kompenseerib orbiidi pretsessioonihikumine täpselt tehiskaaslase läbimineku kohaliku aja muutumise ja hoiab endiselt «vaateväljas» planeedi kogu pinna. Tehiskaaslane jääb praktiliselt polaarseks ja koos sellega läheb üle maakera iga punkti ühel ja samal kohalikul ajal.

Atmosfäär on erinevates kõrgustes oma koostiselt erinev. Alumistes kihtides koosneb ta peamiselt lämmastikust ja molekulaarsest hapnikust. Kõrgemal kui sada kilomeetrit ilmub atmosfääri atomaarne hapnik, mis hiljem muutub atmosfääri põhiliseks koostisosaks. Veel kõrgemal, umbes viiesajast kuni kahe-kolme tuhande kilomeetrini, koosneb atmosfäär peamiselt kergest inertsest gaasist — heeliumist, aga veelgi kõrgemal, 20 000 kilomeetri kõrguseni, laiub vesinikust geokroon. Selline õhu difuusne jaotumine avastati katseliselt kosmoseuurimiste käigus.



Muidugi, vaatlused tehiskaaslastelt on väärtuslikud isegi siis, kui tehiskaaslased lähevad üle erinevate punktide erineval ajal, kuid see raskendab tunduvalt saadud vaatluste tõlgendamist. Selle asemel et teha parandusi mõõtmistulemuste töötlemisel, on palju otstarbekohasem ning võib-olla ka lihtsam kõrvaldada need ülessaatmisel. Kui luua niisuguste tehiskaaslaste süsteem, siis üks neist on alaliselt «keskpäevane-kesköine», teine — «kella neljane hommikul — kella neljane õhtul» jne., sõltuvalt tehiskaaslaste arvust.

Oletame, et eksisteerib juba seitsmest ilmastikusatelliidist koosnev süsteem. Kuus satelliiti liiguvad piki «kvaasipolaarseid» ringorbiite, mis asetsevad tuhande kilomeetri kõrgusel ja on üksteise suhtes pikkuses nihutatud 60° võrra, nii et neist igaüks asub ühe ja sama punkti kohal iga nelja tunni tagant. Neist kolm tehiskaaslast on «päevased» — nad läbivad teatud punkti ütleme kell 8 hommikul, keskpäeval ja kell 4 päeval kohaliku aja järgi; teised kolm on «öised», nad mööduvad kell 8 õhtul, keskööl ja kell 4 hommikul. Etteantud momendil peavad kõik «päevased» tehiskaaslased asuma ühel ja samal laiusel, ühel ja samal poolkeral, näiteks põhjapoolkeral, kõik «öised» aga — sellesama laiuse kohal, kuid vastaspoolkeral.

Kui tehiskaaslaste orbiidid asetsevad küllalt kõrgel, siis võib olla veendunud, et ükski suur pilvesüsteem ei jää vaatlusest välja üle tunni aja. Selline meetod võimaldab saada meteoroloogilist informatsiooni kogu maakera kohta kindlatel ajamomentidel.

Noh, aga seitsmes tehiskaaslane? See peab liikuma ekvatoriaalsel orbiidil. Kuigi ka polaarsel orbiidil liiguvad tehiskaaslased lõikavad ekvaatorit, siis just selles piirkonnas asuvad nende orbiidid üksteisest kõige kaugemal. See pärast on soovitatav, et ekvatoriaalsete piirkondade jaoks oleks veel ka «oma isiklik» tehiskaaslane. Muidugi, et see sagedamini läheks üle ekvaatori iga punkti, peaks tema ringorbiit olema suhteliselt madal. Näiteks, kui orbiit asuks Maast tuhande kilomeetri kaugusel, siis teeks tehiskaaslane tiiru ümber Maa 105 minutiga ja võiks seejuures «vaadelda» vööndit, mida piiravad põhja- ja lõunalaiuse kolmekümnendad paralleelid.

Tehiskaaslaste liikumise iseloom on väga soodne mitte ainult planetaarseteks vaatlusteks, vaid ka saadud informatsiooni üleandmiseks maakera mistahes punkti, mis asetseb otsese nähtavuse tsoonis ning kus siis seda informatsiooni võib kasutada. Muidugi, Maa peal peavad olema spetsiaalsed vastuvõtijaamad ja seadeldis kolossaalse hulga meteoroloogilise informatsiooni töötlemiseks. See töö peab toimuma erakordselt kiiresti, prognoosiga ei või oodata.

Praegu, mil on välja saadetud alles esimesed ilmastikusatelliidid, on raske kujutleda, milliseks kujuneb andmete saamise, nende töötlemise ja kõikidele meteoroloogilistele tsentrumitele edasiandmise üldskeem. Võimalik, et osaline töötlemine viiakse läbi tehiskaaslastel enestel, võimalik ka, et informatsiooni üleandmiseks hakatakse kasutama planeetaarset kolmest «statsionaarsest tehiskaaslasest» koosnevat süsteemi, millest nii palju ja sageli kirjutatakse käesoleval ajal.

Meteoroloogia seisab suurte võimaluste lävel. Muutub reaalseks teadlaste unistus omada tõeliselt ülemaailmset ja täiesti objektiivset ilmakaarti mistahes ajamomendil, kaarti, mida võiks pidada omalaadi hetkeliseks fotoks ilmast kogu maakeral.

Täna ületab inimene planeedi külgetõmbejõu, aga homme ei taha ta leppida looduse ebaõiglusega rikkuste jaotamisel maakeral, ei taha alluda stiihia kapriisidele. Uurinud üksikasjalikult atmosfääri soojusmasina mehhanismi, leiab ta selle «nõrgad lülid», mida teadlikult mõjustades võib ta reguleerida atmosfääriprotsesside üldkulgu.

Mõtet kliima ja ilma mõjustamisest hakkavad üha sagedamini ja sagedamini väljendama väga paljud inimesed. Esitatavad konkreetset meetodid pole vabad puudustest, alati leidub neile vastuväiteid, mis on samal või isegi suuremal määral põhjendatud, kui argumendid nende kasuks.

Võimalus aktiivselt mõjustada kliimat ja ilma sõltub lõpuks sellest, kas need või teised atmosfääriprotsessid on stabiilsed või ebastabiilsed. Kui protsess on stabiilne, siis läheks tema muutmiseks vaja suuri energiahulki, aga vaevalt oleks see otstarbekas. Niisugust protsessi peab oskama ennustada, et siis «kohaneda» tema edaspidise arenguga.

Vastupidi, kui protsess on ebastabiilne, siis võib tema kulgu muuta, kulutades selleks suhteliselt väikesi energiahulki. Taolist protsessi on kergem muuta kui ennustada. Seda enam, et ennustamise usaldusväärsus pole suur — alati võib ilmuda mingi juhuslik põhjus, mingi ettenägematu tõuge, mis sunnib atmosfääri muutma oma omadusi uues suunas.

Nii või teisiti, aga atmosfääriprotsesside stabiilsuse üle otsustamiseks on vajalikud atmosfäärifüüsika edasised uurimised, atmosfääri üldtsirkulatsiooni tundmaõppimine, s. t. tema liikumiste vaatlemine planetaarses ulatuses. Tehiskaaslased ja raketid võivad osutada selleks efektiivseks vahendiks, mis võimaldab täita puuduvaid lülisid meie arusaamades atmosfääriprotsessidest, andes planeetaarsete liikumiste usaldusväärseid arvulisi karakteristiku-
kuid.

Võib arvata, et suurt osa kliima ja ilma aktiivse mõjustamise teede otsimisel Maal etendab vee planetaarse ringlemise uurimine, pilvisuse, sademete uurimine. Asi pole üksnes selles, et pilvisust on kergem mõjustada kui temperatuuri või rõhku, — juba praegu osutub võimalikuks avaldada mõju mõnedele pilvisuse liikidele suurel pindalal. Asi pole ka selles, et atmosfääris oleva vee üleminek ühest agregaatolekust teise annab atmosfäärile või võtab temalt ära palju energiat. Pilved on suurepäraseks ekraaniks, mis järsult muudab Maale langeva päikeseenergia üldvoogu. Sel teel võivad pilved ka tunduvalt mõjutada atmosfääri üldtsirkulatsiooni.

Praegu pole eksperimentaalseid andmeid selle kohta, kui tugevasti muutub atmosfääri tsirkulatsioon pilvisuse mitmesugustes tingimustes; selleks peavad kaasa aitama planetaarsed uurimised tehiskaaslastega. Meie järeldus pilvede osast kliima muutmisel on puhtalt oletus.

Kui rääkida näidetest, siis võiks viidata ühele teooriale, kuigi ka see on ainult hüpotees ja tal ei ole tegelikult eksperimentaalseid tõestusi. Jah, aga kuidas neid saada, kui jutt on meie planeedi kaugest minevikust?

On teada, et Maa ajaloo oli mitu jääaega. Me ei tea, mis oli nende põhjuseks. On loomulik oletada, et nad tekkisid aeglase ja kestvate muutuste tulemusena Päikese tegevuses. Ja ilmneb, et jäätumine võib alata mitte ainult siis, kui Päike jahtub, vaid ka siis, kui Päikese energiavoog suureneb. Seejuures temperatuur tõuseb (peamiselt ekva-

toriaalpiirkondades) ja tugevneb aurumine. Tugevneb atmosfääri üldtsirkulatsioon, mis on esile kutsutud temperatuuri erinevusest ekvaatoril ja poolustel. Paravöötmes ja polaarrajonides suureneb pilvisus järsult ning selle järelalusena väheneb päikeseenergia juurdevool, suureneb ka sademete hulk, mis temperatuuri alanemise tõttu langevad maha lume näol. See aga omakorda vähendab energiahulka, mida neelab maapind paras- ja polaarlaiustel, ning soodustab jäätumist, mis levib lõuna suunas.

Kas see tõepoolest nii toimus, on raske otsustada. Oletus, et jäätumist kutsuvad esile perioodilised muutused maapõue soojuses või lihtsalt Päikeselt saabuva soojushulga otseses vähenemises, on muidugi ka võimalik, kuid see ei seleta hiljuti kindlaks tehtud fakti, et jäätumine lõuna- ja põhjapiirkondades oli erinev. Antarktikas oli viimane jääaeg näiteks peaaegu kakskümmend korda nõrgem kui põhjapoolkeral.²²

On võimalik, et just erinevus maismaa jaotuses viiski atmosfääritsirkulatsiooni erinevale arengule, erinevale allumisele energiabilansi muutustele — «esimest liiki soojusmasina» töörežiimi muutumise kõrval, mille olemasolu on tingitud soojuslikust kontrastist ekvatoriaal- ja polaarpiirkondade vahel, pidi ju muutuma ka «teist liiki soojusmasina» töörežiim, mis on tingitud kontrastist mere ja maismaa vahel. Maismaal säilis kauem lumi, mis peegeldas päikesekiiri isegi siis, kui ilmusid tühimikud pilvedes...

Kliimale ja ilmale mõjuvad tugevasti ka hoovused. Selle näiteks on Golfi hoovuse mõju Euroopa kliimale. Kahtlemata on see sõltuvus vastastikune ja tema mehhanism küllalt keeruline. Selle selgitamiseks on jällegi vajalikud kestvad ja täpsed planetaarsed uurimised.

Võib arvata, et praegu pole olemas vaieldamatuid ja täielikult põhjendatud atmosfääriprotsesside mõjutamise meetodeid üksnes seepärast, et me ei tunne küllaldaselt nende protsesside mehhanismi, et käesoleval ajal on selles ülesandes veel liiga palju «tundmatuid».

Just neid ongi vaja määrata ilmastikusatelliitide abil.

²² Jääaegade tekke teooriaist on tuntumaid jugoslaavia geofüüsiku ja matemaatiku M. Milankovitši teooria. Selle järgi on jäätumine määratud põhjapoolkerale suvel langeva päikesesoojusega, mis sõltub muutustest Maa orbiidi ekstsentrilisuses, perigees ja telje kaldes. — R. P.

Kui paradoksaalne see esimesel pilgul ka ei tundu, kuid tehiskaaslased, mis liiguvad atmosfääris nii kõrgel, et me neid mõnikord mitte ainult palja silmaga, vaid ka kõige täiuslikumate optiliste instrumentidega ei näe, võivad «vaadata» läbi Maa.

Imesid siin pole. Tehiskaaslane allub oma liikumisel piki orbiiti Maa külgetõmbejõule. Kui maa oleks täpselt kera ning mass temas ühtlaselt jaotatud, siis kujutaks tehiskaaslase orbiit ellipsit või erijuhul ringi — muidugi, kui seejuures unustada ka Kuu ja Päikese olemasolu.

Maa tegelik kuju pole kera ja mass on temas jaotatud ebaühtlaselt. Seepärast allub tehiskaaslane teda kinni hoidva jõu muutustele nagu vette visatud laast teda haaranud voolule. Vaadeldes laastu liikumist, võib näha voolu liikumise iseloomu. Täpselt samuti võib tehiskaaslase liikumise järgi «näha» planeedi gravitatsioonivälja ebaühtlusi ning nende põhjal otsustada ka massi jaotuse ebakorrapärasuse ja Maa siseehituse üle.

Kogu teaduse ajalugu, mis uurib Maa kuju, jaguneb tinglikult mitmeks kestvuselt ebavõrdseks perioodiks. Esimene — «sfääriline» — algab antiikkreeka matemaatikust, astronoomist ja geograafist Eratostenesest, kes esmakordselt määras Maa ligikaudsed mõõtmed; teine — «ellipsoidaalne» — Newtonist ja prantsuse geodeetidest. Ja kolmas periood — «geoidaalne» — algab sellest ajast, kui meie sajandil avastati, et Maa kuju on üpris keerulisem . . .

Mõiste «geoid» tähendab võrdse potentsiaaliga (ekvipotentsiaalset) pinda merepinna tasemel, millega raskusjõud kõikides punktides on risti. Kui meie planeedil puuduks maismaa, siis kujutaks geoid enesest sellise kujuteldava maailmaookeani pinda.

Ekvipotentsiaalseid pindu saab määrata Maalt ja tehiskaaslaste abil. Kuid tuleb märkida, et nendes määrangutes on oluline erinevus.

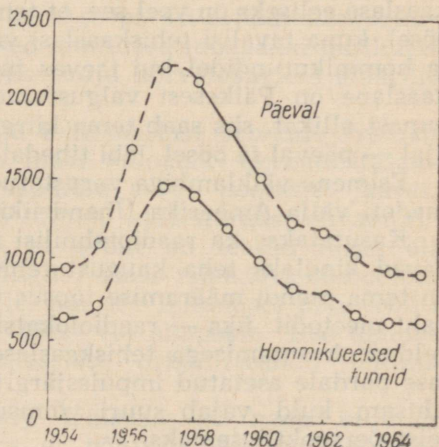
Maa pöörleb ümber oma telje, ja seepärast lisandub raskuskiirendusele kesktõmbekiirendus. See on kõige suurem ekvaatoril, poolustel aga puudub üldse. Kõik mõõtmised maapinnal sisaldavad seda kiirendust, kuid tehiskaaslaste liikumisele ta mõju ei avalda; nende liikumine sõltub ainult külgetõmbejõust.

TEHISKAASLASED – MAAMOÕTJAD

Teatavasti määratakse ühe punkti asend teise suhtes praegu triangulatsiooniga, see tähendab kolmnurkade lahendamisega, millistes on täpselt teada üks külgedest, nõndanimetatud baas, ja kaks nurka. Maismaad võib nii mõõdistada, ookeanil seda loomulikult teha ei saa. Tuli leppida astronoomia meetoditega, kuid nende täpsus ei rahulda enam kaasaegse praktika nõudeid. Käesolevaks ajaks osutusid mandrid kaetuks tiheda geodeetilise võrguga, millel kõikide punktide asend oli määratud väga suure täpsusega. Omavahel aga polnud need võrgud seotud, kaugused mandrite vahel ja üksikute saarte asukohad olid määratud üsna jämedates joontes.

See ongi üheks kõige kergemaks ülesandeks, mida saab lahendada tehiskaaslaste abil. Kõige lihtsamal juhul pole isegi tarvis teada tehiskaaslase orbiiti. Teda vaadeldakse lihtsalt kui triangulatsiooni liikuvat punkti, mille kolme-

Rakettide ja tehiskaaslastega teostatud uuringud võimaldasid mitte ainult määrata kõrgatmosfääri temperatuuri, vaid ka uurida selle muutumise iseloomu Päikese aktiivsuse tsükli kestel. Graafikul on kujutatud kõrgatmosfääri temperatuuri päevane ja öine muutumine. Pideva joonega on näidatud vaatlustega kindlaks tehtud muutused, punktitiiriga — arvutatud.



mõõtmelisi koordinaate võib ühel ja samal ajamomendil vaadelda mitmest geodeetilisest punktist, sealhulgas ka ookeani vastaskallastel asetsevatest punktides, kui tehiskaaslase orbiit on küllalt kõrge. Kolm järjestikust tehiskaaslase asendi määramist, mis on teostatud samaaegselt maapinna erinevatest punktides, annavad küllaldaselt lähteandmeid ülesannete lahendamiseks nende kahe punkti vastastikuse sidumise kohta.

Selleks aga, et saavutada vaatluste tegelikku sünkronisatsiooni, nende teostamist ühel ja samal momendil, on vajalik väga täpselt määrata aeg. Asi on selles, et kui tehiskaaslane liigub kiirusega umbes seitse kilomeetrit sekundis, siis annab eksimine aja määramisel tuhandiku sekundi võrra kauguse määramisel vea, mis võrdub seitsme meetriga, aga see on juba tunduv viga.

Nimetatud viga saab vältida mitmel viisil. Üks neist, suhteliselt ligikaudne, seisneb selles, et tehiskaaslase trajektoori lõikude asendid erinevate punktide suhtes määratakse ajas väikese täpsusega ja täpsuse puudumine kompenseeritakse niisuguste vaatluste suure arvuga. Selleks kasutatakse mistahes tehiskaaslast, mida saab vaadelda üksteisest väga kaugel asuvatest jaamadest, kui tema koordinaatide määramine toimub küllaldaselt täpsusega.

Teine viis on hoopis täpsem. Tehiskaaslasemale asetatakse välklamp, mis annab teatud ajamomendil väga eredaid ja lühiajalisi impulsse. Siis piisab, kui registreerida välgatust fotograafilisel meetodil kahest punktist. Niisuguse tehiskaaslase eeliseks on veel see, et tema asendit võib määrata öösel, kuna tavalisi tehiskaaslasi vaadeldakse ainult öhtu- ja hommikutundidel, kui taevast juba tumeneb, aga tehiskaaslane on Päikesest valgustatud. Kui kasutada infrapunast allikat, siis saab tema kiirgamist registreerida igal ajal — päeval ja öösel, läbi tihedate pilvede ja ka udu.

Esimene välklambiga varustatud tehiskaaslane «Anna» saadeti välja Ameerika Ühendriikides 1962. aasta sügisel.

Kasutatakse ka raadiotehnilisi meetodeid, mis võimaldavad kindlaks teha kaugust tehiskaaslaseni. Seejuures on tema asendi määramise täpsus üsna suur. Soovitatakse kaht meetodit: üks — radiolokatsiooniline, passiivse peegelduse kasutamise tehis-kaaslaselt, teine — tehiskaaslase pardale asetatud impulssjärgija abil. Esimene viis on lihtsam, kuid vajab suuri võimsusi, seepärast peetakse teist perspektiivsemaks.

Raadiomeetodite kasutamine tehiskaaslase asendi määramiseks on seotud veel ühe raskusega: tuleb arvestada raadiokiirte refraktsiooni (kõverdumist) ionosfääris. Tähendab, selline meetod sõltub suurel määral ionosfääri tundmisest. Võiks muidugi loobuda nurkade mõõtmisest ja piirduda kauguste mõõtmisega, kuid siis oleks ülesande lahendamiseks palju vähem andmeid ja vaatluste arvu tuleks vähemalt kaks korda suurendada. Sealjuures oleks kontrolliks tehiskaaslaste vaatlemine teistest, küllalt kaugetest rajoonidest, mis on geodeetilise võrgu kaudu seotud põhipunktidega, kus toimub mõõtmine.

Võib püstitada ka vastupidise ülesande. Kui me täpselt teame tehiskaaslase asendit (vaatluste järgi mitmest, vähemalt kolmest tugijaamast), siis saab määrata iga teise jaama koordinaadid, kui sealt teostada tehiskaaslase asendi täpset vaatlust. Sel teel saadud koordinaatide võrdlemine jaama geodeetilise sidumise tulemustega lubab määrata geoidi pinda selles punktis.

PLANEEDI TÄPSE KUJU MÄÄRAMINE

Geoidi kõrgus ellipsoidi kohal võib olla kõigest mõnikümmend meetrit. Loomulikult nõuab niisugune Maa kuju määramine küllalt suurt täpsust, mida tagavad fotograafilised vaatlused. Kuid on olemas ka teisi meetodeid. Kõige lihtsam neist on tehiskaaslase tegeliku liikumise analüüs Maa suhtes. Maa pole ju kera, seepärast orbiidi asend ruumis muutub. Need aeglased muutused lubavadki üksikutel juhtudel mõõta Maa tõelise kuju kõrvalekaldeid sfäärilisest.

Kõige tugevamat mõju tehiskaaslase orbiidile avaldab Maa ekvatoriaalne kühm, massi «ülejäak» ekvaatoritasandil, mis saadakse Maa lapikuse arvel pooluste juures. Selle massi mõju sõltub orbiidi kaldenurgast ekvaatoritasandi suhtes. Oletame, et orbiit on teatud nurga all kaldu. Siis moodustab «liigne» mass täiendava tõmbejõu, mis mõjub tehiskaaslasele, kui see liikumisel piki orbiiti satub ekvaatoritasandist üles- või allapoole. See tõmbejõud püüab viia tehiskaaslase orbiiditasandit ühtima ekvaatoritasandiga.

Et piki orbiiti liikuv tehiskaaslane nagu kujutab gigantset güroskoopi, siis ei põhjusta niisugune tõmme

kaldenurga muutumist, vaid tema orbiidi aeglast pöördu- mist Maa pöörlemistelje suhtes.

Ekvatoriaalse massi tõmme mõjub katkematult. Selle tulemusena pöörleb tehiskaaslase orbiit pidevalt Maa telje suhtes. Punktid, milles orbiit lõikab ekvaatoritasandit, nihkuvad piki ekvaatorit suunas, mis on vastupidine tehiskaaslase liikumisele. Seda liikumist nimetatakse seepärast orbiidi sõlme tagurpidiliikumiseks. Selle liikumise kiirus ulatub nelja kraadini ööpäevas ja on kergesti mõõdetav isegi suhteliselt ligikaudsete vaatluste teel.

Muidugi, kui orbiit on ekvaatoritasandi suhtes kaldu üheksakümnekraadise nurga all, teiste sõnadega, kui ta on polaarne, siis tasakaalustub ekvatoriaalsete masside mõju ühelt ja teiselt poolt ning mingit orbiidi pöörlemist ei esine. Orbiit säilitab oma asendi maailmaruumi suhtes, kuid Maa suhtes muutub tingituna tema pöörlemisest oma telje ja tiirlemisest Päikese ümber. Viimast asjaolu juba mainiti, kui oli juttu kõige mugavamate orbiitide valikust ilmastikusatelliitidele. Seal sai Maa lapikuse arvestamisega orbiiti orienteerida Päikese suhtes kindlasse asendisse.

Maa lapikusega poolustel seletatakse ka teist, nõrgemat efekti — ellipsi peatelgede pööret, see tähendab orbiidi pööret telje suhtes, mis on tema tasandiga risti. Selle tagajärjel nihkub orbiidi perigee piki orbiiti, mis võimaldab mõõta kõrgatmosfääri tihedust mitmesugustel geograafilistel laiustel.

Kui Maa oleks ekvaatori suhtes täiesti sümmeetriline, siis pöörleksid ellipsi teljed konstantse kiirusega, kuid tehiskaaslaste liikumise vaatlustega avastati, et nende konstantse pöörlemisega liituvad võnkumised, mis on esile kutsutud Maa ebasümmeetrilisusest.

Niisugused orbiidimuutuste vaatlused ei anna täielikke andmeid planeedi raskusvälja iseloomu kohta, sest Maa pöörleb kiiresti ümber oma telje, ja kõik Maa külgetõmbejõu potentsiaali muutused geograafilise pikkuse järgi keskmistuvad aeglaste orbiidimuutuste vaatlemisel. Pii- ratud on ka geoidi nende ebatasasuste kõrgus, mida saab sel teel määrata.

Geoidi «kolmeteljelisuse» määramiseks tuleb kasutada tehiskaaslasi, mis on saadetud polaarorbiitidele ööpäevase või kaheteistkümnetunnilise tiirlemisperioodiga. Kolme- teljelisus põhjustab tehiskaaslase orbiidi perigee ja sõl- mede aastasi muutusi, kusjuures perigee muutused on

tunduvalt suuremad Kuu orbiidi vastavatest muutustest.

Asjaolu, et niisuguse tehiskaaslase orbiit on risti ekvaatoritasandiga, on väga väärtuslik, sest uurimistulemustele ei avalda siis mõju Maa lapikus.

Tehiskaaslaste abil saab uurida ka Maa raskusvälja «peenstruktuuri», see tähendab anomaaliaid mõõtmatega mõnest tuhandest kilomeetrist kuni piirini, mis on niisuguste uurimismeetoditega kindlaks tehtud. Kui tehiskaaslased ületavad raskusvälja anomaaliate rajoone, siis kalduvad nende liikumistrajektorid pisut kõrvale. Suurt pindala haaravate kõige tugevamate anomaaliate kohal on need kõrvalekalded üle 100 meetri. Kuid selliseid anomaaliaid on vähe ja nende poolt esile kutsutud trajektoride kõrvalekalded on reeglinaunduvalt väiksemad.

Tehiskaaslane läheb üle anomaaliarajooni väga ruttu. Et määrata selle suurust, on vajalikud tehiskaaslase liikumise täpsed vaatlused. Nimetatud eesmärgiks võib kasutada välklambiga varustatud geodeetilist satelliiti.

On olemas veel üks tee: tehiskaaslane saadetakse orbii-dile, kus ta hakkab liikuma perioodiga, mis võrdub ööpäevaga või mõne selle täpse osaga — poolega, kolmandikuga jne. Sellised orbiidid on väga kõrged (ööpäevane — umbes 36 000 kilomeetrit), külgetõmbejõu anomaaliad avalduvad nõrgalt, kuid ööpäevadega võrduva perioodi korral läbiks tehiskaaslane sedasama anomaaliat teistkordselt ja selle resonantsmõju võiks olla väga suur.

Raskusvälja peenstruktuuri uurimine on üldse üsna keeruline, seda enam, et tehiskaaslase liikumine allub ka teistele häiretele. Talle mõjub atmosfääritakistus, Päikese ning Kuu külgetõmme ja Päikese kiirgusrõhk. Kõik need peaksid olema küllalt hästi uuritud, et neid saaks vaatlustulemustest eemaldada ja eraldada üksnes raskusvälja mõju.

GEODEETILISED SATELLIIDID JA NENDE ORBIIDID

Formuleerime mõned ideaalsele geodeetilisele satelliidile esitatavad nõuded.

Selleks et teiste taevakehade külgetõmme oleks võimalikult väike, tuleb orbiit loomulikult valida madalam.

Kõrgatmosfääri tihedus, nagu me juba teame, on väga muutlik, ja tema mõju tehiskaaslase liikumisele on

raske arvestada. Et seda mõju vähendada, tuleb orbiit, vastupidi, valida võimalikult kõrge — igatahes väljaspool enam või vähem tihedat atmosfääri.

Eelistatavam on kerakujuline ja minimaalsete mõõtmetega tehiskaaslane, mis oleks küllalt raske, sest siis kohtab ta ühesugust takistust, kuidas ta ka ei oleks orbiidil orienteeritud, aga vahekord inertsjõu ja aerodünaamilise jõu vahel on kõige soodsam. Sellisele tehiskaaslasele avaldab väiksemat mõju ka Päikese valgusrõhk.

Tehiskaaslase kompaktsus raskendab tema vaatlemist. See tähendab, et teda tuleb jälgida erakordselt täpsete raadiotehniliste vahenditega või siis teha ta isevalgustatuks, paigutades temale välklambi.

Seejuures on vajalik, et valgusallikas oleks küllalt ere. Siis oleks teda kerge fotografeerida lihtsa seadmega isegi sel juhul, kui tehiskaaslane asub kuni mitme tuhande kilomeetri kaugusel. Kui sähvatus on nõrk, siis tuleb võtta tarvitusele abinõud fotoaparaadi täpseks suunamiseks taeva antud punkti, kus see sähvatus toimub.

Valgusevälgatused peavad olema väga lühikesed ja korduma ühe ja sama ajavahemiku tagant. Nii on tehiskaaslast kergem avastada ja pealegi tagab see automaatselt samaaegseid vaatlusi erinevatest punktidest. Selline režiim on kõige otstarbekohasem ka energiaressursside ökonoomsemaks kasutamiseks.

Kui tehiskaaslase pardal on raadiomajakas ja impulssjärgija signaalide ülekandmiseks tagasi Maale, siis võib määrata kauguse vaatlejast tehiskaaslaseni ja viia läbi vaatlusi igasuguse ilmaga.

Nagu me juba veendusime, on nõuded geodeetilise tehiskaaslase orbiidile üsna vasturääkivad. Võib-olla ei saa nimetada orbiiti, mis rahuldaks kõiki neid. Eelistatavamad on väga väikese ekstsentrilisusega kõrged orbiidid. Orbiidi kalle ekvaatoritasandi suhtes võib võrduda nurgaga nullist üheksakümne kraadini, sõltuvalt eksperimendi eesmärgist, aga ka sellest, missuguseid efekte tahaksime viia miinimumini.

Kui orbiit on kõrge, siis suureneb piirkond, mida tehiskaaslane võib antud ajamomendil vaadelda, pikeneb ka aeg, mille kestel ta on teatavast kohast nähtav. Välklambita tehiskaaslase juures on sellise orbiidi eeliseks veel see, et teda pikema aja jooksul valgustab Päike. Orbiidi kõrguse ülemise piiri määrab kas tehiskaaslase nähtavuse piir

või täpsus, mille võib tagada tema liikumise vaatlemisel.

Tehiskaaslastele mõjub ligikaudu ringorbiidilisel liikumisel peaaegu konstantne takistus orbiidi mistahes punktis. Sellise orbiidi korral vähenevad ka mõned teised eks-tsentrilisusega seotud häired, seepärast lihtsustuvad vastavalt ka arvutused.

Erinevate geodeetiliste eksperimentide korral on vajalik mõõtmise erinev täpsus. Kõige suuremat täpsust nõutakse raskusvälja anomaaliate uurimisel mitteresonantsmeetodil.

Tehiskaaslastega teostatavatel geodeetilistel uurimistel võib kasutada mitmesuguseid vaatlusmeetodeid: visuaalseid, fotograafilisi, infrapunast (Päikese poolt soojendatud tehiskaaslase soojuskiirguse järgi), raadiolokatsioonilisi — passiivset ja impulssjärgijaga — ning vaatlusi raadiointerferomeetri abil ja Doppleri nihke järgi.

MAA ON EKVAATORI SUHTES EBASUMMEETRILINE

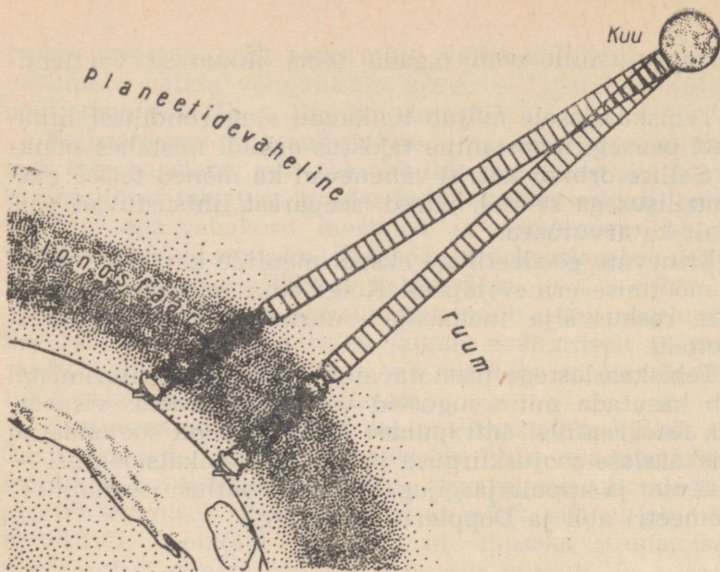
Tehiskaaslaste kasutamine geodeetilistel eesmärkidel alles algab, kuid juba praegu on saavutused näiteks planeedi kuju, tema siseehituse ja mehhaaniliste omaduste määramisel üsna suured.

Väga suurt osa Maa kuju uurimisel etendasid vaatlused tehiskaaslastega «Vanguard», millel olid väikesed mõõtmised, kera kuju ja raadiosaatja pardal. Ta liikus kõrgel orbiidil: perigee kõrgus umbes 650 kilomeetrit, apogee kõrgus 3960 kilomeetrit. Nende vaatluste tulemusena määrati Maa kujus viis «harmoonilist» komponenti.

Kõigepealt tegid teadlased kindlaks, et geoidi pind on poolustel mitte 21,47 kilomeetri võrra Maa tsentrile lähemal kui tema pind ekvaatoril, nagu arvati varem, vaid 21,39 kilomeetri võrra.

On teada, et kui Maa ei pöörleks ja oleks vedel või plastiline, siis oleks ta rangelt sfääriline. Kuid Maa pöörleb (kiirusega üks pööre ööpäevas) ning tema üksikutele koostisosadele mõjuvad raskusjõud ja kesktõukejõud. Seetõttu omandabki ta pooluste juures kokkusurutud sferoidi kuju.

Lapikuse astet iseloomustatakse tavaliselt ekvatoriaalse ja polaarse raadiuse suhtelise vahega, nõndanimetatud



Raadiolainete polarisatsioonitasand pöörduv, kui lained läbivad ionosfääri teel Kuule ja ka tagasiteel vastuvõtugaama. Polarisationitasandi summaarse pöördenurga järgi võib määrata elektronide üldsisalduse ionosfääris kiire teel. See on üks viis ionosfääri uurimiseks Maa pinnalt.

lapikuse koefitsiendiga. Selle võib ka teoreetiliselt arvutada, kui teha teatavad eeldused Maa sisemuse mehhaaniliste omaduste kohta. Näiteks, kui oletada, et Maal on hüdrostaatilises tasakaalus olev vedel tuum, siis on tema lapikuse koefitsient $\frac{1}{299,8}$. Tehiskaaslase «Vanguard» abil saadud tulemused näitavad, et lapikuse koefitsient on tegelikult $\frac{1}{298,2 \pm 0,2}$.

Nimetatud erinevus eksperimentaalsete ja teoreetiliste tulemuste vahel ei ole esimesel pilgul suur, kuid on tunduvalt kõrgem, kui teiste meetodite tõenäolised vead.

See viib järeldusele, et Maa tuum ei ole tegelikult hüdrostaatilise tasakaalu olekus. On üsna tõenäoline, et Maa pole plastiline ja et tema sisemuse mehhaaniline tugevus mantli jalamil on küllalt suur, et tuuma hüdro-

staatilise deformatsiooni tagajärjel tekkivatele pingetele vastupanu osutada.

Looded, mis tekivad ookeanis ja Maa kõvas kooses Kuu külgetõmbe tõttu, põhjustavad suurte energiahulkade pidevat hajumist.

Energia ei teki mittemillestki, teda tuleb kusagilt võtta. Niisuguseks loodete energia «allikaks» on Maa pöörlemise kineetiline energia. Loodetest tingituna aeglustab Maa oma pöörlemise kiirust. Kui jätta arvestamata teised põhjused ja eeldada, et Maa pöörlemise pidurdamine toimub eranditult loodeteenergia hajumise arvel, siis selgub, et mõnekümne miljardi aasta pärast saab Maa ja Kuu ööpäev võrdseks, nad hakkavad pöörlema nagu tõeline «kaksikplaneet», olles kogu aeg teineteise poole pööratud ühe ja sama küljega. Ööpäeva kestvus on siis umbes viiskümmend praegust ööpäeva.

Käesoleval ajal muutub ööpäeva kestvus kiirusega üks tuhandik sekundit sajandis. Teades seda Maa pöörlemise aeglustumist, võib arvutada, et tehiskaaslase «Vanguard» liikumise vaatluste tulemusena saadud lapikuse suurus vastab Maa hüdrostaatilise tasakaalu kujule viiskümmend miljonit aastat tagasi, kui Maa tegi ühe pöörde 23 tunni 30 minutiga.²³

Niisugune järeldus paneb mõtlema, et Maa mantel — maakoore all asuv kiht — on küllalt kuum ja seetõttu küllalt plastiline, et reageerida pingetele, mis muutuvad Maa pöörlemiskiiruse vähenemise tõttu. Kuid maakoore on seejuures piisavalt jäik, et reageerida kuju muutumisele mahajäämusega olemasolevatest tingimustest umbes viiekümne miljoni aasta võrra.

See on esimene, kuid kahtlemata mitte viimane järeldus Maa siseehituse, planeedi evolutsiooni kohta, mille võimaldasid teha tehiskaaslased.

Lapikuse kõrval esineb veel teisigi Maa kuju kõrvalekaldumisi hüdrostaatilisest tasakaaluolekust. Selgus, et Maa kujul on kolmas, «pirnikujuline» komponent, mille tõttu Maa mõlemad poolkerad on ebasümmeetrilised: põhjapoolus on ekvaatoritasandist seitsmeteistkümne meetri võrra kaugemal kui lõunapoolus.

²³ Võttes aluseks ööpäeva pikenemise kiiruse kaks tuhandikku sekundit sajandi kohta, saaksime Maa ööpäeva pikkuseks umbes 100 miljonit aastat tagasi 23 tundi 30 minutit — R. P.

See tähendab, et põhjapooluse all võib olla niisugune massi ülejääk, mis tekitab maailmaookeani pinna tõusu seitsmeteistkümne meetri võrra pindalal, mis võrdub Atlandi ookeaniga. Taolised variatsioonid massi jaotuses räägivad sellest, et Maa seesmistes kihtides võivad esineda väga suured pinged.

Orbitaalandmete töötlemisel avastati Maa kuju réaksarenduses ka kõrgemat järku «harmoonilised» komponendid — neljas ja viies. Piki mistahes meridiaani on Maa kujul neljas ja viies komponent «lohu» ja «kumerusega». Võimalik, et need ei ulatu ümber Maa, vaid on iseloomulikud üksikutele kohtadele pikkuse järgi ja mitte igal meridiaanil. Küsimust saab lahendada ainult orbiidi muutuste mõõtmisega just selles rajoonis.

Tehiskaaslaste abil avastatud raskusvälja anomaaliad pole juhuslikud. Nad räägivad Maa tekkimise, arengu ja ehituse teatud omapärast või tema sügavas sisemuses toimuvate füüsikaliste protsesside iseärasustest.

PLANEEDI SISEMUS

Käesoleval ajal peetakse kõige tõenäolisemaks seda teooriat, mille järgi Maa ja teised planeedid kujunesid tolmpilvest. Sügava sisemuse kuumenemine toimus mõningate ainete radioaktiivse lagunemise tulemusena. Tähendab, mitte ainult Päike, vaid ka Maa on tuumareaktor. Põhiline erinevus seisab selles, et Päikese sisemuses kulgeb termotuumareaktsioon — kerge elementide süntees, meie planeedi põues toimub aga raskete elementide lagunemine.

Praegu on teada, et meteoriitidel on peaaegu sama koostis, mis Maal, Kuul ja teistel planeetidelgi. Kui aga kogu Maa kujunes ühest ja samast tolmpilvest, kuidas siis seletada erinevate maapõuevarade kuhjumist, ebaühtlust Maa ehituses?

Arvatakse, et selle põhjuseks oli sisemuse erinev kuumenemine. Seal, kus sulas kogu algmaterjal, tekkisid seaduspärase või juhusliku jahtumise ebaühtluse tõttu vedela massi suuremõõtmelised liikumised — konvektsioonivoolud, mis sarnanevad neile, mida näeme ebaühtlaselt soojenenud madalatmosfääris. See liikumine on väga aeg-

lane, kuid võttes mõõtühikuks mitte aastad, mis määravad inimelu, vaid tuhanded või miljonid aastad, siis võis sulanud aine ühtlane jaotumine tõepoolest toimuda.

Nii on see sügavates kihtides. Aga kõrgemal võis sulamine toimuda üksikute koostisosade kaupa, sest ainete sulamistemperatuurid on erinevad. Neile mõjusid külgetõmbejõud, kolossaalne rõhk, mille kutsusid esile nende peal paiknevad kihid, ning perioodilised sisemuse soojenemised ja jahtumised, mis viisid selleni, et läbi nende massiivi levisid omalaadsed «temperatuurilained». Kõikide nimetatud põhjuste või ka mingisuguse ühe tõttu neist lahkusid sulanud ained oma esialgsest «elukohast» ja tungisid maakoore teistesse piirkondadesse, mille tulemusena kujunesidki kasulikkude maapõuevarade lademed. Maa sisemus muutus ebaühtlaseks.

Maa pinnakihtide formeerumisel etendasid suurt osa atmosfäär ja ookeanid, mis purustasid ühed kivimid ja kujundasid teiste lademeid. Võimalik, et nad teataval viisil mõjusid sügavast sulanud maapõuest soojuse äravoolamise režiimile — nimelt nemad võtsid Maa pinnalt selle osa soojusest, mida ta ise ei jõudnud maailmaruumi kiirata. Seal, kus soojuse äravool soojusjuhtivuse teel oli raskendatud, tõusis temperatuur järsult, maakoore aine sulas ja Maa sügavuse «tuumareaktori» energia leidis väljapääsu konvektiivsel kujul — maapinnale paiskusid sulanud laava massid. Muidugi, soojusenergia niisugune kontsentratsioon võis olla esile kutsutud ka teiste seesmiste põhjustega. Nii või teisiti, kuid vulkaaniline tegevus aitas kaasa maakoore ehituse ebaühtluste kujunemisele.

Seda kõike on tähtis teada geoloogil, kuid maapealsest meetoditest siin ei piisa.

On teada, et Maa pinna niisugused ebaühtlused, nagu mäed ja mered, mõjutavad väga vähe raskusjõu suurust. Muidugi, ka tehiskaaslased ei suuda avastada üksikuid mägesid või kasulikkude maapõuevarade lademeid, selleks on nad liiga jämedakoelised instrumendid, vähemalt veel praegu.

Need raskusvälja anomaaliad, mis avastatakse tehiskaaslastega, räägivad väga võimsate ebaühtluste või konvektsioonivoogude olemasolust Maa sisemuses.

Omades neid andmeid, võivad geoloogid suurema kindlusega koostada mitmesuguste kasulikkude maapõuevarade jaotuse kaarte — geoloogia lakkab nüüd olemast

teadus, mis orienteerub juhuslikule edule. Ta muutub analüütiliseks teaduseks ja toetub teadmistele Maa ehitusest ja arengust.

MAA KUI MAGNET

Geoloogia seisukohalt on väga tähtis teada ka Maa magnetvälja muutuste iseloomu nii pinnal kui ka märkimisväärsetes sügavustes. Muidugi, jutt pole sellest magnetvälja muutuvast osast, mis luuakse voolusüsteemidega, mis, nagu on kindlaks tehtud, eksisteerivad ionosfääri ja välise kiirgusvööndi maksimumi piirkonnas. Muide, viimane avastati just nõukogude kosmoseraketilt teostatud magnetomeetriliste mõõtmistega.

Geoloogial on tähtis teada alalisi magnetanomaaliaid, mis võivad olla esile kutsutud magnetiliste rauamaakide lademetest poolt, nagu näiteks Kurski magnetanomaalia avastamisel.

Vaatamata sellele et Maa magnetvälja olemasolust teatakse ammu ja peaaegu sama kaua kasutab inimene seda praktiliselt, teab ta sellest veel väga vähe. Arvatakse, et Maal on ligikaudu niisugune magnetväli, millist omaks ühtlaselt magnetiseeritud kera telje kaldega Maa pöörlemistelje suhtes üksteist ja pool kraadi. Punktides, kus selle kera telg lõikab Maa pinda, asuvad geomagnetilised poolused — Gröönimaal ja Antarktikas.

Geomagnetilise välja intensiivsust mõõdetakse örstedites ja see võrdub maapinnal ligikaudu kolme kümne-diku örstediga. Võrdluseks piisab, kui öelda, et väikestel hobuserauakujulistel magnetitel võib magnetvälja tugevus olla sadakond örstedit, tööstuses või magnetronides kasutatavate magnetite väljad ulatuvad mitme tuhande örstedini, tsüklotronides või teistes osakeste kiirendites — kümnete tuhandete örstediteni, aga kõige tugevamad laboratooriumides saadavad magnetväljad võivad ulatuda miljoni örstedini.

Vaatamata väiksele tugevusele on magnetvälja üldenergia väga suur, olles võrdeline mahuga, ning välja poolt haaratav ruumala, kui otsustada tema pooluste järgi, on tohutu. Seepärast on Maa magnetväli üks tähtsamaid tsentreid, mis määrab nähtuste ja protsesside iseloomu planeedi ümbruskonnas. Tänu magnetväljale on olemas kiirgusvööndid, temast sõltub virmalistetsoonide geograa-

filine jaotus, magnetvälja olemasoluga on seotud ka paljud nähtused ionosfääris.

Magnetenergia, mis peitub kilomeetrises kihis maapinna lähedal, võrdub ligikaudu 5×10^{21} ergiga ehk saja miljoni kilovatt-tunniga. Kerge on kujutleda magnetvälja koguenergia suurust, kui arvestada, et magnetväli ulatub planeetidevahelisse ruumi ligikaudu 10—13 Maa raadiuse kaugusele.

Võib märkida, et nii suured energiaväärtused ei ole Maa magnetvälja privileegiks. Teatakse näiteks, et galaktikate magnetväljades — isegi kui nende tugevus on sadu tuhandeid kordi nõrgem Maa magnetvälja omast — on akumulbeerunud sadu kordi suurem energia kui see, mida kiirgavad nende galaktikate kõik tähed. On samuti teada, et Päikese poolt välja paisatud korpuskulaarse voo energia on kontsentreerunud peamiselt sellesse voogu «kinnikülmunud» magnetvälja ja võib olla palju kordi suurem voo liikumise kineetilisest energiast.

Maa magnetvälja pisimuutusi mõõdetakse teistes ühikutes — gammades (gamma võrdub ühe sajatuhandiku örstediga).

Magnetvälja ebaühtlused on tingitud magnetkivimite ebaühtlasest jaotusest maakoos ja võib-olla mantli ülasosas. Just need, nagu juba märgitud, pakuvad erilist huvi geoloogiale.

Peale selle, oma iseloomult on ebaühtlased ja muutuvad aja jooksul aeglaselt nähtavasti ka need füüsikalised protsessid, mis põhjustavad magnetvälja tekkimist. Tõenäoliselt on nad seotud Maa pöörlemisega ümber oma telje, kuid magnetvälja telje asend võib muutuda. On näiteks tehtud kindlaks, et magnetvälja tšenter pole Maa tšentri suhtes sümmeetriline, vaid nihutatud umbes 300 kilomeetri võrra Lõuna-Atlandile vastupidises suunas.²⁴

Magnetväli muutub aja jooksul. Möödunud sajandil tehtud mõõtmisi kaasaegsetega kõrvutades võib järeldada, et magnetvälja tugevus vähenes viimase saja aasta jooksul umbes kuue protsendi võrra.

Teadlased tegid samuti kindlaks, et magnetväli nihkub läände kiirusega umbes kümme kaareminutit aastas ehk üks kraad kuue aastaga. Nende muutuste füüsikalised põh-

²⁴ Tegelikult on magnetvälja tšenter nihutatud Maa tšentri suhtes 436 km võrra. — R. P.

jused pole selged, nende uurimiseks on vajalik magnetvälja ning selle ajas toimuvate muutuste üksikasjalikum ja süstemaatilisem tundmaõppimine. Pole vaja kahelda, et selle mehhanismi väljaselgitamine annab uusi teateid planeedi siseehituse kohta.

Kahjuks pole praegu magnetvälja isegi Maa pinnalt küllaldaselt uuritud. Eriti tuleb seda ütelda ookeanide pinna kohta. Tõsi, magnetvälja mõõtmised spetsiaalsete mittemagnetiliste laevadega algasid juba ammu, 1909. aastal, ja kestsid kuni 1929. aastani. Hiljem jätkati neid 1957. aastal. Kuid nii sel kui teisel juhul toimusid mõõtmised ainult ühelt laevalt. Rahvusvahelistes teaduslikkudes organisatsioonides püstitati küsimus magnetiliste kaartide koostamisest, ülemaailmsest magnetilisest kaardistamisest. Seda kavatseti teha 1964.—1965. aasta jooksul.

Maismaal peab magnetiline kaardistamine toimuma pidevalt töötavate observatooriumide võrgu abil. Mõõtmisseriesiaid tuleb seejuures teostada ajavahemikkudes, mis võrduvad vähemalt mõne päevaga. See on vajalik, et elimineerida ööpäevased variatsioonid, mis tekivad kõrgatmosfääris olemasolevate voolusüsteemide ja Päikese poolt esile kutsutud loodete tõttu, aga ka päikesekiirgusest tingitud kõrgatmosfääri kuumenemise ja ionisatsiooni resultaadina.

Mõõtmisi ookeanil raskendab asjaolu, et maailmas on ainult üks mittemagnetiline laev — Nõukogude Liidule kuuluv «Zarja» — ja magnetkaardistamise täieliku võrgu loomiseks ookeani laialdastel aladel kulub väga palju aega.

Magnetvälja tundmine ei ole täiuslik, kui me ei tea selle jaotust kõrguse järgi. Välja vertikaalse «läbilõike» võib saada kõrg- ja kosmoserakettide üleslaskmisega, kuid niisugused mõõtmised annavad ainult «hetkelisi» väärtusi, aga lennutada rakette küllalt sageli, et arvestada muutusi ajas, on muidugi liiga kulukas.

Esimesed kosmoserakettide abil teostatud magnetvälja mõõtmised näitasid, et suurtes kaugustes Maast — 3,7 kuni 7 Maa raadiust — muutub väli pöördvõrdeliselt kauguse kuubiga Maa tsentrist, kuid on ka voolusüsteemide poolt esile kutsutud suuremõõtmelisi hälbeid. Nõukogude kosmoserakett avastas sellise hälbe voolusüsteemi osakeste maksimaalse intensiivsuse piirkonnas välises kiirgusvööndis. Maast 10—13 Maa raadiuse kaugusel läheb geomagnetiline väli üle planeetidevaheliseks magnetväljaks.

Tehiskaaslaste kasutamine võimaldab magnetvälja mõõta laiuste suures diapsoonis, mille kohal kulgeb tema orbiit, ja pika aja jooksul. Esimesed sedalaadi tulemused said N. V. Puškov ja Š. Š. Dolginov kolmanda nõukogude tehiskaaslase ja esimeste kosmoserakettidega. Need võimaldasid välja selgitada, kui sügaval planeedi pöues peituvad põhjused, mis kutsuvad esile magnetvälja.

Oletatakse, et ülemaailmse magnetkaardistamise ajal tuleb vähemalt kaks tehiskaaslast viia polaarorbiitidele, kusjuures üks neist asuks mõnesaja kilomeetri kõrgusel, aga teine — Maa kümne raadiuse, see tähendab enam kui kuuekümne tuhande kilomeetri kaugusel.

Magnetvälja detailsed uurimised aitavad kaasa tema mehhanismi mõistmisele, osutavad suurt abi geofüüsikale planeedi siseehituse ja välisatmosfääris kulgevate elektriliste nähtuste ning Maad ümbritseva kosmilise ruumi keeruliste omavaheliste seoste uurimisel.

Näib, et pärast seda, kui jutustasime uurimistest, mis võivad osutada tähtsateks meie planeedi sisemuse tundmaõppimisel, on rakettide ja sputnikute geofüüsikalistel eesmärkidel kasutamise võimalused ammendatud. Rääkisime ju oma jutustuse algul sellest, millist mõju avaldab Maale Päike, kirjeldasime siis planeedi kaugemat ümbrust ning lõpetasime nende nähtuste uurimisega, mis sõltuvad Maa sügava sisemuse omadustest ja seal kulgevatest protsessidest.

Kuid planeedi ehituse tundmiseks peab teadma ka tema tekkimise ja arengu ajalugu. Kuidas seda teada saada? Kes ja millal võis selle kirja panna?

Omal ajal nägid teadlased palju vaeva, et lahendada vanaegiptuse kirja saladust. Kuid nende tööd ei krooninud edu. Tulekahju Aleksandria raamatukogus, sõjad ja teised õnnetused hävitasid palju hindamatuid kultuurimälestisi, mis tõenäoliselt oleksid aidanud hieroglüüfide dešifreerimisel.

Ainult juhuslikult leidsid koos Napoleoni armeega Egiptusesse saabunud prantsuse teadlased 1799. aastal väike linnakese Rosette'i lähedalt tüki musta basalti, mida katsid täiesti ühesuguse sisuga tekstid hieroglüüfides, demootses kirjas (vanaegiptuse tarbekirjas) ja kreeka keeles. Selle õnneliku juhuse tõttu sai võimalikuks vanaegiptuse hieroglüüfikirja dešifreerimine...

Kuid kas pole täpselt samasuguseks «õnnelikuks juhuks» Maa loodusliku kaaslane — Kuu olemasolu?

Kuu uurimine võib palju kaasa aidata Maa ajaloo mõistmisele. Just seepärast nimetas ameerika teadlane R. Jastrow teda «Rosette'i kiviks».

Kuul ja Maal on ühine tekkelugu. Praegu vaieldakse vastu hüpoteesile, mille kohaselt Kuu on osa Maa massist, mis eraldus arengu algastmel. Tõenäolisem on arvamus, et mõlemad kujunesid ühest ja samast tolmutpilvest ja neil on ühesugune koostis.

Kuu on mõõtmelalt küllalt suur ja oletatakse, et minevikus kulgesid tema sisemuses protsessid, mis mõningal määral sarnanevad Maal toimunudega. Igal juhul eeldame, et mitu miljardit aastat tagasi oli Kuul aktiivne seesmine elu, mille uurimine aitaks mõista meie planeedi varajast ajalugu. Samal ajal on Kuu liiga väike selleks, et säilitada enesel atmosfääri ja vett, mis lõhub mäed ja loob settekiivimite massiivi, maskeerides nii planeedi varasema ajaloo kõik jäljed. Tõsi, Kuu pinna soojenemine Päikese mõjul ja meteoriitide sadu, mille ees ta on täiesti kaitsetu, lõhuvad Kuu kivimeid. Kuid need purustused piirduvad üsna õhukese pindmise kihiga ega mõjuta suuremaid moodustisi.

Suhteliselt väikesed mõõtmed võimaldasid Kuul nähtavasti hoiduda ka teistest purustustest, mis on tingitud mägede tekkimisest, rännetest, nihetest jne. Võib arvata, et juba ammu ei toimu Kuul olulisi tektoonilisi protsesse, et tal puudub vedel tuum ja et tema praegune olemus üldse tunduvalt erineb Maa omast.

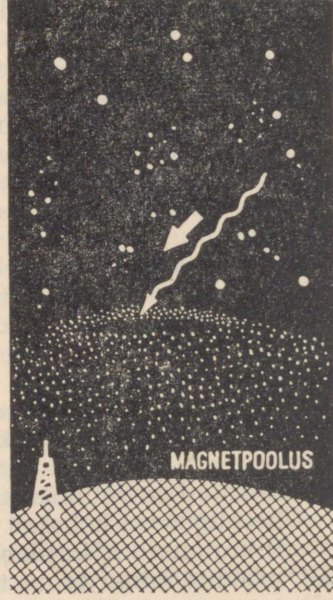
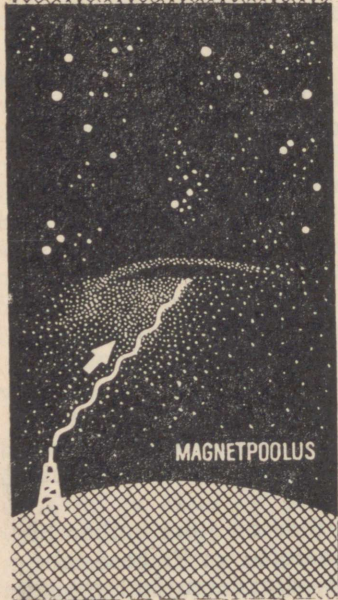
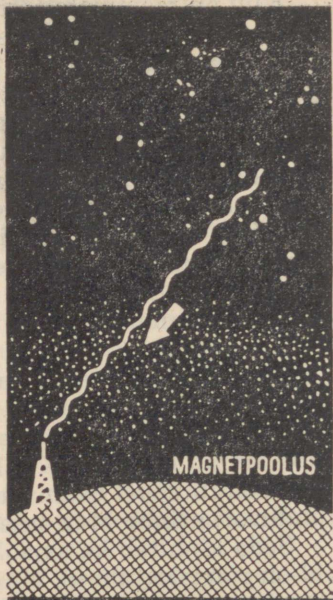
Seda kinnitab ka asjaolu, et eranditult kõik Kuu kraatrid on rõngakujulised. Kui Kuul leiaks aset märgatav tektooniline tegevus, siis peaks vähemalt osa neist purunema ja muutma oma piirjooni.

Praegu pole olemas ühtset, üldtunnustatud teooriat Kuu pinna tekkimise kohta. Spetsialistide arvamused lähevad endiselt lahku: ühed oletavad, et Kuu pind formeerus intensiivse vulkaanilise tegevuse tulemusena, teised — et Kuu võlgneb oma kaasaegse reljeefi eest tänu meteoriitide pommitamisele. Viimasel ajal on pisut enam levinud teine hüpotees.

Me ei hakka praegu kaaluma kõiki argumente, mis räägivad ühe või teise oletuse kasuks. Ei ole enam kaugel päev, mil raketid alustavad Kuu igakülgset detailset uurimist ja õiglase kohtunik — eksperiment — lahendab kõik tülid.

Meil on tähtis veenduda, et Kuu on oma läheduse tõttu kõige mugavam ja ühtlasi kõige huvitavam objekt Päikese-süsteemi ajaloo tundmaõppimiseks ning tema tekkimise hüpoteeside kontrollimiseks.

Ühe hüpoteesi kohaselt (mis muide on juba ümber lükatud) kujunesid kõik planeedid seetõttu, et Päikese lähedalt möödus mingi teine täht. Gravitatsioonijõud rebisid mõlemast tähest välja hõõguvate gaaside masse, mis hiljem



osutusidki planeetide «ehitusmaterjaliks». Kui see oli nii, siis pidid kõik Päikesesüsteemi suured kehad oma ajaloo koidikul olema vedelas olekus ja nende raskemad fraktsioonid pidid «sadestuma» järk-järgult, koondudes tsentraalsetesse piirkondadesse. See tähendab, et igal planeedil peaks olema tihke tuum.

Teised teooriad kinnitavad samuti, et oma eksisteerimise teatavas staadiumis võisid planeedid olla sulaolekus, mis oli tingitud elementide radioaktiivse lagunemise arvel toimunud kuumenemisest. Kuid niisamuti nagu tuumaplahvatusel ahelreaktsiooni tekkimiseks on vajalik teatav «kriitiline mass», nii peab ka sel juhul ilmselt eksisteerima taevakeha mingi «kriitiline mass», mis iseloomustab tema võimet niisuguseks sulamiseks.

Tõepoolest, kui taevakeha mõõtmed on suhteliselt väikesed, siis pole ka tema radioaktiivsete elementide varud suured. Planeedi ruumala ja pindala suhe, millest sõltub jahtumise kiirus, on aga niisugune, et jahtumine toimub küllalt kiiresti, laskmata temperatuuril tunduvalt tõusta. Sel juhul nähtavasti ei saaks kujuneda rasket tuuma ja planeedi struktuur oleks enam-vähem ühtlane.

Teine evolutsiooniskeem tundub käesoleval ajal olevat rohkem põhjendatud, eriti tänu meteoriitide uurimisele. Kuid ka seda ei või pidada vastuvaidlematult õigeks seni,

Polaarpiirkonnad on Päikese loidete erilise mõju all. Kui ionosfääri olukord polaarpiirkondades on normaalne, peegelduvad raadiolained alumistelt ioniseeritud kihtidelt. Kauge raadioside on võimalik (ülemine joonis). Pärast Päikese loiteid tungivad polaarpiirkondades ionosfääri suure energiaga osakeste vood. Ionosfääri alumiste kihtide ionisatsioon suureneb tunduvalt (tumedam piirkond alumisel joonisel) ja ionosfäär ei peegelda enam raadiolaineid, vaid neelab neid. Sel ajal raadioside katkeb.

Sama toimub ka nende raadiokiirgustega, mis saabuvad Maa polaarpiirkondadesse kosmosest.

Ionosfääri rahuliku olukorra tingimustes jõuavad raadiokiirgused või raadiomürad Maa pinnani takistamatult. Pärast seda kui polaarsesse ionosfääri on tunginud Päikese loite genereeritud osakesed, neelab ionosfäär raadiokiirguse (tumedam piirkond joonisel) ja see ei jõua maapinnale. Ekvatoriaalsetes ja keskmistes laius-tes tungib raadiokiirgus endiselt ionosfäärist läbi.

kuni pole saadud veenvaid eksperimentaalseid tõestusi. Kui selgub, et Kuul puudub raske tuum, siis ongi meil olemas vääramatu tõend, mis räägib teise hüpoteesi kasuks. Sellest aga siiski ei piisa kinnitamiseks, et Maa ja planeetid formeerusid tolmutilvest.

Me ei tea praegu tõelisi põhjusi, mis tekitavad Maa magnetvälja. Hüpotees voolusüsteemidest Maa vedelas tuumas, mis on tingitud Maa pöörlemisest, tundub üsna põhjendatuna, kuid selle õigsust pole kuidugi võimalik otseste meetoditega kontrollida. Ja siin tuleb jälle meenutada Kuud kui üht kriteeriumit Maa kohta püstitatud hüpoteeside kontrollimisel. Kuul ei ole vedelat tuuma. Järelikult ei tohiks tema põues eksisteerida ka voolusüsteeme. Kui aga selgub, et Kuul on sellele vaatamata tugev magnetväli, siis tekib vajadus revideerida meie hüpoteese Maa magnetismi olemuse kohta.

TULEMUSED JA OLETUSED

Õnneks Kuu ei petnud meid. Nii esimene nõukogude kosmoserakett, mis, lennates piki etteantud trajektoori, möödus mõne tuhande kilomeetri kauguselt Kuust, kui ka teine, mis laskus Kuule, ei avastanud oma aparatuuri tundlikkuse piirides magnetvälja olemasolu. Saadud tulemus on küllalt usaldusväärne, kuna seda «dubleeris» suure energiaga kosmoseosakeste uurimine. Aparaadid ei avastanud Kuu lähedal niisugust kiirguse intensiivsuse tõusu, mida registreeritakse Maa magnetvälja poolt haaratud osakeste vööndites. Nimetatud asjaolu saab aga seletada ainult märgatava magnetvälja puudumisega Kuul.²⁵

See on siiani ainus usaldusväärne eksperimentaalne resultaat Kuu füüsikaliste karakteristikute uurimisel, kui mitte arvestada andmeid, mis on saadud raadiomeetoditega. Viimased võimaldasid kindlaks teha, et Kuu pinna soojusjuhtivus on väike, samasugune nagu tolmuhihil või poorsel, pimsskiviga sarnaneval ainel. Vaidlusalune küsimus lahendatakse tõenäoliselt alles siis, kui vastava aparatuuriga varustatud rakett laskub meie kaaslaste pinnale.

²⁵ Automaatjaamale «Luna 10», esimesele Kuu tehiskaaslastele paigutatud magnetomeeter oli 15 korda tundlikum ja registreeris orbiidil Kuu läheduses magnetvälja tugevusega umbes $\frac{1}{2000}$ Maa magnetvälja tugevusest. — R. P.

On avaldatud arvamust, et Kuu mered kujutavad endast väga peene tolmuhiiga kaetud laavavoogusid. Vaidlusalune on ka oletus paksu tolmuhihi olemasolust, tolmuvoogudest, mis katavad Kuu pinda, täidavad kuuorgude nõlvu jne.

Me juba rääkisime sellest, et Kuu pinda moodustavad kivimid on väga väikese soojusjuhtivusega. Need järeldused on tehtud Kuu soojusliku raadiokiirguse mõõtmistel raadioteleskoopidega.

On teada, et mitmesuguse pikkusega raadiolained võivad vabalt läbida teatavaid ainemassiive. See tähendab, et mõõtes raadiokiirgust kindlal lainepikkusel, saame teada, milline ainekiht neid laineid kiirgab. Kui selle raadiokiirguse järgi määrata ka kiirgava kihi temperatuur, siis, teostades mõõtmisi lainepikkusel mõnest millimeetrist kuni detsimeetriteni, võib saada temperatuuri jaotuse ainekihis viie-kuue meetri sügavuseni.

Sooritades selliseid mõõtmisi pidevalt või suhteliselt lühikeste ajavahemikkude tagant, võib kindlaks teha, kuidas muutub Kuu ööpäevane temperatuur. Selgub, et pinnakihi temperatuuri ööpäevased muutused ulatuvad kaheksa-kaheksakümne kraadini, aga juba vähem kui kümne meetri sügavusel jääb temperatuur konstantseks ja võrdub miinus viiekümne Celsiuse kraadiga.

Selline konstantsus on võimalik ainult juhul, kui Kuu pinnakiht on halb soojusjuht.

Kuid nõukogude teadlaste uurimused näitavad, et sügavuse kasvades temperatuur tõuseb. See on veel üks tõestus väitele, et Kuu pole täiesti «elutu» taevakeha, et tema sisemuses jätkuvad mingid aktiivsed protsessid, millega kaasneb soojuse eraldumine.

Tähtsaks etapiks Kuu uurimisel oli tema fotografeerimine nõukogude planeetidevaheliselt automaatjaamalt «Luna 3» 1959. aasta lõpul.²⁶

Kuu selle külje kirjeldused, mis on pööratud Maa poole, on teada ja neid pole mõtet üksikasjalikult korrata. Kõik tunnevad suuri tumedaid piirkondi, mis on Kuu pinnal nähtavad isegi palja silmaga. Need on nõndanimetatud «mered», milles pole muidugi tilkagi vett. Meredeks nime-

²⁶ 1965. a. juulis pildistati Kuu tagakülge nõukogude automaatjaamalt «Sond 3», sealhulgas ka piirkonda, milleni ei küündinud «Luna 3». — R. P.

tatakse neid traditsioonikohaselt. Need on laialdased tasased alad. Oletatakse, et nad kujutavad enesest hangunud laavavoogusid, mis on väljunud Kuu sisemusest või siis tekkinud suurte meteoriitide sulamisel, kui need pörkasid vastu Kuu pinda.

Kuu nähtaval küljel on palju mäeharju kõrgusega üheksa kilomeetrit ja rohkem. Sellised mäed on isegi Maal haruldased. Nende olemasolu Kuul on kaasaegse teaduse seisukohalt küllalt raske seletada. Maal võib taolisi kõrguste vahesid seletada isostaatilise tasakaaluga — asjaoluga, et väiksema tihedusega aine, millest koosnevad mäed, nagu ujub suurema tihedusega aines.

Kui oletada, et Kuu sisemuses leiduvad metallide hiiglamassid, siis järelikult peaks seal olema tunduvalt kõrgem aine keskmine tihedus, lähedane Maa keskmisele tihedusele. Tegelikult on see aga tunduvalt madalam. Nii jääb vaid üle mõelda, et Kuu aine on suuteline purunemata vastu pidama väga suurtele seesmistele pingetele.

Kuu pinnal on palju omapärase kujuga rõngaskraatreid. Nende kujunemise põhjused pole teada. Võib-olla tekkisid nad suurte meteoriitide pörkumisel vastu Kuu pinda. Kuna Kuu külgetõmbejõud on väike, siis lendasid siin toimunud plahvatuse produktid suhteliselt kaugele ja moodustasid kõrge rõnga, millel on üsna märkimisväärne diameeter. Niisugust seletust kasutatakse ka vulkaaniliste plahvatuste puhul.

Kuu tagakülje fotograferimise tulemused näitavad, et see erineb tunduvalt meie poole pööratud küljest. Seal on suhteliselt vähe meresid — varem tundmatutest Unistuste meri ja Moskva meri — ning ilmselt on ülekaalus mägi-alad. Kuu tagaküljel avastatud suur Nõukogude mäeahelik erineb oma mõõtmetelt ja piirjoontelt Kuu nähtava poole mägimoodustistest. Tema ulatus on tohtu isegi maapealsete ettekujutuste seisukohalt. Ka pole mäeahelik rõnga või selle osa kujuline, mis võimaldaks tema tekkimist seletada väga suure meteoriidi pörkega vastu Kuu pinda või vulkaanipurskega.

Maal on sellise kujuga mäed tavaliseks nähtuseks. Nende tekkimist seletatakse maakoore kokkusurumise ja murenemisega. Niisuguse mäeaheliku avastamine Kuul aga püstitab küsimuse, missugused jõud olid ta loojaks, sest oletatakse, et vastavad mägedetekkimise protsessid ei võinud Kuul toimuda.

Järelikult topvad juba esimesed Kuu uurimise tulemused teaduse ette uusi probleeme ja võimalik, et nõuavad olemasolevate hüpoteeside läbivaatamist ning täiesti uute ülesehitamist.

MIS MEID KUUL HUVITAB

Suur osa Kuu edaspidise tundmaõppimise probleemidest on seotud tema siseehitusega. Ja see on arusaadav, kuna just siseehituse uurimine on vajalik Kuu tekkimise ja arengu mõistmiseks.

Muidugi, selleks pole tarvis kaevata šahte, mis ulatuksid Kuu tsentrini. Seda ei tehta ju ka Maal. Teadlasi abistavad seismilised uurimised, loodelainete, radioaktiivsete elementide kontsentratsiooni, läbi Kuu pinna tungiva soojusvoo ja selle taevakeha «atmosfääri» koostise tundmaõppimine.

Seismilised uurimised võimaldavad seismograafidega registreeritavate elastsete võnkumiste iseloomu tundmaõppimise abil kindlaks teha, kas taevakeha sisemuses on vedelas olekus piirkondi; vedelikku läbivatel võnkumistel puudub ristsuunaline võnkekomponent, mille amplituud asub lainete levimise suunaga risti asetsevas tasandis. Selliste lainete allikaks võivad olla «kuuvärinad» ja me teoriitide põrked vastu Kuu pinda.

Oletus «kuuvärinatest» pole vastuolus eeldusega, et Kuu on käesolevaks ajaks juba jahtunud ja seal ei saa olla tähelepanuväärset vulkaanilist tegevust ning mägede kujunemise protsesse. Kuuvärinaid võib esile kutsuda Maa.

Kuu liigub küllaltki väljavenitatud orbiidil. Tema kaugus Maast muutub umbes 11,5 protsendi võrra. Kui Kuu oleks vedel, siis kutsuks niisugune kauguse muutumine esile loodelaine kõrgusega 16 meetrit. On täiesti loomulik, et sellised loodejõud põhjustaksid kõvas kestas kas erakordselt suuri pingeid või pragude tekkimist, mis järkjärgult kustutaksid radiaalliikumise.²⁷

Niisuguseid löhesid Kuul leidub ja on väga võimalik, et nad on seotud just loodenähtustega, loodete energia dissipatsiooniga. Kui viimase olemasolu õnnestuks tõepoolest eksperimentaalselt avastada, siis oleks see üsna kaalu-

²⁷ Tegelikult mõjub Kuule veel Päikese ja planeetide külgetõmme, mille tõttu tema radiaalliikumine ei saa loodejõudude toimel täielikult kustuda. — R. P.

kaks tõestuseks väitele, et Maa haaras Kuu enesega kaasa. Dissipatsiooni suuruse hinnang võimaldaks aga määrata ajaminomendi, millal kaasahaaramine toimus.

Selline oletus kaasatõmbamisest tundub praegu tõepärasem kui teooria, et Kuu on osa Maast.

«Kuuvärinad» võisid tekkida ka teistel põhjustel. Näiteks peab Kuu sisemuses pidevate füüsikaliste ja keemiliste protsesside tulemusena toimuma alaline gaasiliste produktide lendumine, mille tõttu kujunevad suuremad või väiksemad õõnsused. Nende kokkuvarisemisega kaasnevad samuti väikesed seismilised nähtused.

Seismilist aktiivsust võib täheldada ka sel juhul, kui varem sügaval Kuu sisemuses toimus elementide radioaktiivne lagunemine, aga praegu Kuu jahtub, sest ta kiirgab soojust planeetidevahelisse ruumi.

Kõige selle tõttu pakuvad seismilised uurimised erilist huvi ning pealegi on nad suhteliselt kergesti läbiviidavad. Just seepärast lülitati nad ka ameerika kosmoseaparaatide «Ranger'ite» uurimisprogrammi. Mõned «Ranger'id» pidid sooritama «jäiga maandumise» Kuu pinnale. Aparatuuri säilitamiseks kasutati siin spetsiaalseid konstruktiivseid abinõusid: aparaat paigutati vedelikuga täidetud kambriks. Niisugust võtet oli soovitanud juba Tsiolkovski.

Teatavasti ameeriklaste katsed ebaõnnestusid. Ajakirjanduse andmeil jõudis ainult üks aparaatidest Kuu tagaküljele. Kuid ka see oli juba päris lennu alguses rikki läinud. Nii ei võimaldanud ameerika kosmoseaparaatide väljasaatmine teha Kuu seismilist uurimist ega ka mingeid teisi eksperimente.²⁸

Loodelainete uurimine annaks informatsiooni selle kohta, kuivõrd elastne on aine, millest Kuu koosneb. Viimane asjaolu oleks omakorda aluseks taevakeha looduse ja üldise olukorra üle otsustamisel.

Radioaktiivsete elementide kontsentratsiooni tundmine aitaks kindlaks teha, kas Kuul oli energeetilisi ressursse selleks, et ta oma arengu varasematel etappidel võis olla täielikult või osaliselt sulaolekus.

²⁸ Hiljem väljasaadetud «Ranger'id» saavutasid eesmärgi. Seismilisi uurimisi neil kavas polnud, enne jääka maandumist saatsid nad Maale häid televisioonipilte. Seismilised uurimised Kuul viiakse läbi «Surveyor»-tüüpi sondidega, mis sooritavad pehme maandumise. — R. P.

«Energeetiliste ressursside» seisukohalt on huvitav uurida soojusvoogu, mis tungib välja läbi Kuu pinna. Teades Kuu aine soojusjuhtivust, võib määrata praegu tema sisemuses valitseva temperatuuri ning võib-olla saada täiendavaid andmeid tema füüsikalise olukorra kohta.

Kuul pole atmosfääri, vähemalt mitte selle sõna tavalises mõttes. Vaadeldes elektromagnetilisi laineid kiirgavaid tähti nende minekul Kuu serva taha, avastati Kuul erakordselt hõre ioniseeritud kest. Selle olemasolu registreeris teine nõukogude kosmoserakett.

Kuu külgetõmbejõud on liiga väike selleks, et hoida kinni atmosfääri. Pealegi peavad Päikeselt välja paiskuvad plasmavood selle pidevalt minema «puhuma». «Atmosfäär», mis praegu Kuud ümbritseb, on tõenäoliselt tasakaaluolekus: osakeste «juurdevool» ja «äravool» molekulide soojusliikumisest tingitud eemaldumise ning ärapuhumise arvel peavad olema võrdsed. Praegu on Kuu atmosfääri kulude ja tulude artiklid veel tundmatud. On väga tõenäoline (eriti pärast seda, kui spektraalselt avastati gaaside väljapaiskumine kraatrist Alfons), et gaasi-osakesed võivad Kuu sisemusest eralduda nii radioaktiivse lagunemise produktina kui ka vulkaaniliste või mingite teiste looduslike protsesside tulemusena. Kui see aga on nii, siis aitaks «atmosfääri» koosseisu, tema aktiiva ja passiva uurimine otsustada ka Kuu sisemuses toimuvate protsesside ning nende intensiivsuse üle.

Võiks näiteks luua kunstliku «atmosfääri» ja selle lendumise põhjal koostada aine bilansi. Tõsi, seejuures võime Kuu atmosfääri «saastata». Kui see toimuks, oleks raske ära tunda, missugused ained on omased Kuu loodusele ning missugused sisse toodud väljastpoolt. Saastumist on aga võimalik vältida, kasutades Kuule mitteomaseid ja tema atmosfäärist kiiresti lenduvaid gaase. Kirjeldatud eksperimenti on kõige otstarbekam teostada alles pärast seda, kui on usaldusväärset tundma õpitud Kuu tavalist atmosfääri.

Kuu atmosfääri saastamise risk on olemas juba esimese «pehme maandumise» puhul, kui kosmoseaparaati pidurdatakse rakettmootori sisselülitamisega. Kuid see on ajutine, ja atmosfääri «normaalne» koostis peaks taastuma küllalt kiiresti.

Pehme maandumise juures muutub ka maandumiskoha keemiline koostis ja isegi selle füüsikalised omadused. Siin

ei saa enam arvestada taastumisega. Kuid pinnase keemilise koostise kindlaksmääramine vahetu uurimise või proovide võtmise teel ning Kuu pinna füüsikaliste omaduste tundmaõppimine on esmajärgulise tähtsusega ülesanded. Järelikult peab nende uurimistööde ettevalmistamisel kavandama proovide võtmise ja automaatse aparatuuri töö mõningases kauguses raketi maandumiskohast.²⁹

Kuu mitmesuguste kivimite vanuse võib näiteks määrata kaaliumi radioaktiivse lagunemise põhjal, kuna selle tulemusena tekib argoon 40, mis võimaldab kindlaks teha, millal need kivimid olid viimast korda nii kuumad, et argoon võis eralduda, see tähendab, millal viimast korda kulgesid sügavprotsessid.

Kuupind peaks endas säilitama kosmilise kiirguse mõju jälgi sellest momendist, kui ta kõvastus. Tõsi, Kuu päeva jooksul soojenevad pinnakihid ekvatoriaalsetes laiustes suhteliselt kõrge temperatuurini. Seepärast tuleb kosmiliste kiirte jälgi uurida Kuu polaaraladel, kus temperatuur püsib ligikaudu konstantsena.

KUIDAS UURIDA KUUD

Kõiki kirjeldatud eksperimente võib teostada siis, kui aparaadid laskuvad Kuu pinnale.

Kuid see pole muidugi ainus viis. Palju võib ära teha ka ümber Kuu lendamisel, nagu näitas katse nõukogude automaatjaamaga. Veel paremaid tulemusi võib saada Kuu uurimisel tema tehiskaaslaste abil. Atmosfääri puudumise tõttu saavad tehiskaaslased liikuda kuitahes madalal orbii dil tema pinna kohal, nii kõrgel kui kaasaegsed stratosfäärilennukid Maa kohal. Isegi Kuu fotograferimisel ja tema pinna üksikasjalikkude kaartide koostamisel on erakordselt suur teaduslik tähtsus. Nende fotode põhjal võib teha kindlaks kuukivimite omadused ja valida välja kõige huvitavamad objektid edaspidisteks uurimisteks.

Tehiskaaslane, mis liiguks umbes saja kilomeetri kõrgusel Kuu pinna kohal, võiks määrata radioaktiivsete elementide — kaaliumi, uraani, tooriumi — suhtelise kont-

²⁹ Esimesena teostas pehme maandumise Kuule nõukogude automaatjaam «Luna 9» 3. veebruaril 1966. a. Ta saatis Maale detailseid televisioonipilte Kuu maastikust. Pisut hiljem, 2. juunil 1966. a., maandus Kuul pehmelt ka USA automaatjaam «Surveyor 1». — R. P.

sentratsiooni mitmesugustes rajoonides. Ta võimaldaks ka kindlaks teha, kas Kuu mered erinevad oma koostiselt mägi-aladest. Muidugi, neidsamu uurimisi võib teostada ka aparatuuri laskumisel Kuu pinnale.

Me juba rääkisime sellest, kuidas Maa tehiskaaslaste abil toimub kõrgatmosfääri uurimine. Samasugust tööd suudavad teha Kuu tehiskaaslased Kuu «atmosfääri» suhtes. Soojus-, infrapunase ja raadiokiirguse uurimine annaks meile andmeid temperatuuride jaotuse kohta Kuu pinnal, mis omakorda võimaldaks uurida tema mitmesuguste piirkondade termilisi karakteristikuid — kivimite soojusjuhtivust ja võib-olla ka sisemusest tuleva soojusvoo jaotust.

Analoogiliselt geodeetiliste tehiskaaslastega võib Kuu tehiskaaslaste kasutada planeedi kuju uurimisel. Maapealsed vaatlused tegid kindlaks, et Kuu pole kera ja isegi mitte kaheteljeline ellipsoid. Kuu on Maa suunas välja venitatud, kusjuures tema elliptilisust ei saa seletada loodejõududega: see ületab ligikaudu seitseteist korda loodejõudude poolt esile kutsutud deformatsiooni suuruse. Nii-sugune «erinevus» Kuu kuju ja kaasajal tema sisemuses mõjuvate jõudude süsteemi vahel ilmselt tõendab, et Kuu formeerumise ajal oli see süsteem teistsugune ja et Kuu kivimid peavad olema erakordselt tugevad. Arvutused näitavad, et Kuu tsentris peavad nad taluma pinget, mis võrdub ligikaudu kahekümne atmosfääriga. Teiseks seletuseks võib olla Kuu väliskihitide ebaühtlane tihedus.

Raske on uskuda, et need pinged säilisid muutumatu-tena miljonite ja miljardite aastate kestel. Seetõttu tundub tõepärasem teine hüpotees, mis räägib tiheduse ebaühtlastest jaotusest. Muidugi, seda oletust Kuu gravimeetrilise kaardistamise teel kontrollida pole niipea võimalik.

Ekspeditsioonid Kuule, millest unistavad fantastid, pole küll enam väga kaugel, kuid igal juhul mitte nii lähedal, kui seda oleks vaja planeetide uurimiseks. Ja milleks korrata siin teaduse ajalugu just samal kujul, nagu me seda tunneme Maa puhul?

Kuul ja planeetidel tuleb inimesel alustada sellest, millel ta sinna jõudmise momendiks jäi peatuma Maal. Muide, «peatas» pole vahest õige sõna. Teaduse ja tehnika tormilise arengu sajandil ei peatu meie kujutlused loodusest ega ka meie meetodid tema uurimisel.

Tehiskaaslased sooritasid edukalt üksami geodeesias.

Nad võivad asendada suurearvulisi ja kalleid ekspedit-sioone, mis oleks vaja välja saata Kuu kuju ja masside jao-tuse määramiseks, kui jätkaksime uurimist möödunud sa-jandi meetoditega.

Niisuguste, tehiskaaslaste abil teostatavate uurimiste puhul on vajalik, et tehiskaaslase orbiit oleks võimalikult lähedal Kuu pinnale. Vastasel korral on Maa häiriv mõju liiga tugev, et Kuu ehituse ebaühtlusi saaks uurida suu-rema täpsusega, kui seda tehakse praegu astronoomia mee-toditega.

Avaldatakse arvamust, et Kuu uurimine võib aidata kaasa suurimate teaduslikkude probleemide — nagu näi-teks gravitatsiooniteooria — lahendamisele. Eeldatakse, et kui Päikesesüsteemi olemasolu ajaloo kestel gravitat-sioonikonstant muutus, siis peaks see teatud viisil aval-duma Kuu pinna iseloomus.

SUSTEEMI AJALOO TEISED FRAGMENTID

Kuu ehituse ja omaduste tundmaõppimine võimaldab täielikumalt ette kujutada Päikesesüsteemi tekkimise üld-pilti.

Kas see tähendab, et meie praktiliste maiste huvide seisukohalt ei paku teiste planeetide uurimine mingit huvi? Muidugi mitte. Iga planeet erineb teistest oma ehi-tuse, koostise, energeetilise bilansi ja muude omaduste poolest. Tähendab, igaühel neist on erinev ajalugu. Ent samal ajal on neil ka palju ühist. Teistel planeetidel valit-sevate tingimuste tundmaõppimine võimaldab kontrollida mitmesuguseid hüpoteese, mis on seotud Maa ehituse ja tema füüsikaliste omadustega.

Võtame lihtsa näite.

Oletame, et Veenusel ja Marsil on kindlaks tehtud mag-netvälja olemasolu ja et magnetpoolused asetsevad neil pooluste lähedal. Kas pole see erakordselt tõsiseks argu-mendiks kaasajal kõige enam levinud hüpoteesi kasuks, mis on püstitatud Maa magnetvälja esilekutsuvate põh-juste kohta. Eriti kehtib öeldu Veenuse suhtes, kuna ta on oma mõõtmetelt peaaegu sama suur kui Maa, ja seetõttu on põhjust arvata, et ka temal on olemas vedel metalliline tuum, milles planeedi pöörlemise tõttu võivad tekkida elektrivoolud. Siin huvitavad meid kõik andmed, nagu: milline on välja tugevus, pöörlemiskiirus (Veenuse puhul

pole see siiani veel küllalt täpselt määratud), magnetvälja orientatsioon pöörlemistelje suhtes jne.

Tõsi, praegu oleme oma oletusega hilinenud. Ajakirjanduses ilmunud teated Veenuse lähedalt möödunud ameerika komsosaparadi «Mariner 2» uurimistulemustest räägivad sellest, et Veenusel pole märgatavat magnetvälja.

See ei tohiks meid heidutada. Veenuse raadiolokatsioonilise uurimise mõningad tulemused lubavad arvata, et Veenus, nagu Merkuurgi, praktiliselt nähtavasti üldse ei pöörle oma telje ümber või siis teeb seda üsna aeglaselt. Kui see kõik on nii, siis võib magnetvälja puudumine aeglaselt pöörlevatel planeetidel ja tema olemasolu kiiresti pöörlevatel planeetidel tõestada, et välja olemasolu eest on planeedid tänu võlgu pöörlemisele ümber oma telje.³⁰

Üksikute planeetide omadused, mis avastati esimeste uurimiste käigus, on meie Päikesesüsteemi tekkimise üldpildi fragmendid. Puuduvaid elemente täiendavad järgnevad detailsemad uurimised ja inimese julge loominguine fantaasia.

KOJU KATTETOOMISEGA

Päikesesüsteemi tekkimise üksikud fragmendid on teadusel juba olemas, kuid ta jätkab uute hankimist, uurides meteorkehasid, s. t. mitmesuguste mõõtmetega kosmilisi kehi, mis hulgaliselt liiguvad heliotsentrilistel orbiitidel kosmilises ruumis. Paljud neist «rändureist» ei oota, millal inimene suudab tulla neid uurima nende «kodus», kosmosearvustes, vaid tulevad «vabatahtlikult» Maale, et jutustada kaugest minevikust, mil nad tekkisid.

Meteorkehade orbiitide analüüsimisel tehti kindlaks, et nad kujunesid Päikesesüsteemis põhiliselt selles planeetidevahelise ruumi piirkonnas, mis jääb Marsi ja Jupiteri orbiitide vahele.

Me ei hakka mõistatama, kas meteorkehad on purunenud planeedi tükid ning kas asteroidide võondis jätkub praegu nende tükide purunemine või, vastupidi, toimub uue planeedi järkjärguline «hilinenud» formeerumine

³⁰ Mõõtmised ameerika kosmosesondilt «Mariner 2» ja hilisemad raadiolokatsioonuurimised näitasid, et Veenus pöörleb ümber oma telje vastupidiselt orbiidil tiirlemise suunale, tehes ühe pöörde umbes 250 päevaga. — R. P.

«ehitusmaterjali» ülejääkidest. Nii üks kui ka teine variant on ühtemoodi huvitav meie planeetidesüsteemi ajaloo tundmise ja iga planeedi ehituse tundmaõppimise seisukohalt.

Selgus, et meteoriitide ehituses ja koosseisus valitsevad kindlad seaduspärasused, mistõttu võib nad klassifitseerida mitmesse rühma. Iga rühma meteoriidid tekkisid nähtavasti ühesugustes füüsikalistes tingimustes.

Meteoriitide koostise ja struktuuri tundmaõppimisel võib saada tähtsat informatsiooni, kui uurida mitmesuguste radioaktiivsete isotoopide sisaldust nendes. See aitaks kindlaks määrata meteoriitide vanust või aega, millal nende füüsikalises olekus toimusid suured muutused. Uraani isotoopide sisalduse analüüs meteoriitides viis järeldusele, et nad kõik tekkisid umbes viis miljardit aastat tagasi — üheaegselt Maaga, mille vanus tehti kindlaks samal viisil. Kuid teiste elementide vahekorra uurimine näitas, et meteoriitide aine kõvastus umbes neli ja pool miljardit aastat tagasi. See aga ei tähenda, et tollest ajast alates säilisid meteoriitidel ühed ja samad omadused. Nende temperatuur jäi küllalt kõrgeks veel kahe-kolme miljardi aasta kestel, mis moodustab ligikaudu poole nende elueast tahkes olekus.³¹

On olemas kivi- ja raud- või raud-kivimeteoriite, kusjuures kivimeteoriite on kõige rohkem, umbes üheksakümmend protsenti Maa peal leitud meteoriitide üldarvust. Raudmeteoriidid on peamiselt raua ja nikli sulamid, sisaldades üsna vähe ka teisi elemente — koobaltit, fosforit, väävlit jne. Sulami struktuur võimaldab kindlaks teha, et oma olemasolu varasel perioodil oli meteoriitide temperatuur üle poolteise tuhande kraadi.

Samal ajal sisaldavad kivimeteoriidid süsinikku, väävlit, seotud vett ja teisi aineid, mis lenduvad kõrgetel temperatuuridel. See tähendab, et kogu olemasolu kestel ei tõusnud nende temperatuur üle kolmesaja kraadi Celsiuse järgi.

Maal leitud meteoriitidel on mitmekesine koostis ja struktuur, kusjuures elementide üldine levik neis on oluliselt sama mis Päikesel ja Maal. See lubab juba praegu

³¹ Raudmeteoriitide kõvastumisvanus on paljudel juhtudel osutunud suuremaks kui 4,5 miljardit aastat. Ka jahtumiskiirus pole kõigil meteoriitidel ühtlane — mõned kivimeteoriidid säilitsid kõrge temperatuuri veel kuni 400 miljonit aastat tagasi. — R. P.

põhjendatult järeldada, et kõik need kehad, vaatamata erinevusele mõõtmetes ja omadustes, on ühtse päritoluga. Seda enam on õigustatud katse üles ehitada süsteemi ajalugu üksikute taevakehade uurimise põhjal.

Erinevused kivimeteoriitide ehituses ja Maa põhilistes kivimites loomulikult raskendasid «maiste» ja «kosmiliste» kivimite järjekindlamat samastamist. Väljapääs seisis selles, et katsuti kivimeteoriitide ainet mõjustada nende füüsikaliste tingimustega, mis valitsevad maapõues, kus formeeruvad põhilised maised kivimid.

Kõigepealt õnnestus kivimeteoriitide ehituse ja tiheduse põhjal kindlaks teha, et nad tekkisid nõrkades gravitatsiooniväljades. Tähendab, kõige enne oli vaja nad allutada samasugusele rõhule, mis valitseb Maa sisemuses, ja siis ka suurtele temperatuuridele. Laboratoorsed eksperimendid näitasid, et niisugusel kombineeritud mõjustamisel meteoriitide struktuur muutub.

Kui temperatuur muutub teatud seaduse järgi, kutsudes meteoriitide aines esile omapäraseid «temperatuurilaineid», siis muutub aine osaliselt sulades oma omadustelt väga sarnaseks kivimitele Maa sisemuses. Kaasaegses tehnikas kannab selline protsess «tsoonsulatamise» nime. Seda kasutatakse laialdaselt maakide rikastamisel.

Niisuguse «tsoonsulatamise» mõjul kontsentreerus meteoriidi sellel küljel, kuhu suundusid temperatuurilained, aine, mis oma omadustelt meenutab maakoore basalte; teisele küljele jäi raskestisulav faas, mis on täpselt sarnane Maa ülamantli ainega. Need katsed tegid kindlaks võimaliku füüsikalise mehhanismi, mis kujundas meie planeedi kesta esialgsest meteoriitsest aineist.

Seega annab meteoriitide uurimine juba praegu teatava tõestuse väitele, et meie planeet kujunes mitte Päikesest väljapaiskunud plasmapiilvest, vaid meteoriitidest.

Nimetatud väide pole vastuolus vulkaanide ja tulivedela magma olemasoluga. Maapõue kuumenemise allikaks on mõningate elementide radioaktiivne lagunemine. Seejuures eraldusid mantli aineist ning tõusid üles kergemini sulavad ja vähem tihedad ained, kuna gaasid lendusid.

Me ei kavatse nendel huvitavatel küsimustel üksikasjalikumalt peatuda, kuna kõik tulemused pole seotud ja vaevalt seostuvadki kosmosesse väljumisega.

Maa «kogub» endiselt meteoriite edukamalt, kui seda võiks teha kosmoselaev. Avastatakse üha uusi ja uusi

meteoriite, mis on juba ammu Maale langenud. Nad annavad uusi andmeid kosmose materia edaspidiseks tundmaõppimiseks.

Ainus meteoriitide uurimisega seotud probleem, kus kosmoseaparaadid võivad praegu etendada suurt osa, on väikeste meteorkehade ja kosmilise tolmu jaotuse uurimine maailmaruumis.

PLANEEDI SAATUS

Maa ajalugu on tihedalt seotud mitte ainult Kuu ja planeetide, vaid ka Päikese ajalooga.

Galaktika vanust hinnatakse praegu umbes kuue ja poole miljardi aastaga.³² Galaktika reatähena ei või ka Päike vanem olla. Algul eksisteeris ta kui aine külm kogum, siis, tõmbudes järk-järgult kokku, kuuenes, kuni lõpuks süttis ereda valgusega, ujutades kiirgusvoogudega üle teda ümbritseva ruumi ja seal formeeruvad planeedid.

Valgus ja korpuskulaarsed vood paiskasid süsteemi äärtele kerged tolmpilved ja gaasid. Päikese kiirgus soojendas planeetide atmosfääre, mis olid tekkinud tänu sellele, et nende sisemus kuuenes radioaktiivsete elementide lagunemise tagajärjel. Algas dissipatsioon — hajumine, s. t. kergete gaaside äravool atmosfäärist planeetidevahelisse ruumi ja kaugemale, Päikesest eemale.

Päike ei ole muidugi algusest peale olnud selline, nagu me teda praegu tunneme. Vastavalt muutustele tema tegevuses kujunes ümber ka Maa loodus. Eespool oli juba juttu hüpoteesist, mille kohaselt jääaeg Maal võis olla tingitud suhteliselt kiiretest muutustest Päikese tegevuses. Varieerides oma kliimat ja ilma jälgis Maa kuulekalt Päikese kapriise ning allus neile kõrvalekaldumatult. Tõsi küll, ta tõi nendesse teatava loomingulise elemendi. Nii toimub ka tulevikus, vähemalt ajani, mil inimene saab Päikesest võimsamaks ning õpib oma äranägemise järgi mõjustama geograafilisi nähtusi või vähemalt suunama Päikese mõju soovitud rööpasse. Kuid isegi siis sõltub Maa Päikesest kui energiaallikast, kusjuures tema energiat hakatakse kasutama üha täielikumalt ja täielikumalt.

Päikese evolutsiooni tundmine on siis seda vajalikum,

³² Galaktika vanust ei ole praegu võimalik kuigi täpselt määrata. Tema üksiktähtede vanusest järeldub, et see peaks olema vähemalt kümme miljardit aastat. — R. P.

kui see võib viia katastroofiliste muutusteni tema iseloomus.

Maal ja Päikesel on ühine saatus. Me ei hakka selle üle mõtisklema, kuidas peaks käituma inimkond, et ära hoida Päikese tegevuse muutuste võimalikke tagajärgi. Meil jätkub veel aega, et rahulikult otsustada, kas rännata planeedilt planeedile, kohandades neid oma vajadustele, või asuda ümber kusagile teise tähe juurde. Meil on tähtis saada ettekujutust, milliseks kujuneb Päikese ja Maa saatus.

Päike ei ole vana ega ka noor täht. Päike on oma jõudude õitsengul. Kujunemise ajast alates suurenesid järkjärgult tema mõõtmed ja arvatakse, et praegu kiirgab ta energiat umbes 20% võrra rohkem kui oma tekkimise momendil.

Päikese mõõtmed ja heledus peaksid suurenema ka edaspidi. Umbes kolme kuni nelja miljardi aasta möödudes muutub ta hiidtäheks. Päikese mõõtmed saavad nii suureks, et Merkuuri orbiit sukeldub tema välisesse piirkonda. Muidugi, Merkuur ei oota, kuni Päike peidab ta oma pinna alla. Juba tunduvalt varem ta sulab ja muutub auruks ning selle aine hõõguvad gaasid, mis kunagi moodustasid Päikesele lähima planeedi, hajuvad Päikese kroonis.

Päikese nähtav heledus, s. t. kiirgusvoog tema pinna pindalaühikult, kasvab tõenäoliselt mitte rohkem kui kümme korda, kuid kiirguse üldvoog suureneb umbes sada korda, ja see saab Maale hukatuseks, kui ta ainult jääb endisele kaugusele Päikesest. Raske on uskuda, et Maa võiks eemalduda ohutule kaugusele: et kiirgusvoog jääks seejuures samasuguseks kui praegu, peaks Maa kaugus Päikesest suurenema umbes kümme korda.

Maapinna keskmine temperatuur, mis praegu on ainult pisut kõrgem vee külmumistemperatuurist, suureneb umbes kolm korda, kui lugeda absoluutsest nullist. Temperatuuri järkjärgulisel tõusmisel hakkavad juba kahe miljardi aasta pärast keema ookeanid ja kuumus hävitab elu Maal. Temperatuuri suurenemine ei vii küll atmosfääri lendumiseni, kuna kõrgemate kihtide temperatuur, mis sõltub ultravioletse kiirguse voost, peaaegu ei muutu. Maa mähkub lauspilvitusse, mis võib kuumust pisut «pehmen-dada», kuid mitte sedavõrd, et niisugustes tingimustes võiks eksisteerida elu.

Siis hakkavad Päikese mõõtmised tõenäoliselt vähenema ja üsna varsti muutub ta valgeks kääbuseks. Kirjeldatud protsess ei kulge monotoonselt. Aeg-ajalt võivad seda katkestada katastroofid, millega kaasnevad järsud päikeseenergia voo suurenemised.

Kõik need muutused Päikese iseloomus ei ole hukatuslikud Maale kui planeedile. Mingil Päikese jahtumise momendil annab atmosfäär tagasi vee ning sügavad lohud Maa hõõguval pinnal saavad jälle meredeks ja ookeanideks. Seejärel jahtuvad ookeanid järk-järgult ning kattuvad jääga, mis ulatub poolustelt ekvaatorini. Pilvkate kaob, kuid Maa jääb valgeks planeediks — teda katab paks jää- ja lumekiht.

Aja jooksul päikesevalgus tuhmub ning atmosfääri temperatuur langeb. Kõik see viib lõpuks pildini, mille maalissime meie jutustuse alguses, kui oletasime, et Päike kustub.

Mis saab edasi, on raske ennustada.

Kas meie Päikesesüsteemi ootab kurb saatatus, kus ainsaks liikumisvormiks on vaid surnud planeetide mehhaaniline liikumine ümber kustuva Päikese? Või tungib Päike Galaktikas rännates tolmutilve ja hakkab oma külgetõmbejõuga ahnelt koguma selle ainet — termotuumaenergia varusid — ning seda kokku suruma rõhuni, mille juures elementide tuumad lähenevad üksteisele? Algab uuesti tuumasüntees, mille tulemusena Päike süttib uue heledusega... Kes teab. Praegu on meie käsutuses liiga vähe fakte, et seda eksimatult väita.

Inimene ei ole näinud ega saagi näha üksiku tähe kogu evolutsiooniprotsessi. Aga selle-eest võib ta üheaegselt vaadelda miljoneid tähti, ja nende koostis ning seisund on talle teiseks informatsiooniallikaks tähtede ja planeetidesüsteemide saatustest.

Nagu Päikese uurimisel, nii on praegu ka teiste tähtede ja galaktikate tundmaõppimisel saavutatud erakordselt suurt edu juba üksi neid suhteliselt tagasihoidlikke vahendeid kasutades, mis on inimese valduses Maa peal.

Kosmosesse väljumine ning ühenduses sellega atmosfääri moonutava ja ekraneeriva mõju ning astronoomilisi instrumente deformeeriva gravitatsiooni puudumine võib olla aluseks uuele kvalitatiivsele hüppele universumi uurimisel, üksikute tähtede ja planeetide saatuse lahtimõtestamisel.

Rangelt öeldes pole selles raamatus ühtki osa, mille sisu üksikute objektide ja faktide või siis nähtuste keerukate vastastikuste seoste uurimisel ei põhjenuks mingil määral füüsika saavutustel. Veelgi enam, materjali esitamise käigus peatusime juba sellel, milline tähtsus on kosmosenähtustel eksperimentaalse ja teoreetilise füüsika mõningatele aladele.

Me teame juba, et tähtedel ja eriti Päikesel toimuvate protsesside uurimine aitab lahendada üht meie aja kõige aktuaalsematest füüsika probleemidest — probleemi valitseda termotuumareaktsioonide juhtimise saladust. Isegi termotuumareaktsioonide teostamise võimalikkusele enesele sai inimene jälile Päikest uurides, otsides energiaallikat, mis kutsub esile selle ammendamatu kiirgusvoo, mida saadab maailmaruumi Päike.

Päikese sisemuses toimub pidev isereguleeruv termotuumareaktsioon. Peale selle tekivad Päikesel loited, mis on seotud tema atmosfääris päikeselaikude piirkonnas eksisteerivate erakordselt tugevate magnetväljadega. Nimetatud väljade, nende ning loidete vahelise seose ja energia akumuleerumise mehhanismi uurimine loidete ajal võib füüsikale suurt huvi pakkuda, täpselt samuti ka plasmavoogude liikumine kroonis ja planeetidevahelises ruumis.

Tõsi, loide ise meenutab rohkem plahvatust kui sujuvat isereguleeruvat protsessi. Kuid ka selleta saavutas kaasaegne füüsika plahvatuste alal võib-olla isegi liiga suurt edu. Seda enam kasulikuks võib osutada kõikide Päikesel kulgevate nähtuste detailne uurimine.

Suurt tähtsust omab tuumafüüsikas edaspidisel aatomi-füüsika saladustesse ja materia sügavusse tungimisel kosmiliste kiirte primaarse voo uurimine.

Praegu ilmuvad ka füüsikute laboratooriumidesse üha võimsamad kiirendid. Juba on saadud energiat kuni

mitukümmend miljardit elektronvolti. Tõenäoliselt ei ole mägede taga aeg, kus kiirendatavate osakeste energiat mõõdetakse sadade miljardite elektronvoltidega. Samal ajal aga pole mõtet loobuda nende kiirendite kasutamisest, mida loodus ettenägelikult lõi universumis...

MIS ON GRAVITATSIOON?

Külgetõmme ehk gravitatsioon on üks tuntumaid ja seejuures kõige vähem uuritud kehade vastastikuse mõju nähtusi.

Elu tekkimise algusest peale «arvestasid» gravitatsiooniga kõik elusorganismid ja «kasutasid» seda oma tegevuse kõige mitmekesisematel aladel. Võtame kas või tuntud «otoliitelundi» — loomade tasakaaluelundi. Selles on ju tundlikuks elemendiks lihtne luukene, mis allub Maa külgetõmbejõule. Laialdasemalt hakati gravitatsiooni kasutama siis, kui arenes inimese teadlikkus, tema loominguiline tegevus.

Ajalooliselt esimesena kujunenud füüsika ala — mehaanika — arenes kui teadus, mis uuris külgetõmbejõuga seotud küsimusi.

Vanasti, kui inimesed kujutlesid Maad lameda kettana, ei mõelnud nad külgetõmbe põhjustele. Eksisteerisid mõisted «üles» ja «alla», oli teada, et kõik kehad langevad allapoole, et nende tõstmiseks ja ümberpaigutamiseks tuleb kulutada teatud tööd, ja see oli täiesti küllaldane sel ajal inimkonna ees seisnud praktiliste ülesannete lahendamiseks.

Aristotelese eluajast alates valitses veendumus, et raskemad kehad peavad langema kiiremini kui kergemad. Selle väite, mida keegi polnud tõestanud ja mida peeti silmanähtavalt õigeks, kummutas Galilei oma kuulsate katsetega. Ta olevat tõusnud Pisa torni tippu, lasknud sealt kukkuda kahel täiesti ühesugusel keral, millest üks oli kerge, teine aga raske, ja veendunud, et need jõudsid maapinnale samaaegselt.

Sellega ei piirdunud Galilei katsed. Kehade vaba langemine on liiga kiire protsess, et seda oleks võimalik suure täpsusega mõõta, eriti kui pidada silmas tolle aja ebatäiuslikku mõõtmistehnikat. Galilei pani ühesuguste mõõtmetega, kuid erineva kaaluga kerad veerema kaldpinnal, see

tähendab, ta kasutas oma katsetes mitte raskusjõu kogu suurust, vaid selle osa, täpsemalt, selle jõu projektsiooni kaldpinnale.

Katsed näitasid, et pinna suvalise kalde korral kasvab kiirus võrdeliselt ajaga, mida mõõdetakse liikumise algmõmendist, kuna kerade poolt läbitud tee on võrdeline aja ruuduga. Leidis kinnitust ka kiiruse sõltumatus kehade massist.

Galilei kasutas oma katsetes ka tavalisi pendleid — peente nõtkete niitide otsa riputatud raskusi. Kaare kõverust, mida mööda hakkab raskus liikuma, saab reguleerida niidi pikkuse muutmisega. Selgus, et ühesuguse niidipikkusega pendlid püüavad omada ühesugust võnkeperioodi, teisiti öeldes, nad liiguvad ühesuguse kiirusega isegi siis, kui koormus on erinev. See langes kokku eelmiste Galilei katsete tulemustega.

Galilei uurimused olid aluseks üldise gravitatsiooni-seaduse avastamisele Newtoni (sündis Galilei surma-aastal) poolt, kehadevahelise külgetõmbe matemaatilisele formuleeringule.

Üldine gravitatsiooniseadus ja selle rohkearvulised rakendused on laialdaselt tuntud ning selle kirjeldamisel poleks tarvis peatuda, kui külgetõmbe olemus ei oleks kaasaegse füüsika üks keerulisemaid ja ebaselgemaid probleeme.

Newton võttis kasutusele mõisted «jõud» ja «inertne mass». Kehale rakendatud jõud sunnib teda muutma kiirust või oma liikumise suunda, inertne mass takistab neid muutusi. Keha liikumise kiiruse muutumine ehk kiirendus on võrdeline kehale mõjuva jõuga ja pöördvõrdeline tema inertse massiga. See järeldus seletab eriti Galilei poolt avastatud fakti, et puidust kera ja raudkera vaba langemise kiirendused on võrdsed. Viimasele mõjub palju väiksem raskusjõud, kuid selle-eest on tema inertne mass täpselt sama palju kordi väiksem.

Newton vaatles vaba langemist ka laiemas mõttes. Ta arutles näiteks järgmiselt. Oletame, et me tulistame kahurit väga kõrgelt mäelt, mis ulatub atmosfäärist välja, kusjuures kahuritoru on paralleelne Maa pinnaga või, täpsemalt, — paralleelne tema pinna puutujaga selles punktis. Mida suurem on algkiirus, seda kaugemale mäejalamist kuul langeb. Küllalt suure kiiruse korral langeb kuul Maa vastasküljele, veel suurema kiiruse juures ei

lange ta aga üldse Maale, vaid hakkab tiirlema ümber Maa nagu Kuu.

See oli tegelikult Maa tehiskaaslase loomise esimene idee, mis realiseeriti raketi abil peaaegu kolmsada aastat hiljem. Nimetatud ideed kasutatakse sageli tehistaevakehade liikumise printsiipide seletamiseks. Kuid Newtoni arutluste eesmärgiks polnud otsida teid tehiskaaslaste loomiseks, vaid hoopis gravitatsiooniseaduse universaalsuse tõestamine.

Tõepoolest, kui vabalt langeva kuuli algkiirust muutes võib luua tehiskaaslase, siis miks ei või oletada, et ka Maa loodusliku kaaslase — Kuu — liikumine on samuti vaba langemine, kahe taevakeha vastastikuse külgetõmbe resultaat? Miks ei või oletada, et Maa ise on pideva vaba langemise olukorras Päikese suhtes. Järelikult püsivad ka kõik teised planeedid oma orbiitidel Päikese külgetõmbe tõttu.

Nii arenes ja leidis põhjenduse üldise gravitatsiooniseaduse idee, mille kohaselt kõik materiaalsed kehad tõmbuvad üksteise poole jõuga, mis sõltub nende massist ja nendevahelisest kaugusest.

Külgetõmmet on eksperimentaalselt väga raske uurida, eriti maapealsetes tingimustes, sest laboratooriumides saab teostada katseid ainult väikeste kehadega. Muutused, mida võib-olla õnnestukski nende vastastikusel mõjustamisel esile kutsuda, on väga väikesed. Pealegi tuleb selliseid eksperimente teha Maa tugevas raskusväljas. Mingil viisil tekitatud muutusi külgetõmbes on palju keerukam avastada, kui püüda kaaluda tolmuterakest puudaste vihtide ja väga jämedate kaaludega.

Newton hakkas üldist gravitatsiooniseadust matemaatiliselt tuletama järgmisest oletusest: kuna külgetõmbejõud Maa ja mingi Maa pinna lähedal asuva keha vahel on võrdeline selle keha massiga, siis peab ta olema võrdeline ka Maa massiga. Sellepärast on arusaadav, miks me ei märka ümbritsevate esemete omavahelist külgetõmmet — nende massid on ju palju väiksemad Maa massist ning seega on ka külgetõmbejõud nende vahel palju väiksem külgetõmbejõust, mis eksisteerib nende esemete ja Maa vahel. Alles pool sajandit pärast Newtoni surma tõestas teine inglise teadlane — Cavendish — eksperimentaalselt külgetõmbejõudude olemasolu väikeste kehade vahel.

Newtonil tuli seega postuleerida, et kahe keha gravitatsiooniline vastasmõju on võrdeline nende masside korrutisega. Pärast seda sai ta määrata ka külgetõmbejõu sõltuvuse kaugusest. Selleks võrdles ta jõudu, mis on vajalik Kuu hoidmiseks orbiidil Maa 60 raadiuse kaugusel, jõuga, mis mõjub esemetele Maa pinna lähedal, näiteks õunale, mis vastavalt legendile võimaldas Newtonil külgetõmbeseadust avastada.

Kuu ja õuna mass on erinev, kuid sel pole mingit tähtsust: nende liikumise iseloomu ei määra mass, vaid kaugus Maast ja algkiirus. See tähendab, et kui 400 000 kilomeetri kaugusel ümber Maa liiguks mitte Kuu, vaid õun, siis tema liikumise iseloom ei muutuks. Täpselt samuti langeks Kuu Maa poole õuna kiirusega, kui teda õnnestuks riputada puu otsa. Selline võrdlus viis Newtoni järeldusele, et tõmbejõud kahe keha vahel muutub pöördvõrdeliselt nendevahelise kauguse ruuduga. Seega on kahe keha tõmbejõud võrdeline mingi koefitsiendiga, gravitatsioonikonstandiga ja nende kehade massidega ning pöördvõrdeline nendevahelise kauguse ruuduga.

Kasutades gravitatsiooniseadust tuletas Newton matemaatiliselt planeetide liikumise seadused, mis olid avastatud Kepleri poolt, ning pani aluse kaasaegsele taevamehaanikale.

Kuid Newtoni seadus annab ainult avaldise külgetõmbejõu suuruse arvutamiseks ega pretendeeri külgetõmbe füüsikalise olemuse seletamisele.

Ette rutates võib öelda, et praegu oletatakse gravitatsiooni tuumaiseloomu. Arvatakse, et tema mehhanism peitub materia enese ehituses ja et ainult elementaarosakeste uurimine võib anda lahenduse sellele nähtusele. Peab ka märkima, et kvantmehhaanika arenemisel ilmnesis mitmesugused vasturääkivused; vastastikune tõmbejõud ise oli aga elementaarosakeste maailmas liiga nõrk, võrreldes teiste jõududega. Veendumus, et gravitatsioon on väga nõrk osakeste vastasmõju liik, viis tema tähtsuse alahindamisele kiiresti arenevas füüsikas, mis tegeles algul aatomite ehitusega, siis aatomi ja lõpuks tuuma enese osakestega.

Nüüd saab selgeks, et osakestel, mida alles hiljuti vaadeldi «elementaarosakestena», näiteks prootonitel, on väga keeruline ehitus. Neid võivad ümbritseda küllalt suure vastastikuse gravitatsioonilise mõjuga osakesed. Võib

juhtuda, et teatavad vasturääkivused, mis kerkivad esile väljade kvantteoorias, seletuvad just asjaoluga, et see teooria ei arvesta materia gravitatsiooni.

Teine põhjus, miks füüsika viimastel aastakümnetel ei osutanud küllaldast tähelepanu gravitatsioonile, peitub Einsteini üldises relatiivsusteoorias, mille järeldused on tihedalt seotud mõningate gravitatsiooniefektidega.

Oma täiuslikkusega viis see teooria paljud teadlased järeldusele, et siin on tegemist füüsika juba lõpule viidud alaga, ja näis võimatuna leida teid tema edasiarendamiseks.

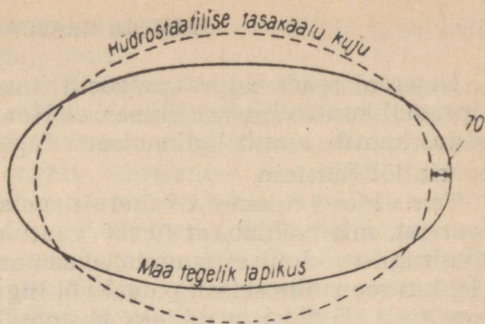
Relatiivsusteooria on praegu üks kõige harmoonilisemaid, kõige täiuslikumaid füüsikalisi teooriaid, kuid tal on liiga vähe eksperimentaalseid kinnitusi.³³ Teda kasutatakse füüsikas laialdaselt ning temata ei saa läbi isegi fantaseerijad, kusjuures fantastiliste romaanide süžee see osa tundub praegu kõige vähem fantastilisena. Samal ajal on meie igapäevane elupraktika ning meie poolt jälgitavad nähtused vaesed tõestustest, mis relatiivsusteooriat kinnitaksid ja mille eksperimentaalsest uurimisest võiks saada andmeid gravitatsiooni olemuse ühe või teise hüpoteesi kasuks.

Gravitatsiooni füüsikalise mehhanismi mõistmiseks on praegu kõige tähtsamad, kõige vajalikumad just eksperimentaalsed faktid. Kuid suur tähtsus võib olla ka teoreetilistel konstruktsioonidel, mis vahetult seletaksid külgetõmbe mehhanismi või seoksid teda universumi mitmesuguste omaduste ja karakteristikutega.

Mõned neist on loodud juba ammu. Tehakse näiteks katseid siduda gravitatsiooni materia jaotusega. Kasutatakse universumi mitmesuguseid füüsikalisi karakteristikuid ja nende kõrvutamise teel püstitatakse hüpoteese gravitatsioonikonstandi muutumisest aja jooksul. Teatud oletused gravitatsiooni olemusest järelduvad väljade kvantteooria edasisest arengust. On tehtud katseid konstrueerida gravitatsioonilise vastastikuse mõju «kombineeritud» teooriaid, mis arvestavad teisi teooriaid, eriti aga relatiivsusteooriat.

Vastavalt mõnele neist teooriaist oletatakse, et gravitatsioonikonstant võis aja jooksul muutuda. Siis pidi muu-

³³ Vt. P. Mürsepp. Kas valguse kiirus on levimiskiiruste ülim piir? Eesti Loodus nr. 3, 1965, lk. 133. — *Tõlk.*



Maa ei ole kera. Ta on pooluste juures kokku surutud. See oli ammu teada, kuid ainult tehiskaaslased võimaldasid küllaldase täpsusega kindlaks määrata tema lapikust. Osutus, et Maa on palju tugevamini kokku surutud, kui seda võiks eeldada hüdrostaatilise tasakaalust lähtudes; tema tegelik raadius on ekvaatoritasandis 70 meetri võrra suurem arvatust. Maa praegune kuju rahuldab hüdrostaatilise tasakaalu tingimust viiskümmend miljonit aastat tagasi, kui planeet pöörles kiiremini.

tuma ka tähtede heledus ning nende poolt kiiratava energia hulk.

Kui see on nii, siis võiks geofüüsikaliste ja astronoomiliste vaatluste käigus saada kindlaid põhjendusi nende hüpoteeside «poolt» või «vastu». Me juba rääkisime, kui tähtis on Kuu uurimine. Oma arengu teatud etapil, mida kinnitab radioaktiivse lagunemise uurimine, võis Kuu pind olla Päikese poolt niivõrd kuumutatud, et varasemad mägimoodustised oleksid pidanud isostaatiliselt tasanduma kivimite osalisel pehmenemisel ja nende elastsete omaduste kadumisel. Vanad kraatrid peaksid siis olema madalamad kui noored.

Mõned hüpoteesid oletavad mitmesuguste variatsioonide (sekulaarsete, aastaste) olemasolu gravitatsioonikonstandi suurus.

Et kontrollida, kas gravitatsioonikonstant muutub, peavad tehiskaaslased enesest kujutama üsna täpseid gravitatsioonikelli. Kuid selleks tuleb piiramatult vähendada atmosfääri takistust, mis isegi suurtes kõrgustes on teatavasti küllalt märkimisväärne. See nõuab aga omakorda spetsiaalsete tehnikaalaste küsimuste lahendamist.

Newtoni seadused võimaldasid luua taevamehhaanika. Täpsemal kontrollimisel ilmnes, et Newtoni gravitatsiooni-seadus kehtib ainult ligikaudselt. Täpsema gravitatsiooni-teooria lõi Einstein.

Tema ideed tulenesid vahetult spetsiaalsest relatiivsusteooriast, mis väidab, et ükski vaatlus, mis on teostatud mingisuguses kinnises ruumis, ei saa anda vastust küsimusele, kas see ruum seisab paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Kui võtta näiteks kosmoselaev, mis on väljunud igasuguste vähegi suurema massiga taevakehade mõjusfäärist, siis puuduvad seal mõisted «üleval» ja «all», ning mingid vaatlused välismaailmast eraldatud kabiinis ei saa lahendada küsimust, kas laev liigub või mitte. Kui vaatleja kavatseks niisugusel väljalülitatud mootoriga laeval korrata Galilei klassikalist katset vabalt langevate keradega, siis näeks ta, et kerad jäävad lihtsalt rippu selles kohas, kus nad käest lahti lasti.

Oletame nüüd, et laeva mootorid lülitati sisse ja nad annavad suuruselt konstantset veojõudu, laeva mass aga ei muutu. Laev saab konstantse kiirenduse ja vaatleja tajub seda subjektiivselt kui gravitatsioonivälja tekkimist; tema jaoks on olemas «üleval» ja «all», põrand ja lagi. Kui nüüd jätkata katset keradega, siis võib veenduda, et need «langevad alla» konstantse kiirendusega. Tegelikult kerad muidugi ei lange kuhugi, vaid jäävad samasse ruumpunkti, milles vaatleja nad enne laeva liikumise algust käest lahti laskis. Lihtsalt laev ise hakkas kerade suhtes liikuma. Kui nad vabanesid juba laeva liikumise ajal, siis kujutab kerade näiv põrandale langemine tegelikult laeva kiirenevat liikumist nende suhtes. Kerad ise liiguvad ühtlaselt sellesama kiirusega, mis oli laeval hetkel, kui vaatleja nad käest lahti laskis.

Kui vaatleja sel juhul kordab kõiki Galilei katseid, siis jõuab ta täpselt samadele järeldustele.

Mõlemad katsed on korraldatud väga rangelt. Tähen-dab, gravitatsiooniväli, mis tekib niisuguses kosmoselaevas, on täiesti ekvivalentne Maa gravitatsiooniväljaga. See väide, mis on tuntud ekvivalentsuse printsiibina, ongi Einsteini gravitatsiooniteooria aluseks.

Kuid seda rakendatakse mitte ainult keha mehhaanilise liikumise uurimisel. Einstein formuleeris üldise printsiibi,

mis kehtib nii mehhaanikaliste kui ka optiliste ja elektromagnetiliste nähtuste puhul.

Kujutleme, et laeva kabiinis kulgeb horisontaalsuunas valguskiir ja tema teel seisavad fluorestseeriva ainega kaetud klaasplaadid, nii et näeme kiire löikepunkte nendega. Valguskiir levib rangelt konstantse kiirusega ja läbib võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed kaugused. Samal ajal aga plaadid, mis võtavad osa laeva ühtlaselt kiirenevast liikumisest, läbivad iga järgneva ajavahemiku kestel üha pikema ja pikema tee. Siis ei ole valguskiir enam sirge, helendavad punktid kujutavad laeva kabiinis parabooli, mis on kõverdunud pöranda suunas. Analoogilise kuju omandaks ka kabiini seina torgatud metallvarras, kui ta asetseks normaalses gravitatsiooniväljas...

Seega võib väita, et kehad tõmbavad valguskiirt ligi ja kõverdavad tema teed. Einstein väidab, et ekvivalentsuse printsiip kehtib ka sel juhul: kaugetest tähtedelt Maale saabuvad valguskiired kõverdavad Päikese lähedal oma teed. Seda hüpoteesi kontrolliti 1918. aastal täieliku päikesevarjutuse ajal. Kui Kuu kattis Päikese ketta ja taevas hakkasid helendama tähed, fotografeeriti neid, mille juures selgus, et tähed, mis asusid Päikese ääre lähedal, «nihkusid» kõrvale umbes $1,75''$ nurga võrra.³⁴

Ka ühtlane pöörlemine on ühtlaselt kiirenev liikumine — kiirendus väljendub siin liikumise suuna pidevas muutumises. Pöörlevale platvormile asetatud kehale mõjub kesktõukejõud, mis on võrdeline inertse massiga, kuna kiirendatud liikumise efekti võib vaadelda kui vastava gravitatsioonivälja efekti ekvivalenti.

Muidugi, see väli on veel palju omapärasem kui väli, mis tekib konstantse kiirendusega liikuvast kosmoselaevas. Ta pole sfääriline, nagu kõikide kehade «normaalsed» gravitatsiooniväljad, vaid omab silindrilist sümmeetriat. Välja mõju pole suunatud süsteemi sisse, vaid väljapoole. Ta ei vähene võrdeliselt kauguse ruuduga süsteemi keskpunktist, vaid kasvab võrdeliselt kaugusega. Ja vaatamata sellele on ekvivalentsuse printsiip ka siin õige ning välja võib tõlgendada sümmeetriliselt telje ümber väga suures kauguses asetsevate inertsete masside poolt loodud väljana.

³⁴ Kuigi valguskiire paindumist on püütud täieliku päikesevarjutuse ajal korduvalt kontrollida, pole küsimus lõplikult lahendatud. Saadud andmeist järeldub pisut suurem efekt, kui ennustab teooria — $1,75''$ asemel $2,0''$. — R. P.

Kirjeldatud «karusselli» on meil tarvis esimesel pilgul paradoksaalsena näiva väite tõestamiseks, et sirge pole niisugusel juhul lühim kaugus kahe punkti vahel.

Olgu pöörleva ketta äärel kaks punkti — *A* ja *B*. Valguskiir väljub punktist *A* ja jõuab punkti *B*. Optika põhiseaduse kohaselt levib valgus mööda lühimat teed. Selle tee pikkuse mõõtmiseks võib vaatleja kasutada joonlaudu, asetades neid üksteise järele piki mõõdetavat vahe- maad.

Kui katset vaadeldakse väljastpoolt, siis, vastavalt spetsiaalsele relatiivsusteooriale, joonlauad lühenevad. Kui eksperimentaator, kes asub pöörleval kettal, hakkaks neid paigutama piki sirgjoont, siis läheks vaja rohkem joonlaudu kui sellesama kauguse mõõtmisel paigalseisval kettal. Joonlaudade arv pisut väheneb, kui me kaugust ei mööda piki sirgjoont, vaid piki mingit kõverat nõgususega ketta keskpunkti poole: mida lähemal keskpunktile, seda väiksem on joonkiirus, seda vähem lühenevad joonlauad.

Valguskiir ei levi niisuguses pöörlevas süsteemis piki «tõelist» sirgjoont, vaid kaldub algul keskpunkti poole ja alles pärast seda kõverdub tegelikult olemasoleva gravitatsioonivälja mõjul ketta serva suunas. Järelikult peab valguskiir kõverduma ka normaalses gravitatsiooniväljas, mis kinnitab meie varasemat, s. o. ekvivalentsuse printsiibist tuletatud järeldust.

Spetsiaalne relatiivsusteooria väidab veel, et ka aeg lüheneb sõltuvalt liikumise kiirusest. See tähendab, et kui pöörlevale platvormile paigutada täiesti ühesugused kellad — üks selle keskpunkti ja teine äärele —, siis kell platvormi keskpunktis käiks kiiremini. See on formaalne järeldus spetsiaalsest relatiivsusteooriast. Kuid vastavalt ekvivalentsuse printsiibile tuleb nentida, et ka normaalses gravitatsiooniväljas peavad täiesti ühesugused kellad käima erinevalt, kui nad ainult on paigutatud erineva külgetõmbejõuga punktidesse.

Neid arutlusi võib laiendada kõikidele keemilistele, füüsikalistele ja bioloogilistele protsessidele. Näiteks võib vastavalt relatiivsusteooriale tulla järeldusele, et inimene, kes elab mägedes, vananeb kiiremini kui inimene, kes elab orus. Järeldus on paradoksaalne — tegelikult elavad inimesed mägedes reeglina kauem kui orus. Kuid selle eest ei võlgne nad tänu üldse mitte relatiivsusteooriale, vaid

soodsamatele looduslikkudele tingimustele ja treeningule. Pealegi seda eluea pikenemist, millega vastavalt relatiivsusteooria järeldustele võivad arvestada orgude elanikud, ei mõodeta aastate või kuudega, vaid sekundi tühiste murdosadega. Illustreerimiseks võib öelda, et kui eksisteeriksid täiesti identsed kellad ja kui ühte neist õnnestuks paigutada Päikesele, millel on gigantne külgetõmme, ning teine jääks samal ajal Maa pinnale, siis esimene neist käiks ainult 0,0001 protsenti aeglasemalt.

Viimane idee pole sugugi nii absurdne, nagu see võib näida esimesel pilgul. Aine aatomid ongi niisugused erakordselt stabiilse käiguga kellad ehk konstantse võnkeperioodiga pendlid. Ergastatud aatomid kiirgavad aatomite võnkeperioodist sõltuvaid rangelt kindla pikkusega elektromagnetilisi laineid. Niisuguse kiirguse järgi võime põhimõtteliselt otsustada, missugune gravitatsiooniväli eksisteerib punktis, kus asub kiirgav gaas, või, vastupidi, võime ette öelda, kui palju vähenes teatud gravitatsiooniväljas asuva aine aatomite poolt kiirataivate lainete võnkesagedus, s. t. ennustada spektrijoonte nõndanimetatud gravitatsioonilist punanihet.

Astronoomia meetodid ei võimaldanud selle nihke suurst kontrollida — ta on liiga väike selleks, et teda võiks märgata, võrreldes tähtede looduslikke kelli vastavate kellade näitudega Maal...

Vastavalt relatiivsusteooriale võib seega väita, et külgetõmme aeglustab kellade käiku, kõverdab valguskiirt ja muudab meie kujutlusi kahe punkti vahelisest lühimast teest. Einsteini järeldused seovad ruumi ajaga ning viivad selleni, et kolmemõõtmeline ruum on kõver.

Võimatu on enesele piltlikult ette kujutada kõverdunud kolmemõõtmelist ruumi. Veel võimatum on seda teha neljamõõtmelise ruumi (ruum + aeg) suhtes. Mõningat ettekujutust sellest annab kahemõõtmeline ruum. Eukleidesi geomeetria on õige ainult sel juhul, kui ta rakendub tasapinnalistele kujunditele. Kui samad kujundid on kujutatud mingitel kõveratel pindadel, näiteks keral või sadulpinnal, siis osutuvad paljud Eukleidesi aksioomid ja teoreemid ebaõigeteks.

Lühimaks vahemaaks pinna kahe punkti vahel pole sirge, vaid kõver (vaatleja suhtes, kes asub kolmemõõtmelises ruumis). Kõverate pindade valik esitatud näites pole juhuslik. See võimaldab anda teatava iseloomustuse reaal-

sete pindade omadustele mitmesuguste gravitatsiooniväljade piirkonnas.

Kui kujutada kolmnurki tasandil, keral ja sadulpinnal, siis võib täheldada, et tasandil kujutatud kolmnurga nurkade summa on 180° , keral kujutatud kolmnurga nurkade summa on suurem ja sadulpinnal oleval kolmnurgal väiksem kui 180° . Kolmnurkade küljed kujutavad enesest sel juhul «lühimat vahemaad», kui vaatlust piirata ainult nende pindadega. Matemaatikud nimetavad niisuguseid jooni geodeetilisteks. Geodeetiline joon kolmemõõtmelises ruumis on joon, mida mööda levib valguskiir.

Kui geodeetiliste joonte poolt moodustatud kolmnurgas on nurkade summa 180° , siis on kombeks öelda, et ruum, milles kolmnurk asetseb, on tasane. Kui nurkade summa on suurem kui 180° , on ruum sfääriline ehk positiivse kõverusega. Kui nurkade summa on väiksem kui 180° , siis on ruumil negatiivne kõverus, s. t. ta on sadulakujuline.

Oletame, et Marss, Maa ja Veenus asuvad teatud ajamomendil mingi kolmnurga tippudes ja et igal nendest planeetidest asub astronoomiaobservatoorium. Kolmnurga sees asugu Päike. Võttes arvesse, et valguskiired kalduvad Päikese suunas, võib järeldada, et niisugustest valguskiirtest moodustunud kolmnurga nurkade summa on suurem kui 180° ja Päikese ruum on tänu Päikese külgetõmbele positiivse kõverusega. Teisest küljest, nagu me juba teame, on «karusselli tüüpi» gravitatsioonivälja valguskiired kõverdatud süsteemi keskpunktist eemale. Niisugustest kiirtest moodustunud kolmnurga nurkade summa on väiksem kui 180° ; ruum on negatiivse kõverusega.

Need järeldused moodustavadki Einsteini gravitatsiooniteooria aluse. Newtoni teoorias kujutab taevakehade gravitatsiooniväli enesest jõuvälja, mis sunnib teisi taevakehi tiirlema nende ümber piki kinnisi trajektoore. Einsteini käsitluses on gravitatsioon ruumi kõveruse ilming. Einsteini järeldused seovad väga tihedalt gravitatsiooni ja relatiivsusteooria uurimisprobleeme. Mistahes eksperiment, mille eesmärgiks on leida kinnitust relatiivsusteooriale, on ühtlasi Einsteini gravitatsiooniteooria kontroll. Seejuures ei anna Einsteini järeldused vastust küsimusele gravitatsiooni füüsikalisest olemusest.

Formaalselt on Newtoni gravitatsiooniseadus täiesti analoogiline kahe laengu vahelise elektrostaatilise mõju seadusega. Einsteini gravitatsiooniväljateoorial on palju ühist Maxwelli teooriaga, s. t. elektromagnetilise välja teooriaga. Seega oleks loomulik oletada, et kui vibreeriv elektrilaeng tekitab elektromagnetilisi laineid, siis vibreeriv mass tekitab gravitatsioonilaineid.

Einstein sai tõepoolest üldise relatiivsusteooria põhi- võrrandile lahendi, mille kohaselt peavad eksisteerima niisugused gravitatsioonihäired, mis levivad valguse kiirusega. Kui need lained on olemas, siis peavad nad kandma energiat, mille suurus on, tõsi küll, täiesti tühine. Näiteks peab Maa orbitaalsel liikumisel ümber Päikese kiirgama gravitatsioonilaineid võimsusega 0,001 vatti, mille tulemusena ta läheneb Päikesele kiirusega üks miljondik sentimeetrit miljardi aasta jooksul.

Pole olemas vahendit, millega saaks eksperimentaalselt avastada nii nõrku laineid, ja sellepärast mõned teadlased kahtlevad nende olemasolus. Kuid peab märkima, et paljud teadlased on gravitatsioonilainete olemasolus vastuvaidlematult veendunud. On isegi määratud gravitatsioonilainete energia elementaarse annuse suurus — «graviton», mis võrdub Plancki konstandi ja lainete võnkesageduse korrutisega. See on täpselt sama võrrand, mis määrab valguskvandi ehk footoni suuruse. Oletatakse ka, et neutriino ja gravitatsiooni vahel on mingi seos.

Juba Faraday kulutas väga palju jõudu selleks, et leida seost elektri ja gravitatsiooni vahel. Kuid ei tema ega ka mitmete teiste teadlaste eksperimendid järgnevatel aastatel ei andnud mingeid positiivseid tulemusi.

Peaaegu sama edutu oli Einsteini teoreetiline katse. Nagu ta külgetõmbe oli taandanud ruum-aja geomeetria listele omadustele, nii õnnestus tal anda teatav geomeetria line tõlgendus ka elektromagnetilisele väljale, kuid vastuvõetavat «ühtse välja» teooriat ta ei suutnud püstitada. Ka teistel teadlastel ei õnnestunud elektromagnetilist välja «geometriseerida». Kõik see viis veendumusele, et taolised katsed on perspektiivitud ja nüüd avaldatakse sageli mõtet, et tõelist seost gravitatsiooni- ja elektromagnetiliste jõudude vahel võib leida ainult elementaarosakeste olemuse uurimise käigus.

Külgetõmbe saladuste lahendamisel püütakse mõnikord otsida «antigravitatsiooni», s. t. hüpoteetiliste kehade omadust mitte tõmbuda tavaliste kehade poole või isegi tõukuda neist eemale. Tegelikult on see mingi «kingitud» jõu otsimine liikumiseks gravitatsiooniväljades. Eriti sageli kasutatakse «antigravitatsiooni» fantastilistes romaanides, alates juba H. Wellsi raamatust «Esimesed inimesed Kuul».

Kas «antigravitatsioon» on võimalik?

Katse anda vastus sellele küsimusele põhineb Newtoni üldise gravitatsiooniseaduse ning elektrilaengute ja magnetvälja omadusi määravate seaduste analoogial.

Elektri- ja magnetväljade mõju eest on näiteks võimalik kaitset leida ekraneerimisega. Kuid selleks et otsustada, kas ka gravitatsiooni mõju on võimalik ekraneerida, tuleb nähtavasti vaadelda selle mõju mehhanismi. Aine osakesed kujutavad positiivsete ja negatiivsete laengute süsteemi; metallides, elektrivoolujuhtmetes on teatav arv vabu elektrone, mis võivad kergesti ümber asetuda läbi positiivselt laetud ionide kristallivõre. Kui metall on asetatud elektrivälja, siis liiguvad vabad elektronid materjali ühe pinna poole, jättes vastaspoolse pinna positiivselt laetuks. Selline polarisatsioon loob vastasmärgiga elektrivälja, mis likvideerib esimese metalli sisemuses. Täiesti analoogiliselt tekitab ka magnetväli polarisatsiooni materjalis, mille aatomid kujutavad elementaarseid magnetikesi. Need on välise magnetvälja puudumisel orienteeritud kaootiliselt. Väline magnetväli korrastab magnetikeste orientatsiooni ning ekraani materjal loob magnetvälja, mis on märgilt vastupidine põhiväljale. Selle tulemusena kustubki viimase mõju materjali sees.

Gravitatsiooniline ekraneerimine oleks võimalik, kui eksisteeriks gravitatsiooniline polarisatsioon, mis on sarnane elektrilise ja magnetilise. See eeldab kahte liiki osakeste olemasolu — ühed positiivse gravitatsioonimassiga, teised — negatiivsega. Esimesi osakesi peab Maa külge tõmbama, teisi eemale tõukama. Mainitud probleemi ebareaalsus seisneb aga selles, et negatiivse gravitatsioonimassiga osakesi pole siiani avastatud.

Olukorda ei päästa ka pöördumine antiaine juurde, mis omadustelt on vastupidine tavalisele ainele. Võiks loota, et ka antiaine ja tavalise aine gravitatsiooniline vastasmõju on vastupidine. Antiaine olemasolu on eksperimentaalselt tõestatud, ja seetõttu näib, et lootus luua gravitat-

siooniline ekraan, mis on koostatud tavalise aine ja antiaine osakestest, on reaalne. Kuid seda ainult esimesel pilgul. Me ei saa isegi kiirendis kontrollida aine ja antiaine gravitatsioonilise vastasmõju märki. Osakesed liiguvad peaaegu valguse kiirusega ja kilomeetrisel teel kallutab Maa külgetõmme antineutronite kiirt kõrvale ainult 10^{-12} sentimeetri — aatomituuma diameetri — võrra.

Võimatu on ka antineutronite liikumist aeglustada: põrgates kokku tavalise aine osakestega, astuvad nad tormilisse reaktsiooni — nõndanimetatud annihilisatsiooni... Antiaine niisuguse iseärasuse tõttu ei oleks võimalik luua ekraani, mis koosneks tavalise aine ja antiaine osakestest. Veelgi enam, ükski antiainest konstruktsioon ei saaks eksisteerida isegi planeetidevahelises ruumis. Seal põleks ta kiiresti ära päikesetuule prootonite voogudes.

Seega on gravitatsiooniekraanide otsingud tehnilisest seisukohast lootusetud niivõrd, kuivõrd on õige kehade gravitatsiooniliste, elektriliste ja magnetiliste omaduste analoogia.

Küsimus antiaine inertse massi märgist on üsna tähtis mitte ainult gravitatsiooniväljades mõnusa liikumisviisi otsingutel, vaid ka gravitatsiooni teoreetilisel uurimisel. Kui selgub, et antiosakeste inertne mass on negatiivne, siis on see surmavaks löögiks ekvivalentsuse printsiibile ja kogu Einsteini gravitatsiooniteooriale. Antiõunal on õigus normaalses gravitatsiooniväljas kukkuda üles, kuid hüpoteetilise eksperimendi juures konstantse kiirendusega liikuv kosmoselaevas ei või antiainest kera väljaspool asuva vaataja suhtes kahekordse kiirendusega üles lennata, mida ta aga peaks tegema ekvivalentsuse printsiibi kehtimisel. Tõepoolest, mingisugust jõudu sellele liikumisele ju ei kulutata ja relatiivsusteooria järgi peab iga keha sellises laevas kukkuma põrandale, sõltumata sellest, misugusest aineest ta koosneb.

KUIDAS KONTROLLIDA RELATIIVSUSTEORIAID?

Planeetide liikumise vaatlusi peetakse erakordselt täpseks. Ja ometi ei piisa sellest nende iseärasuste tabamiseks, mis peaksid ilmnevalt relatiivsusteooriale. See on jällegi tingitud asjaolust, et gravitatsiooniväljad on suhteliselt nõrgad ning planeetide liikumise kiirused väikesed.

Kõige kiiremini liigub Merkuur. Vastavalt relatiivsusteooriale peab tema liikumises eksisteerima märgatav efekt — planeedi orbiidi periheeli relativistlik nihkumine. See on suhteliselt väike — kõigest 43,03 kaaresekundit saja aasta kohta. Merkuuri vaatlemine ja tema liikumise täpne analüüs on üks vähestest relatiivsusteooria kontrollimise viisidest, mis pole seotud vajadusega väljuda kosmilisse ruumi.

Teised üldtuntud võimalused relatiivsusteooria kontrollimiseks peituvad gravitatsioonilises punanihkes ja valguskiire gravitatsioonilises hälbes. Nii ühel kui teisel juhul kerkivad esile suured raskused.

Algul näis, et punanihke jaoks vajaliku tulemuse Päikesese spektris võib saada «statistiliselt» — väga suure arvu vaatluste läbiviimisel. Kuid need lootused ei õigustanud end. Päikesekiirte gravitatsiooniline punanihe osutus palju väiksemaks Doppleri nihkest, mille kutsub esile Päikeselt kiirataivate plasmavoogude liikumise turbulentsus tema atmosfääris. Valgusallika liikumine aga põhjustab teatavasti tema poolt kiirataivate valguslainete pikkuse muutumist.

Ja ainult tänu Mössbaueri avastusele, et teatavatel tingimustel väikese energiaga gammakiired võivad kiirguda ilma spektraaljoonte tavalise Doppleri laienemiseta, said füüsikud instrumendi gravitatsioonilise punanihke mõõtmiseks. Nüüd avanes võimalus mõõta spektrijoonte lainepikkuse mõningat muutust külgetõmbejõu toimel suurte lainepikkuste poole. Gravitatsioonilise punanihke laboratoorsed mõõtmised kinnitasidki kuni kümneprotsendilise täpsusega üldise relatiivsusteooria õigsust.³⁵

Jutustust üldise ja spetsiaalse relatiivsusteooria kontrollimise viisidest tuleb nähtavasti alustada mõningate laboratoorsete füüsikaliste eksperimentide kirjeldamisest. Nagu kõrgete energiatega osakeste puhulgi, toimub ka siin omapärane võistlus kosmiliste eksperimentide hüvede ja maapealsete laboratooriumide kasvavate tehniliste võimaluste vahel.

Relatiivsusteooriat saab põhimõtteliselt kontrollida erakordselt suure täpsusega kellade abil. Kontroll seisneb nende kellade käigu, s. t. aja mastaabi muutuste võrdlemi-

³⁵ Gravitatsiooniline punanihke järeldub juba spetsiaalsest relatiivsusteooriast. Seega ei kinnita mõõdetud efektid veel üldise relatiivsusteooria õigsust. — R. P.

ses, kui üks kell paigutada kiiresti liikuvale objektile, teine aga jätta paigale, või siis paigutada kellad punktidesse, milles raskusjõu väärtused on erinevad.

Kellaks võib olla mistahes mehhanism, mille liikumise iseloom on rangelt perioodiline või tsükliline. Mida suurem on seejuures liikumise sagedus, seda parem. Seepärast osutusid väga mugavateks pendliteks mõningad aatomid ja molekulid, mis võnguvad sagedusega mitu miljardit võnget sekundis. Kuid selgub, et relatiivsusteooria kontrollimiseks maapeelses eksperimentis ei ole see sagedus piisav. Pealegi on niisuguste aatomite ja molekulide kiiratud spektrijooned liiga laiad selleks, et nende põhjal võiks otsustada nende väikeste sageduse muutuste üle, mida ennustab relatiivsusteooria.

Kirjeldatud kelli tuli otsida juba mitte aatomites, vaid aatomite tuumades. Kui ajutiselt unustada kvantmehhanika olemasolu, siis võib aatomituuma lihtsustatult kujutada kerana, mille pinnal on ühtlaselt jaotunud positiivne elektrilaeng. Kera ei tohi olla jäik, vaid vedelikutilga omadustega. Kui tuum on ergastatud, siis vibreerib kera nagu elavhõbedatilk, kusjuures kiirguvad kõrgsageduslikud elektromagnetilised lained, mida nimetatakse gammakiirteks. Nende sagedus võib olla 10^{18} võnget sekundis. Energia, mida kannavad niisugused võnked, on tavaliselt väike, ja seepärast võib võnkeprotsess kesta pikka aega, mõnikord isegi päevi ja kuid (metastabiilsed nivood).

Niisugused ergastatud tuumad on väga sobivad pendlid. Tuuma kaitsevad välismõjude eest aatomit ümbritsevad elektronid ja seepärast ei mõjusta teda temperatuur ega keemilised muundused. Võngetele ei avalda mõju mingid hõõrdejõud, ja need pendlid «tikuvad» konstantse sagedusega, ilma et neid oleks tarvis uuesti üles keerata. Isegi siis, kui tuuma kiirgus ei kesta kaua, vaid ainult miljondik osa sekundist, jõuab «pendel» sooritada tuhat miljardit võnget.

Hea pendel on hea kella põhiosa, kuid ta pole veel päris kell. On tarvis osata lugeda selle kella näitusid. Muidugi, tuuma võnkeid pole võimalik loendada, kuid see-eest võib võrrelda kiirgavate tuumade ja sama aine nende tuumade võnkesagedusi, mis seda kiirgust neelavad.

Kui kiirgaja ja neelaja asuvad absoluutselt ühesugustes tingimustes, siis sunnivad kiirgavad tuumad resonantselt võnkuma ka neelavaid tuumi, niisamuti nagu helisev keel

paneb vibreerima teise keele, mis on häälestatud samale toonile. Tarvitseb kiirgajal ainult sattuda teistesse füüsilistesse tingimustesse — näiteks väga kaugele Maast — kui toimub kiirguse sageduse muutumine ja resonants kaob, vaatamata sellele et raskusjõud antud punktis erineb oma suuruselt ainult pisut raskusjõust neelaja asukohas. Sama toimub ka juhul, kui kiirgaja hakkab liikuma. Isegi väikeste kiiruste juures on sageduse Doppleri nihe selline, et resonants on häiritud.

Nagu näeme, on instrument erakordselt täpne, kuid see täpsus teeb ta praktiliselt kasutamiskõlbmatuks. Asi seisab selles, et tuum ei kiirga kõikides suundades pidevaid võnkeid, vaid üksikuid diskreetseid (katkevaid) energiakvante, mille suund on meelevaldne. Ta otsekui tulistab kvante nagu kahur mürske. Kuid kahur sooritab seejuures tagasilöögi ja mürsk väljub liikuvast torust. Selgub, et ka kvantniisamasuguse tagasipõrke tõttu ei kiirgu paigalseisvast, vaid pisut nihkuvast tuumast. Nihutuse kiirus pole suur, kuid küllaldane selleks, et kiirguva kvandi võnkesageduse muutumine (Doppleri efekt) viiks süsteemi resonantsist välja. Kell tõrgub töötamast.

Mössbauer avastaski, et juhul kui «kinnistada» kiirgaja tuumad kristallivõres, jääb neil ära võimalus nihkumiseks kvandi kiirgamise momendil. Kahur muutub miinipildujaks, mille toru toetub maapinnale asetatud massiivsele plaadile ja mis tulistamisel praktiliselt ei nihku.

Me ei tungi kirjeldatud katse üksikasjadesse. Tähtis on vaid see, et praegu on olemas instrument, mis lubab mõõta väga väikseid sageduse muutusi. Relatiivsusteooria mõningate teeside kontroll kinnitas nende õigsust küllalt suure usaldatavusega.

Võib mainida veel ühte kontrollimise võimalust. Kosmilise kiirguse sekundaarsete osakeste hulgas avastati osakesed, mille eluiga oli niivõrd lühike, et nad ei oleks pidanud jõudma Maa pinnale kõrgatmosfäärist, mis oli nende tekkekohaks. Ja ometi tõestati eksperimentaalselt, et nad siiski jõudsid Maale... Milles on asi? Lahendus leiti, kui nende osakeste eluiga hakati lugema mitte Maal kehtiva, vaid nende «isikliku» aja järgi. Osakeste kiirus oli väga suur, aja mastaap nende jaoks venis (täielikus vastavuses spetsiaalse relatiivsusteooriaga) ja «isikliku» aja järgi arvestades piisas nende elueast selleks, et lennata Maani.

Kõik need olid relatiivsusteooria Maa-pealsed kontrollimisviisid, mis realiseeriti osalt enne seda, kui ilmusid tehiskaaslased. Eksperimentaalne füüsika ei oodanud, millel tehiskaaslastele paigutatakse aatomikellad ja teooriat saab kontrollida kosmoses. Praegu on veel raske otsustada, kuivõrd ammendavad on tulemused, mis on saadud Maal asuvates laboratooriumides. Tõenäoliselt ei loobuta tulevikus vastavate eksperimentide läbiviimisest kosmoses. Täpselt samuti ei nõrgene huvi kosmiliste kiirte uurimise vastu tehiskaaslaste abil, vaatamata sellele, et Maal ehitatakse üha võimsamaid osakeste kiirendeid.

Seepärast kirjeldame peamisi ettepanekuid, mis on avaldatud maailmakirjanduses ja puudutavad relatiivsusteooria kontrollimist kosmosemeetoditega.

*

Merkuur on esialgu ainuke taevakeha, mis oma liikumisega kinnitab üldise relatiivsusteooria õigsust.³⁶ Kuid seda ülesannet võiksid täita ka tehiskaaslased. Tehiskaaslane tuleks sel juhul välja saata orbiidile, millel on kõrge perigee, et vältida atmosfääri mõju, ja ühele lähedane ekstsentrilisus, et relativistlik efekt oleks maksimaalne.

Kuid raskus seisab selles, et suure ekstsentrilisusega kõrged orbiidid on erakordselt tundlikud teiste taevakehade mõju suhtes. Seepärast saab nimetatud ülesannet lahendada üksnes siis, kui õnnestub ette arvestada mitte ainult keskkonna takistuse, Maa asfäärilisuse ja Päikese kiirgusrõhu mõju orbiidi perigee nihkumisele, vaid ka Kuu ja Päikese poolt esile kutsutavaid orbiidi häireid.

Relatiivsusteooria õigsust võib kontrollida ka tehisplaneedi abil, kui paigutada selle pardale impulssjärgija, mis vastab Maalt tulevatele signaalidele. Siis on võimalik pidevalt mõõta Maa ja tehisplaneedi vahemaad ning kui ajamõõtjaks võtta aatomikell, võib kaugusi arvutada mõnemeetrise täpsusega.

Niisugune tehisplaneet, liikudes suure ekstsentrilisusega orbiidil, aitaks ehitada Päikesesüsteemi siseplaneetide liikumise täpset ja kooskõlastatud teooriat. Selle teooria ülesehitamine võiks automaatselt anda periheeli nihke suuruse, üldise relatiivsusteooria täiendava kontrolli. Pla-

³⁶ Vt. H. Õiglane, Vestlusi relatiivsusteooriast, Tallinn 1965. — Tõlk.

needi liikumise jälgimine aitab täpsustada siseplaneetide massi ja saada seega veel täpsemaid andmeid Merkuuri periheeli relativistliku nihke kohta.

... Kosmosetehnika võimaldab uuel alusel läbi viia ka katset kiirgussageduste punanihke osas. Üldise relatiivsusteooria järeldused räägivad, et mistahes perioodilise nihke sagedused muutuvad gravitatsioonipotentsiaali muutumisega selles punktis, kus kulgeb antud perioodiline protsess. Tugevate gravitatsiooniväljadega tähtede kiirgustes peab toimuma punanihe. Niisugust nihet vaadeldakse valgete kääbuste spektrites, kuid mõõtmistäpsus on siin väike. Mitteküllaldane täpsus takistab sellise nihke avastamist ka Päikese spektris.

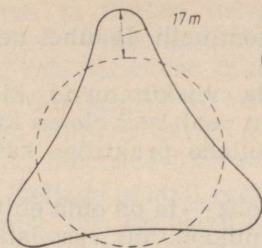
Sageduste gravitatsioonilist punanihet võib vaadelda ka tehiskaaslaste abil. Täiesti analoogiliselt sellega, kuidas külgetõmbeväli avaldab mõju kiirguvate elektromagnetiliste võnkumiste sageduste nihkele, mõjub ta ka kaasaja täpseima ajaetalooni — aatomikella — tööle.

Tähendab, kui asetame tehiskaaslasele aatomikella, siis erinevad tema näidud Maal asuva aatomikella näitudest seda enam, mida kõrgem on tehiskaaslase orbiit ning mida nõrgem on gravitatsiooniväli selles ruumiosas. Kui niisugust kella õnnestuks paigutada väljapoole gravitatsioonivälja, siis erineksid tema näidud Maal asuva kella näitudest umbes seitsme kümnemiljardiku võrra. See tähendab, et mistahes reaalsel orbiidil tiirleva kella näitude erinevus peab olema tunduvalt väiksem ja nende mõõtmiseks peaks kellal olema võrreldamatult suurem täpsus, näiteks üks sajamiljardik. Aasta jooksul on sellisel kellal «õigus» käia ette või jääda taha ainult kolm kümnetuhandikku sekundit.

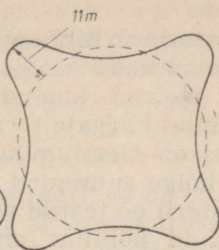
Just niisugune täpsus on praegu parimatel aatomikelladel laboratooriumi tingimustes. Järelikult on nad täiesti sobivad sageduste gravitatsioonilise punanihke mõõtmiseks. Ülesanne seisab selles, et luua aparatuur, mis oleks vastuvõetav oma mõõtmetelt ja kaalult ning samal ajal tagaks töö vajaliku usaldatavuse ka tingimustes, mis erinevad laboratoorsetest.

Niisugusteks eksperimentideks kasutatava tehiskaaslase orbiit peab olema küllalt kõrge, et gravitatsioonipotentsiaalide erinevus Maal ja tehiskaaslasel oleks võimalikult suur. Teisest küljest aga liigub tehiskaaslane kõrgel orbiidil väikese kiirusega ja järelikult kella käigu aeglus-

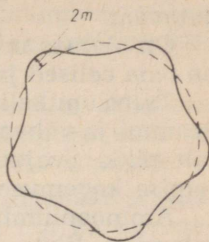
3. harmooniline



4. harmooniline



5. harmooniline



Maa kujus on avastatud kolmas, neljas ja viies harmooniline komponent. Joonisel on need kujutatud suurendatult. On märgitud ka nende suurus ja asetus pooluste suhtes (põhjapoolus on üleval). Harmoonilised komponendid kujutavad piki paralleele paigutatud rõngaskühmusid ja -lohkusid. On avastatud ka ebakorrapärasusi, mis sõltuvad geograafilisest pikkusest, — Maa ekvaator pole ring, vaid väga väikese ekstsentrilisusega ellips.

tumine, mida ennustab spetsiaalne relatiivsusteooria (nimelt seda kasutavadki fantastiliste jutustuste autorid tähtedevaheliste valguselähedase kiirusega toimuvate lendude kirjeldamisel), ei ole suur.

Kui tehiskaaslase orbiit on ringikujuline, siis on erinevus kellade käigus üks ja seesama orbiidi kõikide punktide jaoks ja üldist erinevust kellade näitudes ei tule vaadelda kui erinevuste summat kellade käigu mitmesugustes tingimustes.

Kui aga õnnestuks välja töötada viiese kellade näitude võrdlemiseks lühikeste ajavahemikkude kestel, kus gravitatsioonipotentsiaali suurust võib lugeda konstantseks isegi tehiskaaslase liikumisel piki suure ekstsentrilisusega orbiiti, siis oleksid kahtlemata kasulikud väljavenitatud orbiidid. Viimased võimaldaksid ühe katsega mõõta sageduste gravitatsioonilist nihet gravitatsioonivälja potentsiaali suuruste diapsoonis, mis on tingitud orbiidi perigea ja apogee kõrguste erinevusest.

Sageduste gravitatsioonilist nihet võib avastada ka raadiosaatja kvartsgeneraatoriga stabiliseeritud sageduste muutumise järgi. Niisugusel juhul gravitatsiooniline nihe hakkab nagu moduleerima saatja sagedust. Sellise katse puhul peab tehiskaaslane liikuma piki väljavenitatud

orbiiti, et saatja gravitatsiooniline modulatsioon oleks märgatavam.

On olemas mitmesugust liiki aatomikelli. Igaühel neist on oma eelised ja puudused.

Tseesiumikellad võivad kaaluda viiskümmend kilogrammi ja vähem, kuid kiirgaja toru peab neil olema küllalt pikk. Seejuures on tseesiumikellade praktilise kasutamise kogemused kõige suuremad.

Ammooniumimaseril on teatud eelis — ta on oma ehituselt väga lihtne. Kuid põhiline ammooniumi resonantsjoon on palju laiem kui teistel generaatoritel. Seetõttu on niisugused kellad vähem täpsed.

Kellad, mis töötavad rubiidiumi aurude generaatoril, on küllalt lihtsad ja täpsed. Sellise generaatori poolt kiiratava joone laius on isegi väiksem kui tseesiumigeneraatorist kiirguvatel joontel.

Kui sageduste gravitatsioonilist nihet oleks võimalik mõõta küllalt suure täpsusega, siis aitaksid niisugused katsed kontrollida ka hüpoteese, mis väidavad, et gravitatsioonikonstant on tegelikult muutuv suurus.

... Relatiivsusteooriast on kõige laialdasemalt tuntud järeldus, et ajamastaap muutub sõltuvalt selle liikumisvahendi või taevakeha kiirusest, millele kellad on paigutatud. Aja aeglustumine saab märgatavaks ainult siis, kui liikumine toimub valguse kiirusele lähedase kiirusega, ja seepärast on täiesti loomulik, et ühegi maises praktikas tuntud liikumiskiiruse juures ei ole võimalik seda järeldust kontrollida.

Teatav võimalus kerkis Maa tehiskaaslaste orbiitide mõõtmise täpsete meetodite väljatöötamisel. Tehiskaaslaste liiguvad kiirusega kaheksa kilomeetrit sekundis, — see on palju suurem kui lennukite, suurtükimürskude või mistahes teiste, inimese loodud liikuvate kehade kiirus.

Relatiivsusteooria nimetatud efekti kontrollimine ei ole keeruline. See taandub orbiidil liikuva tehiskaaslase pardal asuva kella ja Maal asuva kella käigu võrdlemisele.

Kiirusel seitse kilomeetrit sekundis, mis vastab tehiskaaslase liikumisele suhteliselt madalal ringorbiidil, peaks sageduste aeglustumine olema ligikaudu võrdne kolme kümnemiljardikuga, s. t. aasta jooksul peaksid liikuva kella näidud muutuma umbes ühe sajandiku sekundi võrra, võrreldes Maal asuva kella näitudega.

Nõuded tehiskaaslase orbiitidele on vasturääkivad:

ühest küljest — mida madalam on orbiit, seda suurem on kiirus ja ühtlasi märgatavam aja aeglustumine; teisest küljest — madalatel orbiitidel on suurem atmosfääritakistus, mis vähendab tehiskaaslase eluiga.

Püüe suurte kiiruste poole sunnib teadlasi eelistama väga väljavenitatud orbiite — kiirus perigees võib sel juhul läheneda üheteistkümnemele kilomeetrile sekundis.

Kellade näidud registreerivad nii aja kulgemise aeglustumist, mis on tingitud suurest kiirusest, kui ka kiirenemist gravitatsioonivälja toimel. Seepärast on väga tähtis leida tee nende efektide eraldamiseks. Üsna otstarbekohane on saata tehiskaaslane küllalt kõrgele (tiirlemisperioodi kestel domineerib algul gravitatsiooniline kiirenemine), kuid niivõrd väljavenitatud ja nii madala perigeega orbiidile, et pidurdumise tõttu atmosfääris perigees piirkonnas oleks sellise tehiskaaslase eluiga küllalt lühike.

Siis väheneb teatud aja möödudes, näiteks poolteisekahe aasta pärast, pidurduse arvel apogee kõrgus. Orbiit muutub küllalt madalaks ja ülekaalu saavutab aja kulgemise aeglustumine.

Kella näidud registreeritakse ja antakse üle Maale. Andmete võrdlemine peab võimaldama eraldada mõlemaid efekte, mida vaadeldi katse ajal.

Katse edukuse tagamiseks tuleb eriti hoolikalt eemaldada näitudest Doppleri nihe, ionosfäärist tingitud moonutused signaali teekonnal tehiskaaslaselt Maale jne. Eriti vajalik on see juhul, kui võrdleme saadud andmeid suhteliselt lühikeste ajavahemikkude möödudes, et ei oleks kella näitude hälvete kuhjumist. Kui seda ei tehta, siis võib kella käigu väike kõrvalekalle, mis on mõõdetud lühikese ajavahemiku jooksul, jääda märkamatuks nende vigade tõttu, mis on seotud andmete telemeetrilise ülekandegaga.

Nimetatud häired ei etenda mingit osa, kui andmeid koguda ja üle anda nende keskväärtused pikkade ajavahemikkude tagant.

Kiirus, millega levivad elektromagnetilised kiirgused, ei tarvitse olla konstantne erinevate sageduste puhul. Maa tehiskaaslasi või kosmoserakette võib kasutada ka selle probleemi uurimiseks. Tehiskaaslane, millele on paigutatud mitmesuguse sagedusega elektromagnetilisi võnkeid kiirgav generaator, peab asuma küllalt kaugel Maast, et

Maale jõudvate signaalide saabumisaegade erinevus võiks olla märgatav.

Sellist katset võib teostada ka vastupidise skeemi järgi: paigutada tehiskaaslasele vastuvõtja, mis registreerib maapinnal asuva lairibageneraatori kiirgusi. Skeemi valik sõltub sellest, mida on mugavam, praktilisem ja ökonoomsem paigutada tehiskaaslasele, kas kiirgusgeneraatorit või vastuvõtjat.

On olemas ka looduslikke kiirgusgeneraatoreid, nagu kaksiktähed, millest üks täht on kuum, teine aga külm; noovade ja supernoovade loited jne. Need allikad asuvad Maast nii kaugel, et raketid sinna niipea veel ei jõua. Küsimus niisuguste eksperimentide läbiviimise otstarbekusest sõltub sellest, kuivõrd nimetatud eesmärgil õnnestub kasutada looduslikke kiirgusallikaid.

Gravitatsiooni- ja relatiivsusteooria olemus on kaas-aegse füüsika probleemid, mida ei saa küllalt hästi tundma õppida, kui nende uurimiseks ei võeta appi kosmosemeetodeid. Muidugi, kosmoseuurimiste käigus lahendatavate füüsikaliste probleemide loetelu ei ammenu ei nendega ega ka mitte varem loetletutega. Teaduses on alati eksisteerinud horisondid, millest kaugemale on raske näha, ja ainult nende suunas edasiliikumine avab uued kaugused inimese rahutule mõistusele.

Jõenäoliselt võiksid paljud teadusalad praegu vaielda omavahel selle üle, missugusele neist on kõige vajalikum kosmoseuurimise arendamine, teistele planeetidele jõudmine.

Kuid on olemas teadused, mis aitasid väga palju kaasa universumi uurimise ühe täiuslikema vormi väljaarendamisele — inimese enese väljumisele kosmosesse. Need on meditsiin ja bioloogia.

... Raketitehnika areng võimaldas välja töötada täiuslikud kosmoselaevad ja -raketid ning viia nad imeteldava täpsusega etteantud orbiitidele. Piinliku hoole ning täpsusega läbimõeldud bioloogilised uurimistööd ja kosmilises ruumis kulgevate füüsikaliste protsesside tundmaõppimine võimaldasid kindlalt öelda: kosmoselend on teostatav. Uuesti ja uuesti kordusid katsed loomadega, üksteise järel saadeti edukalt välja ja maandusid kosmoselaevad. Kontrolliti tulemusi ja tehnilisi süsteeme. Kosmonaudid tegid läbi keeruka ettevalmistuse.

Ja lõpuks toimus see, mida maailm ootas Maa esimese tehiskaaslase väljasaatmise päevast alates — kosmilisse ruumi suundus inimene. Nõukogude Liidu kodanik Juri Gagarin sooritas 12. aprillil 1961. aastal inimkonna ajaloos esimese kosmoselennu. Tema järel läksid kosmosesse ka teised nõukogude ja ameerika kosmonaudid.

Järk-järgult kosmos asustatakse. Inimese jõudmine Kõuele ja teistele planeetidele ei ärata enam kelleski kahtlust. Kuid kas see on vajalik?

Võib-olla oleks lihtsam usaldada teiste taevakehade tundmaõppimine kompaktse ja vähenõudliku automaatse aparatuuri hoolde, mis juba mitu aastat edukalt uurib kosmilist ruumi.

Pole kahtlust, et ka edaspidi mängivad automaatjaamad erakordselt suurt osa kosmoses, Päikesel ja mitmesugustel planeetidel kulgevate füüsikaliste protsesside

uurimisel, planeetide looduslike tingimuste tundmaõppimisel. Nimelt just automaatse aparatuuri abil teostatavaid eksperimente pidasimegi silmas, kui eespool jutustasime suure teadusliku ja praktilise tähtsusega uurimiste perspektiividest.

Kuid uurimisi planeerides pole võimalik kõike ette näha, paratamatult kerkivad esile ootamatused, nagu näiteks Maa kiirgusvööndid ja «geokroon». Selliseid ootamatusi esineb palju ka teiste planeetide tundmaõppimisel. Me püüame ju tahtmatult leida seal nähtusi ja protsesse, mis on kõige tõenäolisemad meie maiselt vaatekohalt.

Automaatseadeldistel, mis avastasid kiirgusvööndid ja «geokrooni», ei olnud tarvis oma programmi muuta. Aparatuur, mis oli ette nähtud teisteks eesmärkideks, võis registreerida ka neid nähtusi. Aga mis oleks saanud siis, kui aparatuur poleks niisugustele nähtustele reageerinud? Nad oleksid lihtsalt jäänud avastamata.

Ja selles ongi automaatse aparatuuri suurim puudus: ta «näeb» ainult seda, mis talle ette on kirjutatud. Maa puhul me teame, et planeet koosneb lõputust hulgast mitmesugustest ühenditest ning et ükski automaat ei suuda praegu tunnetada kõike, mida ta oma teel kohtab, ja valida leidudest kõige huvitavamaid. Teame, kui sageli geoloogid ühtesid maapõuevarasid otsides avastavad täiesti juhuslikult teisi, kuigi nad töötavad läbiuuritud planeedi tingimustes, kus leidusid on palju kergem prognoosida.

Tähendab, usaldatavalt ja põhjalikult suudab teist planeeti uurida ainult inimene, kes võib eraldada huvitavad faktid ja nähtused ning eristada juhuslikku ja seaduspärast. Veelgi enam, inimene võib sealsamas, uurimise käigus, «tulemusi ümber töötada», mõtestada lahti avastusi ja juhtida edaspidiste tööde programmi kõige lootustandvamas, kõige huvitavamas ja perspektiivsemas suunas.

Kõik see kehtib veel suuremal määral uurimiste puhul, mis on inimesele vahetult lähedased, s. t. elu tundmaõppimisel teistel planeetidel. Võib-olla ka unistus teostada planeetidevahelisi lende tekkis just seoses lootusega leida maailmaruumi sügavuses hingelt lähedasi olendeid, avastada kõrgeltorganiseeritud elu.

Teaduse arenedes see lootus kadus. Praegu ei looda keegi enam kohata mõistusega elu Päikesesüsteemi piirides. See kohtumine on edasi lükatud ajani, millal ini-

mene suudab jõuda teiste planeetidesüsteemideni, kus valitsevad tingimused, milles võiks tekkida ja areneda elu.

Ei tule arvata, et ainult Päikesesüsteemis on elu. Kunagi loob inimkond kontakti ka teiste maailmade mõistusega olenditega. Maa elanikele oleks see väga kasulik, eriti siis, kui luuakse side arenguastmelt meist kõrgemal seisva tsivilisatsiooniga.

Kuid asi pole mitte ainult selles. Isegi Kuu ja naaberplaneetide uurimise võimalused töötavad maisele bioloogiale uusi perspektiive ja inimese kosmoselend saab põhiliseks vahendiks tähtsaimate probleemide lahendamisel.

Seega tagavad meditsiin ja bioloogia inimese lennu teistele planeetidele ning peavad selle tulemusena saama uusi andmeid, mis aitavad kindlaks teha elu tekkimise ja arengu üldisi seadusi. On täiesti loomulik, et neid seadusi kasutatakse otsekohe inimese tegevuse kõige mitmekesisematel aladel — arstiteaduses, põllumajanduses ja mistahes muul alal, kus tegeldakse elusorganismide ning elusa materiaga.

ELU NAABERPLANEETIDEL

Bioloogia ala, mis tegeleb väljaspool Maa piire esineva elu uurimisega, eraldus nüüd iseseisvaks teadusharuks — eksobioloogiaks. Teiste planeetide uurimise käigus on eksobioloogial elusaine osas seesama ülesanne mis füüsikal ja keemial eluta looduse suhtes: ta kogub usaldusväärseid andmeid teiste Päikesesüsteemi planeetide kohta ja võrdleb neid Maa vastavate andmetega.

Juba praegu, mil teiste taevakehade bioloogilist uurimist pole veel alustatudki, annab nende füüsikaliste tingimuste tundmaõppimine teatava aluse otsustamiseks, kas seal võiks eksisteerida elu. Seejuures kasutatakse sageli analoogiat.

Püütakse tõestada, et elu on võimalik ka tingimustes, kus puudub vesi ja hapnik. Sealjuures viidatakse asjaolule, et Maal on avastatud primitiivseid organisme, mis eksisteerivad ühe või teiseta, aga unustatakse, et ühed nimetatud organismidest kasutavad hapnikku vee saamiseks, teised aga, vastupidi, kasutavad vett või teisi aineid hapniku saamiseks. Tõenäoliselt võib analoogiat rakendada vaid siis, kui avastatakse organismid, mis eksisteerivad nii veeta kui ka hapnikuta.

Võib tuua teise näite. Atmosfääri rõhk Marsi pinna juures on palju madalam kui Maa pinna läheduses, aga temperatuur on ligikaudu selline nagu meie polaarpiirkondades. Maa kõige karmimates kliimatsioonides on avastatud mikroorganisme, mis seal «muretult» eksisteerivad. Kas see võib olla põhjenduseks väitele, et Marsil on olemas elu? Jah, kuid ainult sel juhul, kui tõestatakse, et need organismid mitte ainult ei eksisteeri, vaid ka tekkisid sealsetes tingimustes ega ole karmi kliimaga järk-järgult kohanenud organismide järglased. See kaalutus kehtib ka ilma veeta või hapnikuta eksisteerivate organismide kohta.

Niisuguseid analoogiaid ei saa pidada elu olemasolu tõestuseks. Kuid neist lahti öeldes ei tule ometi jääda pessimistiks elu tekkimise võimalikkuse suhtes teistel planeetidel. Esiteks tunneme me praegu, ja mitte alati küllalt hästi, ainult füüsikalisi tingimusi planeetide pinnal, aga biosfäär ei piirdu ju sellega. Võimalik, et planeetide sügavuses on eluks hoopis soodsamad tingimused kui pinnal. Teiseks polnud füüsikalised tingimused alati niisamasugused nagu praegu. Need võisid olla kas palju karmimad, elule hukatuslikud, või siis palju soodsamad.

Kuivõrd elu sõltub Päikesest, siis oletatakse, et peale Maa võib ta mingisugusel kujul eksisteerida ka Veenusel ja Marsil. Temperatuuri radiomeetrilised mõõtmised Veenusel vähendavad tunduvalt lootust, et nendes tingimustes, see tähendab temperatuuril mõnisada kraadi Celsiuse järgi, võis tekkida ja areneda elu. Tõsi, kaheldakse, kas see on planeedi pinna temperatuur. Seepärast tuleb elu eksisteerimise võimalikkuse uurimist Veenusel alustada temperatuuride jaotuse tundmaõppimisest tema atmosfääris ja pinnal. Ent isegi siis, kui selgub, et Veenuse pinnakihi temperatuur on väga kõrge, ei ole välistatud mõõdukamate, eluks enam sobiva temperatuuriga kihtide olemasolu.

Veenus võib osutada erakordselt sobivaks looduslike tingimuste ümberkujundamise objektiks. Juba praegu soovitatakse viia tema atmosfääri lihtsamaid üherakulisi vetikaid, mis võivad soodsates tingimustes väga kiiresti paljuneda, neelates atmosfääris süsihappegaasi. Võimalik, et süsihappegaasi olemasolu ongi osaliselt tingitud Veenuse kõrge temperatuur. See gaas ei lase läbi suurt osa infrapunasest kiirgusest, aga just selles piirkonnas peab

Veenuse kiirgus olema maksimaalne, nagu teistelgi planeetidel, mille temperatuur on alla tuhande kraadi.

Veenuse looduslikkude tingimuste muutmine, elu ümberkujundamine või isegi kultiveerimine seal, planeedi kohandamine tema asustamiseks inimese poolt — see on juba uus, praegu alles visandatav eksobioloogia ja füüsika piirkond. Looduse ümberkujundamine planetaarsetes maataapides annab muidugi suuri ja hinnatavaid kogemusi vastavateks ümberkujundusteks Maal, selleks et luua siin kõige soodsamaid elutingimusi. Planeedid võivad enesest kujutada mitte ainult uurimisobjekte, vaid ka gigantseid laboratooriume.

Marsi füüsikaliste tingimuste uurimine ja tema pinna lihtne vaatlemine vastasseisu ajal lubab teha optimistlikumaid järeldusi elu olemasolu kohta seal. Näiteks on teada, et suured tumedad laigud Marsi pinnal ei muuda oma piirjooni ega kao, vaatamata sellele et tema atmosfääris esinevad pahatihti tugevad tolmutormid. Kõige tõenäolisem on oletus, et tumedad laigud on suhteliselt kõrgete taimedega kaetud piirkonnad. Tuntud nõukogude astrobotaaniku G. A. Tihhovi tööd kinnitavad samuti, et Marsil võib esineda taimestik.

On ka teisi tõestusi. Marsi spektri infrapunases osas avastati ribad, mis kuuluvad süsivesikutele. Tõsi, võib ka väita, et need ribad kuuluvad anorgaanilise päritoluga süsiniku ühenditele, mida on endasse haaranud Marsi atmosfäär. Marsi atmosfääris esinevate tormide juures ei saa niisugust haaramist välistada. Maal assotsieeruvad süsiniku ühendid tavaliselt elusa loodusega, kuid see võib omakorda seletuda lihtsalt asjaoluga, et maine elu kasutab neid väga aktiivselt. Kui see kõik on nii, siis tuleb mõnda, et süsiniku ühendid luuakse eluta looduse poolt, aga mitte sünteesis elusa loodusega.

Vaatamata spektraalsete uurimiste tulemuste tõlgendamise võimaluste mitmekesisusele on elu olemasolu Marsil üsna tõenäoline. Väga sageli lisatakse väljendusele «elu Marsil» täiend «taimne», kuigi üldiselt pole tarvilik, et see elu mahuks nende kategooriate alla, mida tunneme oma kogemuste põhjal.

Elu avastamise mõttes pole lootusetuks objektiks ka meie lähim naaber — Kuu. Kuul puudub atmosfäär ning tema pind allub järskudele ööpäevastele temperatuurikõikumistele. See on argument elu olemasolu «vastu». Kuid

on olemas ka argument elu olemasolu «poolt». Kuu temperatuuri raadiosondeerimine näitab, et tema pinnakihtidel on halb soojusejuhtivus ja juba üsna veidi sügavamal on tingimused eluks palju soodsamad kui pinnal. Peale selle, vaadeldavad gaaside pursked Kuu sügavusest annavad põhjust oletada, et Kuu sisemuses kulgevad mingid füüsikalised protsessid, et tema sisemus pole surnud ja võib-olla on seal elu tekkimiseks vajalikud tingimused.

Suured planeedid — Jupiter ja Saturn — asuvad väljaspool Päikese ökosfääri. Nende uurimine on raskendatud, kuna nad asuvad Maast kaugel ja on suure tõmbejõuga, mille ületamine nõuab suuri kütusehulki kosmoselaeva pidurdamiseks maandumisel ja startimiseks tagasilennul. Päikeselt saadava soojuse vähesust võib kompenseerida planeedi seesmise soojusega, aga see sunnib juba läbi vaatama meie oletusi elu puudumisest sel planeedil. Pealegi on suurtel planeetidel kergete elementide kontsentratsioon suur, aga neist koosnebki orgaaniline aine. Avaldatakse arvamust, et seal on elu võimalik teistsugustel alustel kui Maal. Kui nendel planeetidel on vee asemel mingid teised madalama külmumistemperatuuriga ühendid, siis võib elu seal eksisteerida ka tunduvalt madalamal temperatuuril.

Eksobioloogia ei ole veel tegelikult asunud tundma õppima elu Päikesesüsteemis. Kuni viimase ajani oli ainus võimalus selleks Maa poolt haaratud kosmoserändurite — meteoriitide — uurimine. Ja peab ütleva, et isegi need uurimised pole kaugeltki nii lootusetud, nagu see võiks algul näida. Mõningate meteoriitide — nõndanimetatud mustade kondriitide — tekkimise tingimused ja koostis lubasid loota, et neis võib leiduda mikroorganismide või nende elutegevuse produktide jälgi.

Meteoriitides avastati orgaanilised ühendid esmakordselt rohkem kui sada aastat tagasi. Nende hulka kuuluvad kõrgmolekulaarsed süsivesinikud, mis sarnanevad osokeriidi (maavaha) süsivesinikkudega, aga ka orgaanilised ühendid, mis sisaldavad hapnikku. Avastati aineid, mis oma koostiselt meenutavad rakutuuma ainet, ning suletisi, mis sarnanevad vetikate eostega.

Viimane asjaolu viis pisut rutakatele järeldustele elu olemasolu kohta kosmilises ruumis, kuigi ei või veel täie kindlusega väita, et eoseid meenutavad moodustised leidsid meteoriidis eneses ega sattunud sinna tema «maise elu» jooksul või isegi meteoriidi uurimise ajal. Näiteid

meteoriidi saastumisest mikrobioloogiliste uurimiste protsessis leidub hulgaliselt, ja on üsna võimalik, et see juhtus ka siis, kui avastati «eosed».

Kuidas ka oleks, kuid orgaaniliste ainete olemasolu meteoriitides on huvitav teaduslik fakt, mis suurendab elusorganismide avastamise šansse Kuul ja teistel Päikese-süsteemi planeetidel.

Muidugi, hea oleks uurida meteorokehi nende «looduslikes tingimustes», kosmilises ruumis. Kui aga arvestada, et meteorokehi esineb harva ja et nad liiguvad kolossaalse kiirusega, mis kohtumisel teiste kehadega põhjustab «plahvatuse» — aine momentaalse aurumise, siis võib kujutleda, kui keeruline on niisuguse uurimisobjekti «püüdmine».

KAS ON VÕIMALIKUD TEISED ELUVORMID?

Paljud meist soovivad tutvuda mingi geograafilise rajooni eksootilise loodusega, kuigi uurijad on seda ammu põhjalikult tundma õppinud ja kirjeldanud. Kuivõrd huvitavam peaks aga olema täiesti uue, kõigest seninähtust erineva looduse uurimine! Juba üksi see võiks õigustada eksobioloogiliste uuringute teostamist. Ja ikkagi on nende peaülesanne mitte teiste maailmade elusorganismidega tutvumine ja kirjeldamine, vaid üldiste hüpoteeside püstitamine elu tekkimise ning universumis eksisteerivate eluvormide ühtsuse kohta.

Selles osas on bioloogia palju raskemas olukorras kui näiteks kaasaegne füüsika ja keemia. Kaugete tähtede kiirguse spektraalne analüüs võimaldas tundma õppida nende keemilist koostist. Seda tunneme praegu isegi paremini kui oma koduplaneedi sisemust. Astrofüüsika meetoditega õpitakse praegu edukalt tundma isegi kolossaalsetel kaugustel looduse suures töökojas kulgevate füüsikaliste protsesside kogu diapasooni.

Eksobioloogia kõige usaldusväärsemaks meetodiks loetakse uuritava objekti kättesaamist ja tema uurimist kohepeal. Siiani pole seda aga õnnestunud teha. Elu võimaliku esinemise kindlaksmääramine toimub ainult maise bioloogia kogemuste põhjal, mis muidugi raskendab eksobioloogia formeerumist üldiste seaduspärasustega opereerivaks teoreetiliseks teaduseks.

Kaasaegse bioloogia aluseks on Darwini teooria. Kuid see ei seleta elu tekkimist, ei kustuta piiri elusa ja eluta looduse vahel. Tundmatuks on jäänud võimalikkude eluvormide üldised karakteristikud, üldised biokeemilised mehhanismid. Teadmata on isegi, kas Maal eksisteerivad mehhanismid on ainult loendamatu hulga biokeemiliste mehhanismide erivormid, mis on kohanenud maiste tingimustega, või siis on maine elu nende ainsaks võimalikuks kujuks. Ja kas küsimus elu olemasolust teistel planeetidel ning teistes maailmades sõltub sellest, mil määral sealsed looduslikud tingimused sarnanevad looduslike tingimustega Maal. Elu Maal on esialgu ainus mõõdupuu, millega me saame läheneda teistele planeetidele.

Kõik maised taimed, loomad ja bakterid koosnevad mitmesugustest üksteisega sarnanevatest ainetest ning bakterite ekstrakte ja lihaskudesid pole selles mitmekesisuses kerge eristada.

Kõige huvitavamad on nukleiinhapped. Just neis säilivad loendamatu hulga elusorganismide pärilikud tunnused, mis seletuvad ainult vaevaltmärgatavate erinevustega nukleiinhapete struktuuris; nende põhistruktuur on ühine kõikide elusrakkude tuumadele.

Pärilike tunnuste mitmekesisus on tingitud sellest, et nukleiinhapete ahelad sisaldavad erakordselt suure arvu lülisid: bakterite — lihtsaimate vabalt elavate organismide — nukleiinhappeid on umbes viis miljonit. Isegi viirused, mis saavad paljuneda ainult teiste elusorganismide rakkudes ja on oma ehituselt kõige lähedasemad üksikutele geenidele, omavad nukleiinhapete põhiahelas umbes kakskümmend viis tuhat lüli.

Kui me ei uuriks elu teistel planeetidel, poleks võimalik lahendada küsimust sellest, kas nukleiinhapped on ainsad polümeerid, mis on suutelised kontrollima pärilikkust ja elusorganismide arengut. Maa praktikas pole teisi vorme leitud. Kõigile on hästi teada, et elusrakkude aluseks on valgud, keerukad polümeerid, mis koosnevad ligikaudu kahekümnest aminohapest. Neid leitakse kõikide maiste organismide valkainete hulgas. Veelgi enam, kõigil valkudel on ühesugune struktuur — nad on «vasakisomeerid». Need maise elu iseärasused vajavad samuti seletust, mida saab anda ainult teistsugustes, sõltumatutes tingimustes tekkinud ja arenenud eluvormide uurimine.

Oli aeg, mil arvati, et elu isetekkimine on tavaline, iga-

päevane nähtus. Louis Pasteur kummutas selle eksiarmuse, näidates, et toitekeskkonnad jäävad steriilseks, kui neid väliskeskkonnast täiesti isoleerida, s. t. vältida elusbakterite tungimist neisse. See avastus viis teise äärmusse — isetekkimise eitamisele üldse. Kuid maise elu olemasolu fakt ise kinnitab, et vähemalt üks kord tekkis elu Päikesesüsteemis iseenesest. Elu uurimine teistel taevakehadel näitab, kui sageli ning millistes tingimustes ja vormides toimub elu isetekkimine, kas see on erakordne või vältimatu ja laialt levinud etapp materia arengus.

Kaasaegne keemia on juba tõestanud, et orgaanilised ained, sealhulgas ka aminohapped, võivad tekkida anorgaanilistest ühenditest. Kuid need on ainult üksikud ained ja nende saamine laboratoorsetes tingimustes on küllalt keeruline. Selliste elava ja eluta looduse «piiril» kulgevate looduslike protsesside detailseks selgitamiseks on vajalikud eksobioloogilised ja astrofüüsikalised uurimised.

Looduses on ülekaalus kerged elemendid — süsinik, hapnik ja lämmastik, kui mitte arvestada kiiresti hajuvaid vesiniku ja heeliumi aatomeid. Seega pidid tähtedevahelise udu vabade aatomite kondenseerumise protsessis grupeeruma nende ainete positiivsed ioonid, mis koos prootonitega moodustasidki orgaaniliste molekulide formeerumiseks vajaliku lähtematerjali. Niisuguseks formeerumiseks on vaja energiat, kuid sellest puudust ei olnud, pigem vastupidi, eksisteeris energia ülejääk, mis tekkis atomaarsete gaaside ja vabade radikaalide vahelise reaktsiooni tulemusena. Molekulid, mis niisugustes keskkondades juhuslikult tekkisid, võisid olla justkui kondensatsioonituumadeks. Nii võis toimuda omapärane selektsioon, mis viis nende või teiste ainete eelistatud moodustumisele.

Maal pole leitud sedalaadi keemiliste protsesside jälgi. Mõningaid tõendeid nende olemasolu kohta võiks nähtavasti leida komeetide jäänustes, mis moodustavad ühe osa meteoraine sajast. Neid jälgi pole aga võimalik avastada pärast seda, kui komeetide jäänused on läbinud Maa atmosfääri. Seepärast peitub võib-olla arvukate saladuste hulgas, mida Kuu meie eest varjab, ka elusmaterie eelkäiva aine kujunemise saladus.

Nagu Kuul, nii leidub ka Merkuuril piirkondi, mis on kaitstud Päikese julma mõju eest ning kuhu seetõttu võis koguneda meteoraine. Kuul on nendeks kohtadeks praod

ja poolustelähedased alad. Merkuuril — kogu varjupoolne külg.³⁷

Tähtedevahelise aine läbimisel valgus polariseerub. Võimalik, et see ongi põhjuseks, mis sunnib loodust tegema valikut vasak- ja paremisomeeride vahel. Selline oletus toetab hüpoteesi, mille kohaselt elu lähteained tekivad tähtedevaheliste udukogude materia primaarse kondensatsiooni käigus.

Nii või teisiti, kuid see hüpotees tundub praegu nii võrd tõenäolisena, et esimeste juhuslikult tekkinud elusorganismide «toitumise» probleemi võib lugeda lahendatuks. Nende sünnimomendiks oli loodus varunud küllalt suured «toiduainete» tagavarad orgaaniliste ainete näol, et noored organismid ei tunneks nälga ning neid ei ähvardaks hukkumine. Peamiseks puuduvaks lüliks elusainete tekkimise loogilises ahelas on isepaljuneva polümeeri tekkimine niisuguses toitvas keskkonnas. Seda küsimust ei saa lahendada enne, kui saadakse usaldusväärne eksperimentaalne kinnitus.

Nukleiinhapped on oma struktuurilt keerulised. Nii täiuslikud konstruktsioonid võisid tekkida ainult kestva keemilise evolutsiooni tulemusena. Nende tekkimise juhuslik iseloom on ebatõenäoline. Seepärast kerkivad kahtlused, kas nukleiinhapped olid esimesteks pärilikkuse kandjateks juhuslikult tekkinud primitiivsetes eluvormides. Kuid mingeid teisi pärilikkuse kandjaid maise elu uurimise kogemused ei tunne.

Sõltumatult arenevate eluvormide võrdlev uurimine võiks aidata seda probleemi lahendada.

KAS ELU VÕIS KANDUDA UHELT PLANEEDILT TEISELE?

Praegu valitseb teaduses veendumus, et elu võib tekkida mistahes isoleeritud süsteemis, kui selleks on ainult olemas soodsad tingimused küllalt pika ajavahemiku kestel. Varem, kui elu isetekkimise võimalikkus näis vähem tõenäoline, püstitati nõndanimetatud panspermia hüpotees, mis eeldas elu ülekandumist ühelt taevakehelt teisele. Kui see oleks nii, siis ei kujutaks kosmiline ruum biolo-

³⁷ Et Merkuuri pöörlemisperiood ei ühti tema tiirlemisperioodiga, siis ei ole Merkuuril ka varjupoolset külge, mis oleks kaitsnud Päikese julma mõju eest. — R. P.

giliselt steriilset keskkonda. Orgaanilised ained, mis on leitud meteoriitides, justkui kinnitaksid sellise oletuse õigsust.

Kuid samal ajal tekitas elu ülekandumise hüpotees tõsiseid vastuväiteid. Kõigepealt ei olnud võimalik nimetada mingit küllalt tõepärast mehhanismi, mille abil oleks saanud seletada eoseid sisaldava aine väljakandumist planeetide gravitatsiooniväljast.

Maal ei tea me ühtki tõestust «elu ümberasustamise kohta taevasse», kui mitte arvestada piibli legende. Teistel planeetidel, kus elu võiks tekkida, on samuti tugevad gravitatsiooniväljad ja ükski «võim» peale «jumaliku ettenägelikkuse» ei saaks elu nende pinnalt kosmosesse ümber asustada. Vähe sellest, et see mehhanism printsiipsaalselt eksisteerib, ta peaks tegutsema regulaarselt, aga mitte harvade impulssidena, muidu on tõenäosus niisuguse ümberasustamise toimumiseks liiga väike. Planeetid on seega nagu «eraomanikud», kes armukadedalt kaitsevad kõike, mis on nende poolt loodud.

Teine põhjus, mis paneb kahtluse alla elusorganismide ülekandumise võimalikkuse, on Päikese kiirguse mõju. Lühilaineline (ultraviolet- ja röntgeni-) kiirgus, osakeste vood, mis mõjuvad kosmoses leiduvale materiale, hävitaksid igasuguse elu. Võib öelda, et ka Päike ei ole elusorganismide meelevaldse ümberasustamise pooldaja, kui nad ka planeetide «hooletuse» tõttu võiksid oma kodumaa hüljata.

Elu ülekandumise teooria ei võta elult formaalset õigust isetekkimiseks, kuid ta võib seda niivõrd «piirata», et raske on üldse nimetada tingimusi, milles elu võiks tekkida esmakordselt. Tõsi, võib arvata, et elu tekib igal selleks «sobival» planeedil, aga ülekandumine on eluvormide omalaadne «segunemine» kogu Päikesesüsteemis. Võib oletada, et tingimuste diapaseon, milles elu tekkimine on võimalik, on palju laiem, kui me oma maistest kogemustest juhindudes arvame.

Nii või teisiti, kuid küsimus elu ülekandumise võimalikkusest ühelt taevakehalt teisele ja üldse tema olemasolust kosmoses on tihedalt läbi põimunud eluvormide leviku probleemiga Päikesesüsteemis. Neid küsimusi saab täie kindlusega lahendada ainult siis, kui inimene õpib tundma elu, mis võib-olla eksisteerib Kuul, Marsil, Veenusel ja meteorkehades.

Kui elu ülekanndumise planeedilt planeedile on võimalik, siis kujutab Kuu erakordselt sobivat püünist maise päritoluga osakestele. Maiste eluvormide elusate eoste avastamine temal võimaldaks lahendada küsimust, kas on võimalik niisugune «elu ümberasustamine madalamal tasemel», s. t. kas elu ootas kosmoselaevade loomist, selleks et jõuda Kuule, või kasutas nimetatud eesmärgiks teist, juhuslikku transporti, mida talle võis pakkuda loodus.

Elusorganismide looduslik ümberasumine on väheusutav. Kuid veel vähem tõenäoline on «kunstlik panspermia» — tahtlik või mittetahtlik lihtsaimate elusorganismide ümberasustamine ühelt planeedilt teisele mõistusega olendite poolt. Niisugused «hüpoteesid» ilmuvad mõnikord ajakirjanduse veergudel. Neis on rohkem fantaasiat kui teadmisi, rohkem usku ja veendumust kui kainet analüüsi ja fakte. Muide, «faktidest» puudust ei tunta. «Faktide» kategooriasse lülitatakse nii piibli legendid, ürginimeste jooniste suvaline tõlgendus kui ka «leiud», mis kontrollimisel osutuvad mitteeksisteerivaks.

Teiste planeetide mõistusega olendite poolt Maa külastamise võimalikkuse hindamist mõjutab inimese eelarvamus, aga võib-olla ka sajandite kestel temasse sisendatud veendumus, et taevas eksisteerivad kõrgemad olendid, kes aeg-ajalt külastavad Maad. Igal juhul kaob oletustes Maa külastamisest teiste maailmade elanike poolt piir reaalsuse ja müstika vahel.

Alles hiljuti, 1958. aastal, võis ühest ajalehest lugeda taoliste planeetidevaheliste lendude pooldaja arvamust selle kohta, kui väga tähtis on tutvuda Kuu tagaküljega: võib-olla on seal «ime läbi säilinud atmosfäär, inimesed ja linnad».

... Nõukogude planeetidevaheline automaatjaam, mis fotografeeris Kuu tagakülge, tõestas veel kord, et imesid pole olemas.

Praegu on teada, et Päikesesüsteemi teistel planeetidel ei ole kõrgeltorganiseeritud elu. «Kosmiliste visiitide» pooldajad pöörasid oma pilgud kaugemate tähtede poole. Kui on tarvis, siis kasutavad nad oma eesmärkideks teisi galaktikaid või neljandat dimensiooni.

Asi ei seisa selles. Kõrgeltarenenud elu teistel planeetidesüsteemidel on võimalik. On võimalikud ka planeetidevahelised ja tähtedevahelised lennud. Kuid selleks et pidada elu tekkimise põhjuseks «kosmosevarjaagide»

külastusi meie planeedile, tuleb võrrelda elu isetekkimise tõenäosust nende külastuste tõenäosusega. Tähtede arv, mille ümbruskonnas võiks eksisteerida mõistusega elu, on suhteliselt väike, vähemalt selles galaktika osas, kus asub Päike. Ka ei tohi unustada, et tähtedevaheline lend on võimalik ainult teatud kõrgel arenguastmel, tunduvalt kõrgemal, kui see on praegu Maal.

Raske on uskuda, et sellist lendu alustatakse ilma kindla veendumuseta mõistusega elu olemasolus reisi sihtpunktis. Tehnika niisuguse arenguastme juures, kus tähtedevaheline lend on võimalik, ei ole selle kindlaks-tegemine nähtavasti eriti raske. Tähendab, alles praegu võivad teiste maailmade mõistusega olendid Päikesesüsteemist tulevaid raadiosignaale analüüsid veenduda, et nende reis Maale ei oleks asjatu. Kuid oodata võib neid võib-olla alles mitmete aastakümnete pärast. Nagu juba märgitud, on selliste lendude kõige tähtsamaks eesmärgiks nimelt elu tundmaõppimine, ja iga uuriija püüab tegutseda kindlalt, et mitte saabuda tühjale kohale.

Kõik see vähendab tunduvalt Maa külastamise tõenäosust teiste maailmade elanike poolt, kui neid mitte pidada tähtedevahelisteks hulkuriteks, kes mõttetult lendlevad ühelt tähelt teisele, lootes juhuslikule edule.

Ühe vestluse ajal teadlaste ja ajakirjanikega, kus arutati nimetatud küsimust, illustreeris akadeemik Artšimovitš Maa külastamise tõenäosust minevikus järgmise näitega. Kujutlege, et hommikul koputatakse teie uksele. Teie loomulikult oletate, et koputab kirjakandja, naaber või seltsimees, kes elab kusagil lähedal. Kahtlemata ei arva te aga, et tuli Inglise kuninganna. Kas viimasel oletusel on olemas tõenäosus? Jah, kuid see on niivõrd väike, et selline võimalus ei tule teile mõttessegi. Sama väike on tõenäosus Maa külastamiseks teiste maailmade elanike poolt.

Kosmilistest ränduritest ja kunstlikust panspermiast võiks ka üldse mitte rääkida. Neist oli mõtet teha juttu ainult seetõttu, et kui nad leiaksid aset, siis Kuu, mida praegu mainitakse kui mugavat vahejaama planeetidevahelisteks ja tähtedevahelisteks lendudeks, võis esineda samas osas ka nende oletatavate külastajate puhul. Niisuguse külastamise mistahes jälgede puudumine Kuul oleks argumendiks, mis räägib vastu hüpoteesile, et maad külastasid kunagi mõistusega olendid teistest maailmadest.

Samuti oleks see vastuargumendiks hüpoteesile kunstlikust panspermiast.

Muidugi võib rääkida ka niisuguse küllastamise järgest teistel planeetidel. Jälgede mitteleidmise korral võib alati väita, et aeg on need kustutanud. Kuna Kuul pole vett ega atmosfääri, on tema tunnistus sama usaldusväärne kui notari poolt tõestatud dokument.

BIOLOOGILISTE UURIMISTE TULEVIK

Lend teiste taevakehade juurde ja neil eksisteerivate eluvormide uurimine on eksobioloogilise uurimistöö lähim perspektiiv. Aga enne kui seda õnnestub ellu viia, tuleb kasutada ka neid kauguurimise meetodeid, mis on meie käsutuses juba praegu, kuigi teiste planeetide uurimine saab olla kõige täiuslikum vaid inimese enese poolt läbi viiduna.

Aerostaatidele ja Maa tehiskaaslastele paigutatud teleskoobid võivad palju jutustada planeetide keemiast ja järelkult ka nende bioloogiast. Samal viisil saadi tõendeid elu olemasolu kasuks Marsil. Kuid need faktid ei ole absoluutselt usaldusväärsed. Tuleb arvesse võtta, et sel teel ei saa uurida elusorganismide seesmisi bioloogilisi iseärasusi, isegi kui neid õnnestub avastada. Võimatu on ka uurida elu, mis peitub taevakeha pinna all. Teiste planeetide ümbruskonda saadetavad kosmoseraketid ja tehiskaaslased võivad aga anda vajalikku eelinformatsiooni planeetidele laskumiseks.

Automaatjaamadega, mis laskuvad taevakeha pinnale, võib uurida pinna keemilist koostist ning tõenäoliselt ka avastada keerukamates tingimustes eksisteerivaid mikroorganisme. Neid on kergem leida kui kõrgemalt organiseeritud elusolendeid.

Meie kogemused näitavad, et vaatamata elu erakordselt suurele levikule Maal puuduvad hiiglaslikkudel aladel tema nähtavad tunnused. Samal ajal võib aga praktiliselt igas veetilgas või tolmukübemekeses avastada mikroorganisme.

Kui uurimiseks saab võtta ainult pisikesi proove, just selliselt toimubki teiste planeetide looduse uurimine esimestel etappidel, siis annab mikrobioloogiline analüüs kõige täielikuma ettekujutuse elu olemasolust ühel või

teisel planeedil. Mikrobioloogilist proovi on ka lihtsam võtta, sest need elusolendid ei satu paanikasse ega põgene proovi võtva roboti eest ning nende elu on kosmoseaparatuuris palju kergem säilitada kui mingi täiuslikuma organismi elu. Mikrobioloogiliste uurimiste aparatuuri võib kergesti automatiseerida ja kohandada andmete telemeetriliseks ülekandmiseks Maale. Kui seejuures tagatakse usaldusväärne televisiooniside, siis võib mikrobioloogiliste uurimiste läbiviimisel küllalt efektiivse ja tundliku aparatuurina kasutada mikroskoopi.

Mikroorganismide biokeemilise tundmaõppimise kõige mugavamaks meetodiks on nähtavasti järgnev proovide uurimine Maal.

Eksobioloogilistel uurimistel on lihtsaimateks proovideks atmosfääri tolmu ja «pinnase» näidised. Muidugi ei tule neid koguda aparatuuri pehme maandumise koha vahetus läheduses, kuna mootorite reaktiivne juga muudab «pinnase» omadusi ja selles paigas võetud näidised ei iseloomusta planeedi loodust. Mõõtmelst suuremaid proove, mida saadakse spetsiaalsete puuride abil, võiks eelnevalt «rikastada» kõikide mineraalsete komponentide eemaldamise teel.

Uurimistel võib kasutada mitmesuguseid fermente ja fluorestseeruvaid värvaineid, mis võimaldavad avastada nukleiinhappeid ja proteiine. Kui mikroskoobi jaoks kasutada ultravioletset lisavalgustust ja valida kiirguste kõige sobivam diapason, milles nad järsult neelduksid nukleiinhapetes ja proteiinides, võib kergesti avastada mikroorganisme orgaanilise aine massis.

Alles pärast neid ettevalmistavaid etappe saab lõplikult kindlaks määrata eksobioloogiliste uurimiste edaspidise tee.

KAS KOHTUMINE TULEB SÖBRALIK?

Planeetidevahelised lennud loovad võimaluse maiste organismide kontrollimatuks kandumiseks teistele planeetidele ja «välisplaneediliste» sattumiseks Maale. Esimesel juhul riskime moonutada tegelikku elupilti teistel planeetidel ning võime teha ekslikke järeldusi universumis areneva elu terviklikkuse suhtes, kuna teisel juhul on risk veelgi suurem: me ei tea ju, kui võrd rahumeelne võib olla mitmesuguste eluvormide kohtumine.

Uute maade avastamise ja asustamise ajaloost teame, kui tunduvalt rikastas inimkonda avastatud tooraineallikate, toiduainete jne. kasutamine. Ja samal ajal tekitas kahe erineva eluvormi ettevaatamatu «tutvus» uusi haigusi, millega organismid polnud kohanenud, ja tavaliste bioloogiliste protsesside hävimist.

Kui maine elu kandub kontrollimatult planeedile, millel puudub elu või mis on asustatud selle vähem kohanenud vormidega, levib ta väga kiiresti üle kogu planeedi. Kui näiteks mikroorganismide paljunemise aeg on pool tundi ning tuul kannab nad laiali, siis asustavad organismid küllaldase toitekeskkonna olemasolu puhul Maa-suuruse planeedi juba mõne päeva või äärmisel juhul mõne nädala jooksul.

See tähendab, et juhul kui mitteküllaldaselt steriliseeritud rakett jõuab mingi planeedi pinnale ja ei anna Maale edasi ammendavaid bioloogilise uurimise andmeid, siis on iga hilisem eksobioloogiline eksperiment praktiliselt ebaõnnestumisele määratud.

«Aborigeensete» (siin kohapealsete) eluvormide täieliku läbiuurimiseni ja nende ning Maa-pealsete organismide vastastikuste suhete väljaselgitamiseni tuleb vältida maiste organismide kontrollimatut kandumist teistele planeetidele. Just sel põhjusel steriliseeriti hoolikalt nõukogude kosmoserakett, mis jõudis Kuule 1959. aasta septembris.

Peale selle ei suuda me praegu küllalt selgesti ette kujutada, mil määral võiks inimene kasutada teistel planeetidel eksisteerivaid bioloogilisi vorme oma praktilisteks vajadusteks, me ei tea täpselt, kui suured on teaduslikud ja praktilised «kaotused», mis on tingitud maiste organismide kandumisest teistele planeetidele. Võib siiski arvata, et kahju on väga suur ja seepärast tuleb eriti hoolikalt steriliseerida kosmoseaparaadid, mis saadetakse välja eesmärgiga jõuda teiste taevakehadeni.

Elusorganismide eosed säilivad hästi sügavas vaakuumis ja madalatel temperatuuridel, kuid hävivad temperatuuridel üle 160° C. Seega on kuumutamine üheks võimalikuks steriliseerimise viisiks. Peale selle võib steriliseerida mitmesuguste keemiliste gaasiliste ainetega, mis desinfitseerivad usaldusväärset neisse asetatud esemeid. Desinfitseerida võib ka väga suurte kiirgusannuste kasutamiseega.

Muidugi, desinfektsioon toimub ka komsosaparaatide maandumise ajal teistele taevakehadele — temperatuuri tõusu tõttu pörkel, kui maandumine on jäik, või kiirguse tõttu, kui selgub, et taevakeha pinnakihil on väga kõrge radioaktiivsus.

Kuid seda ei saa ette arvestada ja parem on eeldada halvimat, et olla kindlustatud maiste organismide kontrollimatu kandumise eest teistele planeetidele.

Eksobioloogiliste uurimiste esimestel etappidel tuleb arvestada just selle võimalusega. Kuid edaspidi tekib ka vastupidine oht — uurimata või väheuuritud mittemaiste organismide kontrollimatu toomine Maale. Eriti suur on see oht siis, kui planeetidevahelistele lendudele suundub inimene.

Muidugi, teistelt planeetidelt võetud proove saab palju täielikumalt ja paremini uurida maapealsetes laboratooriumides. Vajadus neid Maale tuua sisaldabki riski kanda siia võõraid eluvorme. See risk on olemas ka lihtsas kosmoselennus teistele planeetidele ja järgnevas Maale tagasipöördumise faktis. Kuna me ei tea, kuivõrd «rahumeelne» on mitmesuguste eluvormide «kohtumine», peame esialgu lähtuma kõige halvematest oletustest ning arvestama, et see võib eneses peita väga suurt ohtu ühele «kohtuvatest pooltest». Võib juhtuda, et kõik toimub hoopis vastupidi sellele, mida kirjeldas Wells oma fantastilises raamatus «Maailmade sõda».

Inimeste ja loomade organism on eneses välja töötanud vastupanu tuntud maiste haiguste tekitajatele, kuid ta võib osutada ettevalmistamatuks võitluses teiste planeetide mikroorganismidega.

Võimalik, et need kartused on liialdatud, kuid kirjeldatud ohtusid tuleb silmas pidada selle ajani, mil bioloogia on omandanud täieliku ja usaldusväärse ettekujutuse teiste planeetide elanike «iseloomust».

Raske on neutraliseerida juba inimorganismi tunginud mikroorganisme. Inimene võib tahtmatult muutuda tundmatu infektsiooni edasikandjaks. Seepärast on eriti suur väärtus neil eksobioloogilise uurimistöo esialgsetel tulemustel, mida saadakse automaatse aparatuuri abil. Väga tähtis on ka läbi mõelda kõik tehnilised abinõud selleks, et vältida inimese nakatumist planeetidevahelisel lennul.

Võib arvata, et vähemalt mõned planeedid on steriilsed, kuna neil puuduvad igasugused eluvormid. Isegi see

pakub eksobioloogiale teatud huvi. Kõigepealt on siis võimalik uurida aine keemilist evolutsiooni «eelbioloogilisel perioodil». Peale selle võib niisugune planeet osutada bioloogilise eksperimenteerimise mugavaks tööpõlluks nähtuste uurimisel, mis kulgevad keemia ja bioloogia «piiri-alal».

Eksobioloogial tuleb praegu tegelda probleemidega, mida alles hiljuti peeti fantastilisteks. See raskendab teatud määral kaine ning reaalse ettekujutuse loomist kõikidest tema arengu aspektidest.

KOHTUMINE VÕI INFORMATSIOONI VAHETAMINE?

Eksobioloogiale on erakordselt tähtsad kõrgeltorgani-seeritud elu otsingud universumis. Ülesanne lihtsustub teatud määral seepärast, et paljud arukad olendid võiksid enesest ise kõnelda.

Niisuguse uurimise kõige mugavamaks vormiks oleksid muidugi tähtedevahelised lennud. Kuid ei tule unustada ka neid informatsioonikanaleid, mis pole seotud niisuguste lendude sooritamisega. Selleks on kõigepealt raadioside. Isegi eluta loodus jutustab enesest inimesele raadiokiirguse keeles. Kõrgeltorgani-seeritud elul on selleks veel palju avaramad võimalused.

Teiste maailmade tundmaõppimise sellisel moodusel on ka mõningane eelis, võrreldes tähtedevaheliste lendudega. Kõigepealt võib informatsiooni saada tunduvalt kiiremini — raadiolained on alati kiiremad ükskõik missugusest tähtedevahelisest laevast.

Telegramm ja raadiogramm saavutavad oma eesmärgi palju kiiremini kui mistahes käskjalg või postipanderoll. Just seepärast võidavadki need sideviisid üha suuremat poolehoidu. Pole mingit alust oletada, et tulevikus hakkavad sündmused arenema vastupidises suunas. Muidugi pole raadio teel võimalik edasi toimetada eksperimentaalset näidist, kuid kontakti loomisel teiste arukate olenditega omab nähtavasti suurimat väärtust just teoreetiline informatsioon. Igal juhul on raske nimetada asja, mida oleks mugavam ise üles otsida ja endaga kaasa tuua, kui kuulata nende jutustust, kes tunnevad seda võrreldamatult paremini.

Teiseks «raadiokontakti» eeliseks «isiklikkude kohtumistega» võrreldes on asjaolu, et nad pole üldse seotud riskiga, kui mitte oletada, et teaduslike motiivide kõrval võiks selline side omada ka teisi eesmärke. Tähtedevaheline lend on alati seotud tundmatute ohtudega ning praegu kaheldakse tema teostatavuses.

Mistahes kontakt teiste mõistusega olenditega, olgu see siis lend või raadioside, peab lähtuma eeldusest, et inimene tutvub olenditega, kes oma arenguastmelt seisavad temast kõrgemal. Nagu pole olemas kahte kella, mis näitaksid absoluutselt üht ja sama aega, nii pole universumis kahte tsivilisatsiooni, mis oleksid ühel ja samal arengutasemel.

Me ei saa luua sidet nendega, kes ei tunne raadiot, ega saa pikki aastaid lennata kuhugi kaugemale, kindlasti teadmata, et leiame eest midagi huvitavat ja õpetlikku. Tähtedevaheline turism pole inimesele nähtavasti jõukohane veel hulk aega pärast nende lendude probleemi lahendamist tehnilisest küljest.

Kõige tõenäolisem on seepärast, et kui inimene esmakordselt ilmub «tähtedevahelisele areenile», kohtub ta seal olenditega, kes oma arengult seisavad temast kõrgemal, olenditega, kes juba ammu vallutasid tähti eraldava ruumi ja varem ei ilmunud Päikese ümbruskonda ainult sellepärast, et ei teadnud midagi kindlat seal eksisteerivast kõrgeltorganiseeritud elust ning ei omanud sellisteks reisideks õigustavat eesmärki.

Inimene õppis alles hiljuti kõnelema raadiokiirguse keeles. Võimalik, et neid raadiolaineid juba registreeritakse ja dešifreeritakse teiste mõistusega olendite poolt. Võimalik, et seal on juba otsustatud luua side Maaga. Nii või teisiti, kuid teadus peab praegu selliseid võimalusi arvestama, kui fantastilistena nad ka ei tunduks.

Moment, millal niisugune kontakt luuakse, on Maa tsivilisatsiooni uue, veelgi kiirema arengu alguseks.

Rakettide ja tehiskaaslaste rakendamist uurimistöös ning nende kasutamist praktilistel eesmärkidel on mõnikord üsna raske piiritleda. Võtame näiteks meteoroloogia.

Praegu on see peaaegu täielikult uurimistegevuse ala: töödeldakse meetodikat ja aparatuuri, määratletakse planeetaarsete atmosfääriprotsesside füüsikalisi seaduspärasusi. Kuid mõne aasta pärast asuvad tehiskaaslased meteoroloogilistes organisatsioonides «alalisele tööle».

Planetaarse ilmasteenistuse loomine vastab kõikide riikide huvidele. Seepärast on täiesti loomulik tema arendamine rahvusvahelisel alusel. Oleks imelik, kui iga riik looks oma ilmastikusatelliitide süsteemi. Palju loogilisem on kokku leppida nende ühiseks kasutamiseks.

Just seepärast ongi kosmilise ruumi uurimise ja kasutamise alal ainsate praegu tehiskaaslasi väljasaatvate maade, Nõukogude Liidu ning Ameerika Ühendriikide vahel 1962. aastal sõlmitud kokkuleppe üheks punktiks koostöö meteoroloogiliste uurimiste valdkonnas.³⁸

Ameerika Ühendriigid saatsid juba üles esimesed ilmastikusatelliidid. Tõsi, nende abil saadud tulemusi ei olnud ette nähtud kasutada lähteinformatsioonina ilma prognoosimisel. Veelgi enam, paljusid andmeid (näiteks neid, mis saadi tehiskaaslase «Vanguard 2» abil) polnud üldse võimalik tõlgendada.

Seeriasse «Tiros» kuuluvate ilmastikusatelliitide väljasaatmine võimaldas saada andmeid pilvisuse jaotuse iseloomust maakeral, välja selgitada pilvesüsteemide ehituse mõningaid iseärasusi ning mõnel juhul isegi ennustada

³⁸ Tehiskaaslasi väljasaatvate maade hulka on NSVL ja USA kõrvale astunud Prantsusmaa ja õige pea on seda loota ka Jaapanilt. Kavas on veel rea Euroopa maade, nende hulgas Inglismaa, Prantsusmaa ja Lääne-Saksamaa poolt tehiskaaslaste väljasaatmine ühendatud vahenditega. — R. P.

tõrme, kuid sellele vaatamata ei muutunud nad veel ilma-
ennustamise põhivahendiks.

Tõenäoliselt möödub veel mõni aasta, enne kui õnnestub luua ühtset ülemaailmset ilmastikusatelliitide süsteemi. Üldjoontes kirjeldati sellist süsteemi eespool. Võimalik, et tegelikkuses ta kujuneb välja teistsugusena, sest teadus ja tehnika ei seisa ju paigal.

Püüame teha kokkuvõtet kõige raamatus jutustatu kohta ja saadud teadmiste seisukohalt heita pilku homsesse päeva.

Paljudele teadusaladele ja inimese majanduslikule praktikale muutub üha vajalikumaks Päikese tegevuse pidev kontrollimine.

Selles osas tehakse juba praegu ja ka tulevikus palju ära Maa peal, kuid kosmilises ruumis töötavate astronoomiliste instrumentide lahusvõime tõus, vaatluste automatiseerimine, vaatlusjaamade arvu vähendamine jne. ennustab «kosmilisele päikeseteenistusele» suuri perspektiive.

Võib oletada, et arenev päikeseteenistus aja jooksul rahuldab nii meteoroloogide kui ka astronoomide huve. Kuid võib ka juhtuda, et nende «pretensioonid Päikesele» ei ühti ning tuleb luua mitmesuguseid pidevalt Päikest jälgivaid tehiskaaslasid ja nende süsteeme.

Rangelt öeldes on Päikese pidevat vaatlust tagavale tehiskaaslaste süsteemile esitatavad nõuded väiksemad kui nõuded ilmastikusatelliitide süsteemile. On tähtis, et registreeritavaid resultate ei moonutaks Maa atmosfääri mõju. Seepärast peavad niisuguste tehiskaaslaste orbiidid kulgema kõrgemal nendest atmosfäärikihtidest, mis enam või vähem oluliselt moonutavad Päikese elektromagnetiliste kiirguste voogu.

Tehiskaaslaste arvu määrab orbiitide iseloom, kuid neid pole nähtavasti tarvis üle kolme. Sest kui ühele ja samale orbiidile, sõltumata tema kaldest ekvaatoritasandi suhtes, saata kolm tehiskaaslast, mis on üksteise suhtes nihutatud saja kahekümne kraadi võrra, siis on alati ühel neist võimalik Päikest vaadelda. Muidugi, aja jooksul võib saabuda ka sellise süsteemi «ebakooskõla», orbiidi parameetrite väikeste lahkuminekute tulemusena võivad kasvada suhtelised kaugused tehiskaaslaste vahel, kuid põhimõtteliselt saab seda parandada väikeste korrektsioonmootorite abil.

Mida kõrgem on orbiit, seda lühemat aega viibib tehiskaaslane Päikese nähtavuse piirkonnast väljaspool ja seda enam on kindlustatud Päikese vaatlemise pidevus ainult kahest tehiskaaslasest koosneva süsteemiga. Need tehiskaaslased tiirlevad ühel ja samal, näiteks ekvatoriaalsel orbiidil.

Päikese pidevat vaatlust on põhimõtteliselt võimalik teostada ka üheainsa tehiskaaslasega, mis on viidud polaar-seele oriidile sellise arvestusega, et orbiidi tasand oleks risti Päikese suunaga. Sel juhul lihtsustub ka tehiskaaslase orientatsiooni küsimus. Kui selline tehiskaaslane panna pöörlema oma orbiidi tasandis, siis tuleks tema telg suunata Päikesele.

Maa aastasest tiirlemisest tingituna hakkab niisuguse tehiskaaslase orbiit järk-järgult muutma oma asendit Päikese suhtes ja kolme kuu pärast ühtib orbiidi tasand suunaga Päikesele. Aparatuur pole enam Päikesele suunatud.

Seda saab vältida, kui orbiidi tasandile anda ligikaudu seitsmekraadine kalle polaar-seele orbiidi tasandi suhtes. Siis hakkab orbiidi tasand Maa suhtes aeglaselt pöörlema kiirusega üks pööre aastas ja säilitab muutumatu asendi Päikese suhtes. Kuid seejuures muutub tehiskaaslase pöörlemistelje suund. Tekib vajadus viimase orientatsiooni spetsiaalselt korrigeerida.

Aja jooksul tuleb tehiskaaslaste abil pidevalt jälgida ka teisi geofüüsikalisi karakteristikuid või vaadelda mingisuguseid taevaobjekte. On üsna tõenäoline, et osutub vajalikuks pidevalt jälgida Maa magnetvälja. Üsna aktuaalne on ülemaailmne magnetkaardistamine. Nõukogude Liidu ja Ameerika Ühendriikide vahelises kosmose uurimise ja kasutamise koostöö kokkuleppes, millest oli juba varem juttu, nähakse ette ka sellise kaardistamise ühine läbiviimine tehiskaaslaste abil.

... Lühilainelise raadioside eest võlgname tänu ionosfäärile, mis tekkis kõrgatmosfääris Päikese lühilainelise kiirguse ioniseeriva toime tagajärjel. Just Päike loob «peegli», millelt peegelduvad lühikesed radiolained. See tähendab, et Päikese pidev vaatlemine on väga tähtis raadioside teaduslikuks ennustamiseks. Kuid see pole veel kõik. Raadioside huvid nõuavad tõenäoliselt ka pidevat ionosfääri olukorra kontrollimist.

Niisugust kontrolli teostatakse praegu ionosfääri

impulss-sondeerimisega maakeral mitmest punktist. Ühe või mitme tehiskaaslase abil võib analoogilise «sondeerimisega ülevalt poolt» operatiivselt kontrollida olukorda peamaksimumist kõrgemal.

Ionosfääriteenistuse süsteemi kuuluvate tehiskaaslaste orbiitidele esitatavad nõuded oleksid peaaegu samad, mis ilmastikusatelliitide puhulgi: orbiidid peavad olema küllalt kõrged ja kulgema üle pooluste, et ionosfääri vaatlus toimuks kogu planeedi kohal. Tehiskaaslaste arvu määrab vaatluste nõutav sagedus igas üksikus kohas.

Ionosfäär ei ole oma ehituselt ühtlane. Elektronide kontsentratsioon võib muutuda ajas ja ruumis. Vaatlused näitavad, et ionosfääris tekivad omapärased ebahütlused, «pilved», milles elektronide kontsentratsioon on tunduvalt kõrgem kui neid piiravates rajoonides. Kõik see mõjutab raadiosidet: mõnikord osutub võimalikuks kauge raadioside nii lühikestel lainetel, kus see tavaliselt on teostatav ainult otsese nähtavuse piirides. Näiteks on teada juhud, kus Moskva televisiooniprogramme võeti vastu Lääne-Euroopas...

...Meteoorid, mis joonistavad taevale eredaid triipe, «süttivad» mitte ainult öösel, vaid ka päeval, ja igat neist saadab pikk ioniseeritud jälg, kus on tunduvalt kõrgem elektronide kontsentratsioon kui ümbritsevas ionosfääris. Tähendab, nendelt võivad peegelduda lähemad raadiolained. Kuid selline «side meteoorijälgedel» kaob ju aja jooksul? Selgub, et need jäljed on küllalt püsivad ja eksisteerivad nii kaua, et saab edasi anda suure hulga informatsiooni, eriti kui seda «kokku suruda» ja anda üle suurema kiirusega kui tavalise side korral. Vastuvõtukohas võib «kokkusurutud informatsiooni» jälle «välja venitada» ülekande esialgse kiiruseni.

Niisuguseid ionosfääri tihendusi võib moodustada ka kunstlikult, määratud ajal, paisates näiteks kõrgatmosfääri raketidelt või tehiskaaslastelt kergesti ioniseeruvate leelismetallide aurused. Hiljem selline «pilv» kaob.

Peegeldava kihi loomine sisaldub ka ameerika projekti «West Ford» idees, mille kohaselt paisatakse suures kõrguses tehiskaaslastelt välja miljardeid peenikesi vasknõelakesi — magnetdipooli — eesmärgil luua lühilaineid peegeldav vöönd. Kuid häda seisab selles, et niisugune vöönd võib eksisteerida väga kaua ja, nagu oletatakse, mõjuda häirivalt radioastronoomilistele vaatlustele. Või-

malik, et ta kujutab enesest ka mõningat ohtu kosmoselendudele.³⁹

Võib aga tekkida küsimus: milleks on tingimata vaja luua selliseid ioniseeritud pilvi? Kas ei võiks raadiolaineid peegeldada tehiskaaslaste enestel metallkest? Kasutati ju sel eesmärgil Kuu ja isegi Veenuse pinda. Tehiskaaslaste raadiolokatsiooniline vaatlemine kinnitab samuti, et selline side väga lühikestel lainetel on võimalik.

Tõepoolest, side on olemas ja juba läbi teinud katseaja. Kuid tema puuduseks on asjaolu, et tehiskaaslase pinnalt peegeldunud signaal on väga nõrk, mistõttu läheb vaja võimsaid saatjaid ja ülitundlikke vastuvõtjaid. Seda saab vältida, kui paigutada tehiskaaslasele signaalide retranslaator, seade, mis võtab signaali vastu, võimendab selle ja saadab tagasi Maale, kusjuures ökonoomsuse mõttes võib see ülekanne olla suunatud. Vastuvõetud signaal antakse Maale mitte otsekohe, vaid mõne aja pärast, kui tehiskaaslane asub kusagil selle punkti lähedal, kus tema poolt vastuvõetud ülekannet on tarvis kuulata või üles kirjutada. Seega võib üheainsa tehiskaaslase abil, eeldades muidugi, et see liigub piki polaarset orbiiti, teostuda side Maa kahe suvalise punkti vahel.

Seda sidet nimetatakse «aktiivseks», erinevalt «passiivsest», kus kasutatakse raadiolainete lihtsat peegeldumist tehiskaaslase välispinnalt. Tõsi, see side ei ole kiire — signaali vastuvõtmisest tehiskaaslasel kuni tema retranslatsioonini möödub küllalt palju aega, olenevalt ülekandepunkti ja vastuvõtupunkti vahelisest kaugusest. Mida kõrgem on tehiskaaslase orbiit, seda väiksem on tema kiirus ning seda kestmam side. Küllalt kõrgete orbiitide puhul võib side toimuda ilma «informatsiooni kokkusurumiseta», normaalse ülekande- ja vastuvõtukiirusega. Kui tehiskaaslane on saadetud ekvatoriaalsele orbiidile umbes kolmekümne kuue tuhande kilomeetri kõrgusele, siis tiirleb ta Maa pöörlemise kiirusega ja asetseb praktiliselt ühe ja sama punkti kohal. Niisugusel juhul võib muidugi «informatsiooni kokkusurumine» olla tingitud ainult sidekanalite ülekoormatusest, vajadusest anda informatsiooni üle

³⁹ West-Ford'i projekti teostati mais 1963. 3650 km kõrgusele orbiidile paisati 35 kg vähem kui 2 cm pikkusi vasknõelu raadiolaineid peegeldava kihi loomiseks. Kuni juulini 1963 teostati nende kaudu edukalt raadiosidet, hiljem see kiht hajus. Üldiselt hinnatakse sellise kihi eluiga 3 aastale. — R. P.

võimalikult suuremal hulgal ja lühema ajavahemiku kestel.

Niisugune «statsioonarne orbiit» on kasulik veel seepärast, et seal asetsev tehiskaaslane on nähtav kogu poolkeral. Seega võib tema abil raadiosidet pidada terves nimetatud rajoonis. Aga kuidas on lugu Maa teiste rajoonidega? Selleks, et side oleks ülemaailmne, tuleb ilmselt samale orbiidile saata veel mõned tehiskaaslased, mis on geograafilise pikkuse poolest üksteise suhtes nihutatud.

Sellist sidesüsteemi nimetatakse sageli ülemaailmseks televisioonisüsteemiks. Muidugi ei piirdu ta üksnes televisiooniga. Niisuguse süsteemi abil võib teostuda mistahes raadioside vorm: möödub rida aastaid ja telefoniga saab helistada Maa mistahes nurgakesse, ükskõik millisele lennukile, laevale või rongile, mis asub väga kaugel teekonnal.

Praegu on raadiosideks, eriti kaugraadiosideks kasutatavate raadiolainete diapason erakordselt üle koormatud. Muidugi lubab raadioaparatuuri kvaliteedi tõstmine ja radiokiirguste kitsamate diapasonribade kasutamine saatejaamade poolt sidet pidada suuremal arvul raadiolainetel. Kuid see väljapääs ei ole sidevõimaluste järsuks laiendamiseks perspektiivne.

Perspektiivid avardusid alles siis, kui side eesmärkidel hakati kasutama Maa tehiskaaslasid. Kui praegu toimub raadioside umbes kahekümne megahertsilisel sagedusribal, siis tänu tehiskaaslastele saab selleks kasutada umbes sada korda laiemat sagedusriba.

Nimetatud eelis muutub veel olulisemaks, kui arvestada, et nendel sagedustel ei sõltu side ionosfääri olukorrast. Sidet «tehiskaaslaste abil» ei hirmuta ionosfääri häired, need «black-out'id»⁴⁰ ja raadiolainete anomaalne neeldumine ionosfääri polaarpiirkondades, mis on kaas-aegse raadioside tõeliseks nuhtluseks.

Raadiosidel tehiskaaslaste abil pole ainult põhimõttelised, vaid ka majanduslikud eelised. Ameerika telefoni- ja raadiokompaniide arvutused näitavad, et telefoniside loomine tehiskaaslaste kaudu on nähtavasti palju odavam, kui veealuste kaablite paigutamine ookeani põhja. Sidekanalite arv on aga suurem.

⁴⁰ black-out (inglise keeles) — segamine, ka kadumine (saksa keeles — Störung) — Tõlk.

Mõned niisugused tehiskaaslased on juba praktilise kontrolli läbi teinud. Muidugi on need alles esimesed katsed. Kahjuks pole nad vabad reklaami ja spekulatsiooni huvidest, kuna nende väljatöötamisega tegelesid erafirmad. Võib arvata, et sidesatelliitide süsteemide loomine oleks plaanipärasem ja efektiivsem, kui riigid teostaksid seda rahvusvahelise kokkuleppe alusel.

Nõukogude Liidu ja Ameerika Ühendriikide vahelises kokkuleppes, millest oli juttu eespool, nähakse ette ka koostöö side loomisel tehiskaaslaste abil.

...Rääkides tulevikust, lähtume tänapäeva tehnika eeltingimustest, kuid meie lootused on pigem liiga tagasihoidlikud kui ülepakutud: teaduse ja tehnika areng loob uusi võimalusi. Juba praegu võib eriti suurt tulevikku ennustada molekulaarsetele kvantgeneraatoritele.

Kaasaegsete raadioskeemide kõikides elementides, olgu see siis lamp või lihtne juhe, on suur hulk vabu elektrone. Liikudes kaootiliselt soojusliikumise protsessis, moodustavad nad keerukaid voolusüsteeme, neidsamu parasiitlikke «mürasid», mis sageli maskeerivad vastuvõetavat signaali.

Et elektronide soojusliikumist praktiliselt kustutada, tuleb väga tugevasti alandada raadioskeemide kõikide elementide temperatuuri. Nagu selgub, ei saa seda teha sel lihtsal põhjusel, et nii pooljuhid kui ka tavalised raadiolambid ei tööta madalatel temperatuuridel.

Tähendab, tuleb raadioside jaoks otsida uusi elemente, mis on vabad sellest puudusest. Ja raadiofüüsikud tulid — aatomite juurde. Tõepoolest, iga aatom kujutab enesest ju miniatuurset elektrilist süsteemi, milles negatiivsed elektronid tiirlevad positiivse tuuma ümber. Teatavatel tingimustel on selline süsteem suuteline kiirgama rangelt määratud pikkusega elektromagnetilisi laineid.

Kui aga panna suur hulk aatomeid samaaegselt elektromagnetilisi laineid genereerima, saab väga võimsa kiirgusimpulsi. Esimesed niisugused generaatorid, mida hakati nimetama molekulaarseteks, loodi aastatel 1954—1955 Nõukogude Liidus.

Hiljem nimetati mitmesugustel lainepikkustel töötavad kvantgeneraatorid maseriteks ja laseriteks.

Me juba rääkisime laserite eelistest atmosfääri optilisel sondeerimisel. Välismaises kirjanduses räägitakse palju

nende mitmekülgsest teaduslikust ja tehnilisest rakendamisest. Kuid see on juba teema omaette raamatu jaoks...

Molekulaargeneraatoritel on erakordselt kõrge võnkestabiilsus, mistõttu paljud jaamad võivad töötada lähedastel lainepikkustel, ilma et nad üksteist segaksid. Nii on võimalik järsult suurendada sidekanalite arvu.

Nende generaatorite teiseks väljapaistvaks omaduseks on võimalus saada nende abil väga lühikese lainepikkusega ülivõimas elektromagnetilise kiirguse impulss, mis on kontsentreeritud väga kitsas kiirtekimbuses. See tähendab, et suhteliselt väikeste energiakulude juures võib sidekaugus olla praktiliselt lõputu — ta ei haju ju ruumis. Kiirgusel kitsas kiirtekimbuses on veel üks eelis: saatja täpsel suunamisel vastuvõtjale ei kujuta see side praktiliselt mingit häiret teistele sideliinidele. Tähendab, väga suur arv kanaleid võib töötada isegi ühel ja samal lainepikkusel.

Kuid ka sellega ei ole kvantgeneraatorite kasutamise perspektiivid ammendatud. Nad võimaldavad laiendada raadiosideks kasutatavate elektromagnetiliste kiirguste diapasooni. On tehtud ettepanekuid nähtava valguse kasutamise osas; see on eriti tähtis, kuna valgus läbib atmosfääri ja võimaldab edaspidi pidada suunatud sidet kosmoseparaatidega vahetult Maa pinnalt.

Valguskiir, nagu ka ultralühilaineline kiir, levib sirgjooneliselt. See tähendab, et kvantgeneraatorid võivad tagada sidet ainult otsese nähtavuse tingimustes, kuid suur sagedus lubab selles kiirguste diapasoonis põhimõtteliselt üle anda väga rikkalikku informatsiooni.

Ei tohi unustada, et kvantgeneraatorite sideks kasutamise probleem pole kaugeltki veel lahendatud. Peale üldiste ideede ning printsiipaalselt võimalikkude perspektiivide pole esialgu veel midagi ära tehtud, niipalju kui selle üle võib otsustada ülemaailmse ajakirjanduse teadete põhjal. Veel ei ole õnnestunud panna neid generaatoreid tööle pidevas režiimis, ei ole õnnestunud õppida selles kiirguses kodeerima üleandmisele kuuluvat informatsiooni.

Välismaises ajakirjanduses avaldatakse oletusi tehiskaaslaste orbiitide muutmise võimalikkuse kohta: mõjudes kiirega tehiskaaslastele, võib neid valgusrõhuga juhtida teistele orbiitidele, mis oma parameetritelt esialgsest pisut erinevad. Arvatakse, et optilise generaatori kiirga võib energiat üle kanda kosmilistele kaugustele. Kos-

mosesse pole ju võimalik vedada kõrgepingeline, seepärast tuleb õppida energiat üle kandma kiire näol...

... Mere- ja õhutransport on alati seotud vajadusega täpselt teada oma asukohta. Eriti raske on meremeestel. Laeva asukoha määramine liikumise kiiruse ja kursi järgi — nõndanimetatud marsruudi arvutamine — pole küllalt täpne; kaldamajakate ja raadiomajakate järgi ei ole avamerel võimalik orienteeruda, astronoomilisi meetodeid ei saa aga kasutada, kui taevast katavad pilved.

Konstrueeriti aparaadid asukoha määramiseks kosmiliste allikate raadiokiirguse järgi, eriti Päikese raadiokiirguse järgi. Neid aparaate nimetatakse radiosekstantideks. Kuid seegi meetod ei ole täiuslik ja annab praktiliselt eba piisava täpsuse asukoha määramisel.

Selgub, et navigatsioonisüsteemi nimetatud puudusi saab vältida, kui raadiokiirguse allikas paigutada tehiskaaslastele. Teades antud ajamomendil tema asendit maapinna suhtes ja määrates selle samal ajamomendil ka laeva suhtes, on kerge kindlaks teha laeva koordinaate.

Põhimõtteliselt on võimalik luua niisugune tehiskaaslaste süsteem, mille abil saab küllalt täpselt ja praktiliselt mistahes ajal määrata maakera suvalise punkti asukohta. Muidugi, kui on olemas sidesatelliitide või mingite teiste tehiskaaslaste süsteem, siis võib seda kasutada ka navigatsiooni eesmärkidel.

Täpselt samuti võib kombineerida ka teisi tehiskaaslaste ülesandeid — kasutada näiteks sidepidamiseks ilmastikusatelliite. Viimane kombinatsioon on isegi hädavajalik, kui pidada silmas, et meteoroloogiline informatsioon peab levima üle kogu maakera ja seejuures erakordselt kiiresti.

... Et omada veel paremat kujutlust sellest, kui tähtis osa on raketidel ja tehiskaaslastel lähimas tulevikus, võib mainida näiteks võimsate raketide kasutamist transpordis.

Kaasaegsete lennukite kiirus ja lagi üha kasvab. Tõenäoliselt pole kaugel aeg, kus nende trassid läbivad kõrgatmosfääri ja lähema kosmilise ruumi piirkondi. Viimane on seda enam võimalik, et tuleviku lennukeid ootab atmosfääris täiesti tasuta energia — atmosfääri dissotsieerunud gaaside energia. Päike kulutas selle energia ära, aga inimene võib teda kasutada, nagu ta kasutab ka päikeseenergiat, mis on «konsoerveeritud» kivisöes või puidus. Tõsi, tehniliselt on nimetatud ülesanne väga keeruline, ja esi-

algu pole veel teada ühtki reaalselt moodust selle energia kasutamiseks lennukimootoris. Eksisteerib vaid ahvatlev idee.

Kuid teisest küljest võib transpordis kasutada mitte ainult aerodünaamilist, vaid ka ballistilist liikumist, seda enam, et ka need lennukid, mis hakkavad kurseerima kõrgatmosfääris, peavad tõenäoliselt teatud osa oma teekonnast sooritama piki ballistilisi trajektoore. Võimalik, et hakatakse kasutama mingisuguseid kombineeritud «rakettlennukeid». Võib aga ka selguda, et otstarbekam on kasutada «puhtal» kujul rakettsüsteeme.

Inimeste, veoste või posti kiireks transpordamiseks sobivad lõpuks nii orbitaalsed lennud kui ka lennud mööda ballistilisi trajektoore. Need võivad olla kasulikud kui ülikiire lennuki lend suurtele kaugustele.

Lennuki liikumisel kasvab õhutakistus võrdeliselt kiiruse ruuduga. Lennul suurtes kõrgustes, kus atmosfäär on hõredam, kompenseerivad osaliselt takistuse kasvu lennukite aerodünaamilise kuju täiustamine ja teised tehnilised abinõud. Kuid sellele vaatamata tuleb õhutakistuse ületamiseks kulutada väga palju kütust.

Võib väita, et raketi viimiseks sadade kilomeetrite kõrgusele ja temale kosmilise kiiruse andmiseks kulub ajaühikus mitu korda suurem kütuse hulk, kuna raketide puhul sisaldab mõiste «kütteaine» eneses nii kütust kui ka hapendajat. Kõik see on tõesti nii, kuid kütuse kulutamine toimub ainult mõne minuti jooksul, kuna ülejäänud tuhanded ning isegi miljonid kilomeetrid läbib rakett või satelliitlaev grammigi kütust kulutamata. Samal ajal vajab lennuk kütust kogu oma teekonna kestel, alates stardipunktist kuni sihtpunktini.

Kuidas mainitud ülesanne lahendatakse ning kui võrd otstarbekaks osutub lennukite, ballistiliste raketide või kombineeritud skeemide kasutamine, seda näitab tulevik. Praegu on tähtis teada, et raketid pole mitte ainult ainsaks planeetidevahelise ühenduse pidamise vahendiks, vaid ka võimalikuks ülikiireks liikumisvahendiks Maa piirides.

Maa «supleb» Päikesest kiirguva energia ookeanis, mille kasutamisest tehiskaaslaste ja atmosfääritaguste jaamad abil unistas juba Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski. Seda energiat juba kasutatakse, kuid ainult tehiskaaslaste ja planeetidevaheliste automaatjaamade «sees-

misteks vajadusteks». Kui aga lahendatakse energia suurtele kaugustele ülekandmise probleem, võib kosmos muududa energiabaasiks ka planeedi pinnal asuvatele inimestele.

Väga võimalik, et mistahes teaduslik suund, mida selles raamatus pole mainitud, kuna tal ei ole vahetut praktilist väärtust, võib homme osutada palju tähtsamaks kui ükskõik milline siin üksikasjalikult kirjeldatu. Veelgi enam, kahtlemata jäid jutustuse käigus «teenimatult unustusse» ka paljud kosmoseuurimise vajalikkusega seotud probleemid, mille praktiline väärtus ei tekita kahtlust juba praegu. Raske on kirjeldada kõiki kosmoseuurimise perspektiividega seotud küsimusi, kui seejuures veel püüda säilitada mingisugust esitamise järjekorda.

Tähtis on konstateerida fakti — kosmosesse väljumisega algab Maad uurivate teaduste tõeline õitseng.

Kosmilise ruumi peremeheks muutuva inimkonna ja kogu Maa tulevik on erakordselt helge ja õnnelik, kui unustada tõsiasi, et kosmosesse väljumist, nagu iga teistki teaduslik-tehnilist uuendust, võib otsekohe rakendada sõja teenistusse.

Kosmost ei läbi mitte ainult planeetidevaheliste ja orbiitallendude tee, seal võivad kulgeda ka võimsate termotuumalaengutega raketite trassid ja koos sellega purustused ning surm.

Kosmos pole mitte ainult mugav koht geofüüsikaliste uurimiste teostamiseks ja meteoroloogiliste tehiskaasjate süsteemide loomiseks. Ta on ka mugavaks spionaažipositsiooniks, võimaldades luuresatelliitide süsteemide loomist.

Kuu ei võimalda inimesele ainuüksi Maa saladuste paljastamist — tema vahendusel võib Maad ähvardada ka termotuumasõja tulekahju.

Tsiolkovski unistas linnade-tehiskaaslaste loomisest, kus võiks õnnelikult elada palju inimesi. Praegu leidub ka teistsuguseid «unistajaid», kes arvavad, et peale tuumaraketibaaside Kuul oleks väga mugav omada selliseid baase palju lähemal, näiteks tehiskaaslaste orbiitidel.

Varsti täitub ka Tsiolkovski unistus lendudest naaberplaneetidele. Kuid juba 1958. aastal, ammu enne inimese esimest lendu kosmosesse, kavandati eksperimendis «Argus» kontroll selle üle, kui võrd nõrgaks lüliks võib kosmilise relvastuse süsteemis osutada inimene ise...

Ajakirjandus teatab, et juba praegu praktiseeritakse Ameerika Ühendriikides laialdaselt «salajaste» tehiskaaslaste väljasaatmist. Nende eesmärgiks on luure teostamine jne.

Veel enne sidesatelliitide väljasaatmist arutati välismaises ajakirjanduses nende eelistatavat kasutamist just sõjaliseks sideks, salajase side pidamiseks ookeani taga asetsevate baasidega. Selgub, et navigatsioonilisi tehiskaaslasti on kõige mugavam kasutada aatomialveelaevade täpse asukoha kindlaksmääramisel, selleks et viimaste poolt väljalastavad raketid tabaksid täpsemalt märki. Isegi geodeetilise satelliidi «Anna» ülessaatmist ja tema abil saadud andmeid kavatseti algul hoida suures saladuses, kuigi oli ilmne, et kauguste täpsustamine mõnesaja meetri võrra ei etenda vesinikurelva kolossaalse tegevusraadiuse juures mingit osa.

Teaduslike ja sõjaliste huvide tihe läbipõimumine tekitab rahutust. Esimesed nõukogude kosmonaudid jutustasid sellest, kui ilus paistab kosmosest meie planeet. Inimeste kohus on mitte lubada, et meie planeeti põletaks termotuumasõja kohutav palang.

Seepärast on kosmosesse väljumise loogiliseks järeltuleks rahvusvahelise kosmoseõiguse loomine, mis on tingitud vajadusest rahumeelselt lahendada olemasolevaid rahvusvahelisi probleeme.

Kosmilise ruumi rahuotstarbelise kasutamise küsimust ei saa lahendada väljaspool üldise desarmeerimise probleemi. Loobumine võimsate raketite kasutamisest teiste riikide piiride lähedal asuvate sõjaliste baaside ja raketitega varustatud allveelaevade likvideerimiseta ei amenda küsimust.

Vaatamata oma ülekaalule raketitehnika alal, kutsub Nõukogude Liit «kosmoseajastu» algusest peale üles lõpetama relvastumise võidujooksu, likvideerima olemasolevaid sõjaväebaase ning mitte lubama kasutada kosmost sõjaeesmärkidel. Teatavat edu on juba saavutatud: on sõlmitud leping tuumakatsetuste keelamiseks atmosfääris ja kosmilises ruumis.

*

Läbirääkimiste kõrval desarmeerimise üle eksisteerib veel üks rahvusvaheliste suhete ala, mis võib üsna efektiivselt kaasa aidata kosmilise ruumi rahuotstarbeliseks

kasutamiseks. See on rahvusvaheline koostöö kosmose uurimises ja rahumeelses kasutamises.

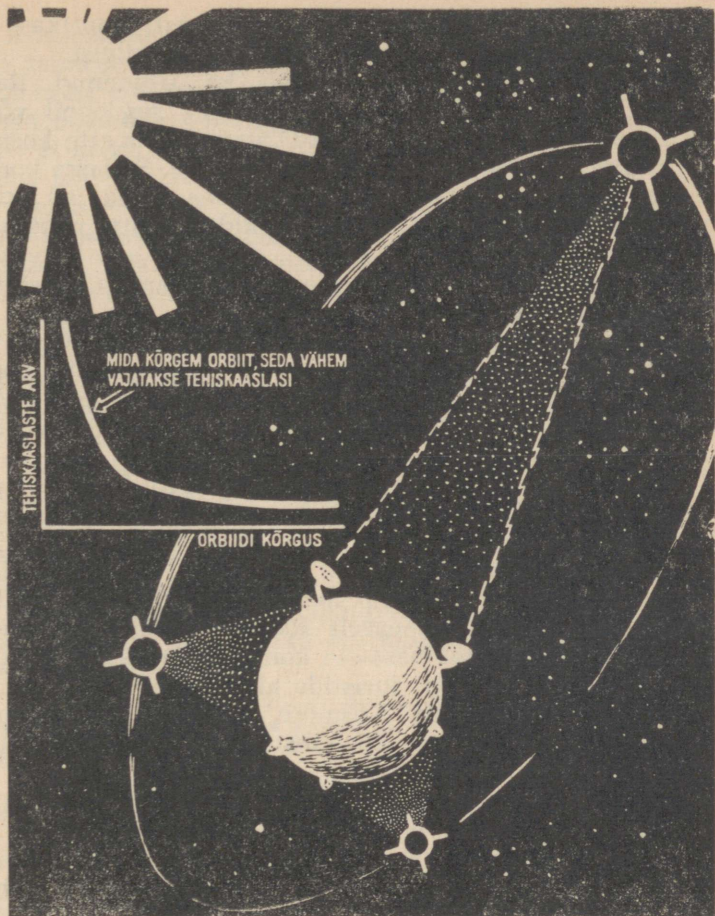
Võib pidada sümbolseks fakti, et esimesed tehiskaas- lased lasti välja Rahvusvahelise Geofüüsika Aasta (RGA), meie planeedi, teda ümbritseva ruumi ja Päikese uurimise grandioosse teadusliku ürituse programmi järgi, mille ellu- viijateks olid 67 maa teadlased. Algusest peale on kosmos mitte inimesi eraldanud, vaid ühendanud.

Lõppes Rahvusvaheline Geofüüsika Aasta, lõppesid ka Rahvusvaheline Geofüüsikaalase Koostöö Aasta (RGKA) ja Rahvusvaheline Rahuliku Päikese Aasta (RRPA). Kuid tehiskaaslaste väljasaatmised jätkuvad ja erinevate maade teadlased vahetavad endiselt informatsiooni oma uurimiste käigust, selleks et neist teha efektiivsemaid, väärtusliku- maid järeldusi ning et arukalt suunata edaspidiseid töid.

Rahvusvaheliseks teaduslikuks organisatsiooniks, mille raamides hakkas teostuma koostöö, sai COSPAR — Rah- vusvaheline Kosmilise Ruumi Uurimise Komitee. See loodi spetsiaalselt Rahvusvahelise Teaduslikkude Liitude Nõukogu Peaassamblee istungil 1958. aasta oktoobrikuu algul, veel ammu enne RGA—RGKA lõppu. COSPAR'i liikmeteks on kuueteistkümne riigi teaduste akadeemiad ja nendega samaväärsed organisatsioonid. Neiks riikideks on: Ameerika Ühendriigid, Austraalia, Belgia, Holland, Itaalia, Jaapan, Kanada, Lõuna-Aafrika Vabariik, Norra, Nõuko- gude Sotsialistlikkude Vabariikide Liit, Poola, Prantsus- maa, Saksa Föderatiivne Vabariik, Suurbritannia, Šveits, Tšehhoslovakkia.

Peale selle võtavad COSPAR'i tööst osa mõnede teiste rahvusvaheliste teaduslikkude liitude esindajad, kes min- gil määral on huvitatud kosmoseuurimiste läbiviimisest ja kes kuuluvad Rahvusvahelisse Teaduslikkude Liitude Nõukogusse. Nendeks liitudeks on Geodeesia ja Geofüü- sika Rahvusvaheline Liit, Rahvusvaheline Astronoomia Liit, Rahvusvaheline Teoreetilise ja Rakenduskeemia Liit, Rahvusvaheline Teoreetilise ja Rakendusfüüsika Liit, Rah- vusvaheline Bioloogiliste Teaduste Liit, Rahvusvaheline Teoreetilise ja Rakendusmehaanika Liit, Rahvusvaheline Füsioloogiliste Teaduste Liit, Rahvusvaheline Biokeemia Liit, Rahvusvaheline Raadioliit, Rahvusvaheline Matemaat- ica Liit ja mõned teised.

Kosmoseuurimiste koostöö küsimustega tegeleb veel 1950. aastal loodud Rahvusvaheline Astronautika Föderat-



Mida madalam on satelliidi orbiit, seda rohkem neid vajatakse pideva side pidamiseks Maa kahe mistahes jaama vahel, mis asetsevad teineteisest umbes 5000 kilomeetri kaugusel. Kui orbiidi kõrgus on umbes 1500 kilomeetrit, siis läheb tarvis 400 tehiskaaslast. Umbes 8000 kilomeetri kõrguse orbiidi puhul vajatakse 40 ning 36 000 kilomeetri puhul — 19 tehiskaaslast. Kui sidet peetakse aktiivsete tehiskaaslastega, mis on viidud statsioonarsetele orbiitidele (kõrgus 36 000 km), siis piisab 3 tehiskaaslasest.

sioon. Sellesse kuuluvad neljakümne astronautika- ja raketiühingu esindajad kolmekümne ühest riigist.

Kosmoseprobleemidega tegeleb ka Ühinenud Rahvaste Organisatsioon. Peaassamblee XIV sessioonil võeti vastu resolutsioon, mis näeb ÜRO struktuuris ette kosmilise ruumi rahumeelse kasutamise komitee. Sellesse komiteesse kuuluvad kahekümne nelja maa esindajad, kusjuures kaksteist nendest on lääneriikidest, seitse neutraalsetest maadest.

Nii pole ühelgi maal rõhuvat häälteenamust, mistõttu on koostööd praktiliselt kergem teostada.

Kosmilise ruumi kasutamise koostöö probleemidega tegelevad ka Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni spetsiaalsed asutused, sealhulgas UNESCO, Ülemaailmne Meteoroloogiline Organisatsioon ja Rahvusvaheline Elektiriside Liit.

Kosmosesse väljumine peegeldus ühel või teisel määral igal teadusalal ja inimese praktilises tegevuses. Esimestest päevadest alates kerkisid esile ka mitmesugused juriidilised probleemid, mis on seotud kosmilise ruumi õigusliku režiimiga. Juba toimus mitu spetsiaalset juriidilist kollokviumi, mis peeti samaaegselt Rahvusvahelise Astronautika Föderatsiooni iga-aastaste kongressidega. Selle organisatsiooni juurde loodi juristide alaline komitee — Kosmilise Õiguse Instituut. Kosmose uurimise ja asustamisega seotud õiguslike küsimustega tegeleb ka Rahvusvahelise Õiguse Assotsiatsioon.

Kosmosega seotud juriidilisteks probleemideks on näiteks kosmilise ruumi ja rahvusliku suveräänsuse piiride määramine; kosmoseuurimise ja eksploatatsiooni vabadus; vastutus kehaliste vigastuste ja selle materiaalse kahju eest, mida on tekitanud kosmilised aparaadid; kokkupõrgete vältimine ühest küljest kosmoselaevade endi ning teisest küljest kosmoselaevade ja lennukite vahel; raadiosageduste jaotamine sideks kosmoselaevadega; kosmoselaevade identifitseerimine ja registreerimine ning nende väljasaatmise koordineerimine; kosmoselaevade tagasi-pöördumine atmosfääri ja nende maandamine.

... Kosmosesse väljumine mõjutab lähimas tulevikus tugevasti inimese praktilise tegevuse kõige mitmekesisemaid külgi, lülitub meie ellu sama laialdaselt nagu raadio, elekter, auto, lennuk ning paljud teised teaduse ja tehnika saavutused.

Kosmoseuurimised pole eesmärgiks omaette, vaid alluvad inimese igapäevastele vajadustele. Nad on kulukad, kuid need kulutused tasuvad end sajakordselt. Seepärast ei saa nõustuda mõningate lääne teadlaste mõtteavaldustega, et kosmoseuurimised olevat liiga kallis lõbu ning et nende abil saadav efekt ei tasuvat end. See ei vasta tõele.

Lisaks eespool toodule peab märkima, et kasutute kulutuste vähendamiseks oleks inimkonnal hoopis mõistlikum pöörduda sõjaliste kulutuste poole: need on palju kordi suuremad assigneeringuist kosmoseuurimisele ega paku midagi peale relvastumise võidujooksu.

Raske on isegi kujutleda, kuivõrd kiireneks Maa ja kosmose tundmaõppimise protsess, kui selleks kasutataks kas või ainult osagi nendest vahenditest, mis lähevad sõjalisteks vajadusteks.

Mööduvad aastad. Inimene tungib üha kaugemale kosmilisse ruumi. Kas see tähendab, et saabub aeg, kus maised huvid kaotavad oma tähtsuse inimeste jaoks, kellele tuleb elada ja töötada teistel planeetidel ning kosmoselaevade kabiinides? Muidugi mitte. Teed koju ei unustata. Ja millise õitsengu ka ei saavutaks elu teistel planeetidel, Maa jääb ikka mõistusliku elu hingeks ja südameks Päikesesüsteemis.

Jutustus läheneb lõpule. Me vestsime sellest, kuivõrd meie tavalised, «maised» huvid sõltuvad üha avarduvatest kosmoseuurimistest.

«Maa algab kosmoses»... See tähendab, et kosmoseuurimiste areng mõjutab positiivselt mistahes teadusala ning rahvamajandust.

«Maiste» teadusalade ning tööstuse traditsiooniliste harude areng, sealhulgas ka nende oma, mis esimesel pilgul pole nagu üldse seotud kosmosega, avaldub vältimatult edaspidises veelgi kiiremas, veelgi efektiivsemas kosmoseuurimise tehnika arengus ja täiustumises.

Seepärast on meil õigus ka siis, kui ütleme, et «kosmos algab Maal»...

Kosmoseajastu üheksa aasta kestel on viidud orbiidile Maa ümber sadu tehiskaaslast. Paljud neist on juba ammu lõpetanud oma eksisteerimise. Rida kosmoserakette hülgas igaveseks Maa ümbruskonna.

Enamik väljasaadetud tehiskaaslastest kuulub ameeriklastele. Kuid nõukogude teadlastel on erilisi põhjusi oma saavutuste üle uhke olla. Tehnilised võimalused lubasid neil teostada paljusid uurimisi hoopis varem, kui seda tehti välismaal. Prioriteet on tähtsaim kriteerium teadusliku töö hindamisel, uurimissuuna valiku üle otsustamisel.

Peale selle oli nõukogude rakettide suure võimsuse tõttu võimalik eksperimente läbi viia ulatuslikuma kompleksse programmi järgi, mis on eriti tähtis omavahel kõrvutatavate füüsikaliste andmete saamiseks.

Ja lõpuks olid nõukogude kosmoseuurimised eranditult allutatud teaduse huvidele, aga mitte kosmilise ruumi sõjalise kasutamise eesmärkidele.

Nõukogude teaduse prioriteet seisneb juba üksnes esimese tehiskaaslase või, täpsemalt, esimeste tehiskaaslaste väljasaatmise faktis. See oli lahinguluure, mis määras edaspidise töö tingimused kosmoses.

Tehiskaaslaste väljasaatmine võimaldas nende liikumise pidurdumise vaatluste põhjal saada esimesi andmeid kõrgatmosfääri tiheduse kohta.

Ühest küljest oli vajalik tehiskaaslase liikumise täpsete vaatluste hästiorganiseeritud süsteemi olemasolu, kuid teisest küljest vajati materjalide operatiivse töötlemise võimalust ja täiuslikku meetodikat kõrgatmosfääri karakteristikute arvutamiseks orbiidi parameetrite muutumise järgi.

Nõukogude teadlased lahendasid edukalt kõik need ülesanded. M. L. Lidov, P. J. Eljasberg, V. L. Jastrebov ja G. A. Kolegov töötasid välja meetodid atmosfääri tiheduse määramiseks tehiskaaslaste pidurdumise põhjal.

Professor I. S. Šklovski tegi ettepaneku määrata kõrgatmosfääri tihedust tehiskomeetide abil. V. G. Kurt teostas arvutusi nende vaatluste põhjal.

Kolmanda tehiskaaslase abil mõõdeti rõhku ja tihedust mitmesugustel kõrgustel juba vahetult ionisatsioon- ja magnetelektrilahenduse manomeetritega. Tööd teostas uurijaterühm V. V. Mihnevitsi ja B. S. Danilini juhtimisel. Resultaatide töötlemiseks oli tarvis lahendada aparaatide näitude interpreteerimise ülesanne. See õnnestus J. G. Svidkovskil ja A. I. Repnevil. Esmakordselt määrati niisugustes tingimustes kõrgatmosfääri ionikoostis.

Mass-spektromeetrid, mis sarnanesid kolmandale tehiskaaslastele paigutatutega, viidi üles ka geofüüsikalistel raketidel.

Omavahel heas kooskõlas olevatest uutest andmetest tingituna tuli korrigeerida varasemaid ettekujutusi kõrgatmosfääri koostisest (töid teostasid V. G. Istomin, A. A. Pohhunkov ja A. D. Danilov). Andmed võimaldasid kindlaks teha mitmesuguste ionide suhtelise ja absoluutse jaotuse kõrguse järgi ning välja selgitada ionosfääri karakteristikute ööpäevaseid muutusi. Geofüüsikalise raketi ülessaatmisel 15. juunil 1960. aastal ja rea teiste raketite ülessaatmistel avastati 100—120 kilomeetri kõrgusel atmosfääris atomaarsete ja molekulaarsete gaaside ionide kõrval metallide — magneesiumi, raua, kaltsiumi — ja võimalik, et ka räni ioone. Nähtavasti on need meteorkehade purunemise produktid.

Atmosfääri neutraalse koostise uurimisel avastati 105—110 kilomeetri kõrgusel, s. t. ligikaudu samal kõrgusel kõrgatmosfääri omapärase dünaamilise piirkihiga, argooni ja molekulaarse lämmastiku difuusne eraldumine. Seal asendub madalamale atmosfäärile omane turbulentne segunemine difuusse, molekulaarse segunemisega. Sellest kõrgemal on atmosfäär difuusse ehk gravitatsioonilise eraldumise olukorras. Kuid sellise eraldumisega on tegemist ainult mõningate gaaside juures. Ilmselt sõltub teiste kõrgatmosfääri moodustavate gaaside jaotumine temas kulgevatest intensiivsetest keemilistest ja fotokeemilistest protsessidest ning kujutab enesest mitte staatilist, vaid dünaamilist tasakaaluolekut.

Kõikide nende uurimiste tulemusena tehti kindlaks, et umbes tuhande kilomeetrini on kõrgatmosfäär lämmastik-hapnikuline ja alles kõrgemal võib ta üle minna vesinik-heeliumiliseks.

Seda kinnitasid ka järgnevad uurimised esimeste kosmose-rakettide abil. Selgus, et Maa on piiratud ioniseeritud gaaside ulatusliku ja hõreda ümbrisega, geokrooniga, mis koosneb vesinikust ja ulatub umbes 20 000 kilomeetrini ning läheb seejärel järk-järgult üle planeetidevaheliseks keskkonnaks. Geokroon on Maa atmosfääri loomulik jätk.

Geofüüsikaliste raketite ja esimeste tehiskaaslastega uuriti ka ionosfääri. Saadi tähtsaid ja täiesti usaldusväärseid andmeid ionosfääri ehituse ning raadiolainete levimise iseloomu kohta.

K. I. Gringauzi juhtimisel uuris rühm teaduslikke töötajaid elektronide kontsentratsiooni, kusjuures aluseks oli raketi pardalt kiirguvate raadiolainete dispersiooni (hajumise) uurimine «dispersiooninterferomeetriga», mida omal ajal olid soovitanud akadeemikud L. I. Mandelštam ja N. D. Papaleksi.

Kasutati ka «Faraday efekti» — raadiolainete polarisatsioonitasandi pöördumist ionosfääri läbimisel.

Mainitud töö peamiseks eesmärgiks oli elektronide kontsentratsiooni uurimine kõrgemal peamaksimumist, mis asub umbes 300 kilomeetri kaugusel Maast. Ei leidnud kinnitust oletus mitme selgelt piiritletud ionosfäärikihi olemasolust, mis oli tehtud ionosfääri alumiste kihtide sondeerimisel raadioimpulssidega Maa pinnalt. Kolmandale tehiskaaslasele paigutatud ionopüünised registreerisid ja uurisid positiivsete ionide kontsentratsiooni 1000 kilomeetri kõrguseni.

Avastati, et Maa ionosfäär koosneb peamiselt elektronidest ja positiivsetest ionidest, kuna negatiivsete ionide hulk on väga väike.

Analoogilisi uurimisi teostas K. I. Gringauz ka Kuu, Veenuse

ja Marsi suunas väljasaadetud kosmoserakettidega. Need uurimised tegidki kindlaks geokrooni olemasolu.

Ionosfääri uurimise tähtsaks meetodiks sai esimesel tehiskaaslasel asuvatelt saatjatelt kiiratavate raadiolainete levimise iseloomu vaatlemine. Saatjate sagedused olid spetsiaalselt valitud nii, et nende poolt kiiratavad raadiolained ionosfääri läbimisel murduksid. Murdumise suuruse järgi võibki otsustada elektronide kontsentratsiooni üle raadiolaine teel. Rühm teadlasi eesotsas J. L. Alpertiga töötas välja elektronide kontsentratsiooni uurimise meetodi «raadiotõusu» ja «raadioloojangu» järgi.

Tehiskaaslastelt saabuvate raadiosignaalide levimise vaatlemisel registreeriti raadiolainete ülikauge levi juhte. See näitab, et nähtavasti eksisteerivad ionosfääris omapärased «lainejuhid».

Teisele tehiskaaslasele, aga hiljem ka kolmandale, paigutati kosmiliste kiirte uurimise aparatuur, mille konstrueeris rühm teadlasi NSVL TA korrespondentliikme S. N. Vernovi juhtimisel.

Teise tehiskaaslase aparaadid näitasid kiirguse intensiivistumist kõrguse suurenemisega. See võis olla tingitud Maa ekraneeriva toime vähenemisest (kõrgemal saavad osakesed aparati sattuda suuremast arvust suundadest) ja asjaolust, et tehiskaaslane tungis kiirgusvööndi piirkonda.

Kolmanda tehiskaaslase abil teostatud uurimised olid ulatuslikumad. Nad näitasid kiirguse intensiivsuse kasvu kõrguses ja laiuses. kui tehiskaaslane läbis välise kiirgusvööndi polaarseid harusid.

Planeetidevahelise ruumi osakeste voogude uurimise käigus avastas K. I. Gringauz kolmanda, kõige kaugema laetud osakeste vööndi 50—80 tuhande kilomeetri kaugusel Mäest. See koosneb suhteliselt väikese energiaga osakestest ja on väga muutlik ajas. Nimetatud vööndi olemasolu kinnitasid ka magnetomeetriselised mõõtmised, mida teostasid ameerika teadlased. Neil mõõtmistel avastati voolusüsteeme, mis nähtavasti kuiutavad triivvoolusid.

Kosmoserakettide väljasaatmisel Kuu ja Veenuse juurde avastas K. I. Gringauz esimesena ka Päikesest väljapaiskunud planeetidevahelised korpuskulaarvood.

Rühm teadlasi mõötis V. I. Krassovski juhendamisel pehme korpuskulaarkiirguse intensiivsust. Lõunapoolkeral, 1700—1900 kilomeetri kõrgusel, avastati esmakordselt võimsad elektronide vood. Tehiskaaslase orientatsiooni kindlaksmääramisega õnnestus teada saada ka umbes 10 kiloelektronvoldise energiaga elektronide kiiruste jaotust. Selgus, et registreeritud voo põhiosa asetseb Maa magnetpüünises. Avastati samuti, et sel ajal toimus küllalt tugev elektronide voo sissetung atmosfääri tihedamatesse kihtidesse 100—300 kilomeetri kõrgusel.

L. V. Kurnossova ja I. A. Savenko juhendamisel töötavad teadlased uurisid magnetvälja poolt haaratud osakesi ka satelliitlaevade abil. Nende orbiidid võimaldasid uurida kiirgusvööndite sisepiiride konfiguratsiooni. Saadud tulemused demonstreerisid näitlikult kiirguse intensiivsuse sarnasust põhja- ja lõunapoolkeral.

Osakeste voo üldise intensiivsuse tundmine välise vööndi harude kõikides geograafilistes laiustes andis võimaluse hinnata osakeste «äravoolu» kiirust välisvööndist, osakeste bilansi «kuludeartiklit», mis omakorda võimaldas teha teatavaid järeldusi ka osakeste

«tagavara» täiendamise mehhanismi kohta välises tsoonis ja selle tsooni tekkimise kohta. Avastati, et osakeste intensiivsuse kasv 280—300 kilomeetri kõrgusel Lõuna-Atlandi kohal on seotud selles rajoonis eksisteeriva magnetanomaaliaga, mis kutsubki esile välise vööndi «paine».

Tähtsaid andmeid said nõukogude teadlased, uurides raketite ja tehiskaaslaste abil primaarset kosmilist kiirgust. Uuriti Maa magnetvälja kõrvalekallutatavat mõju kosmiliste kiirte voole ja sellest tingitud intensiivsuse muutust sõltuvalt geomagnetilisest laiussest. Selgus ühtlasi, et magnetväli mõjutab kosmilisi kiiri umbes Maa ühe raadiuse kauguseni.

I. A. Savenko mõõtmised teise ja kolmanda kosmoselaeva abil määrasid suure täpsusega geomagnetilise ekvaatori asendi kosmilise kiirguse registreerimise põhjal. Varem ei olnud õnnestunud seda küllalt täpselt teha, vaatamata mitmete teadlaste arvukatele katsetele.

L. V. Kurnossova tegeles kosmiliste kiirte tuumakomponendi uurimisega ja tuli järeldusele, et liitiumi, berülliumi ja boori tuumade levik kosmilise kiirguse voos on suhteliselt suur. See annab põhjust oletada, et kosmilise kiirguse allikad asetsevad üsna kaugel.

Uusi ja printsipiaalselt tähtsaid materjale saadi kosmilise kiirguse uurimisel automaatsele planeetidevahelisele jaamale «Marss 1» paigutatud aparatuuriga. Selgus, et kosmiliste kiirte intensiivsus Maa ümbruses oli mõnekümne protsendi võrra kasvanud, võrreldes 1959. aastaga, mil seda mõõdeti esimeste kosmoserakettidega. Võib oletada, et see on tingitud kosmilise kiirguse voo modulatsiooni muutumisest, mille kutsus esile planeetidevahelise ruumi magnetväli ja Päikese aktiivsuse vähenemine.

Teiseks tähtsaks tulemuseks oli avastus, et kosmiliste kiirte voog kasvab kaugenemisega Maa orbiidist planeetidevahelisse ruumi. See seletub nähtavasti planeetidevahelise magnetvälja mõjuga.

Nõukogude teadlased uurisid N. V. Puškovi ja Š. Š. Dolginovi juhendamisel esmakordselt Maa magnetvälja nõukogude kolmanda tehiskaaslase ja esimeste kosmoserakettide abil. Magnetomeetri kasutamine kolmandal tehiskaaslasel võimaldas välja selgitada mõningaid Maa magnetvälja iseärasusi ja kindlaks määrata tehiskaaslase asendit suvalisel ajamomendil, mis oli väga suure täpsusega paljude teiste katsete tulemuste tõlgendamisel.

Magnetvälja uurimine võimaldas avastada elektrilisi voolusüsteeme elektronide kontsentratsiooni peamaksimumi piirkonnas ja välise tsooni maksimumi piirkonnas. Määrati kindlaks, kus Maa magnetväli läheb üle planeetidevahelise ruumi magnetväljaks.

Päikese lühilainekiirguse uurimised S. L. Mandelštami, A. I. Jefremovi ja V. K. Prokofjevi juhendamisel toimusid geofüüsikaliste raketite ja satelliitlaevade väljasaatmise käigus. Uuriti Päikese kiirguse lühilainespektri äärt ja määrati energiavood selle spektri mitmesugustes osades. Huvitavaid tulemusi, mis ilmekalt näitasid, et röntgenikiirguse allikaks on Päikese kroon, saadi geofüüsikalise raketi väljalennutamisel päikesevarjutuse ajal 15. veebruaril 1960. aastal.

Lühilainelist kiirgust registreeriti kromosfääri loite ajal, kusjuures selgus, et spektri äär nihkus veel rohkem lühikeste lainete

poole (kuni 1—2 Å), sealjuures lühemate kui 10 Å lainepikkuste piirkonnas kasvas kiirguse intensiivsus üksteist korda. Need andmed saadi A. I. Jefremovi juhendamisel konstrueeritud aparatuuri abil, mis paigutati teisele satelliitlaevale.

V. K. Prokofjev ja tema kaastöölised uurisid lühilainekiirgust spektraalselt. Nad said andmeid füüsikaliste protsesside kohta Päikese kromosfääris ja kromosfääri enese ehitusest.

Tähtsaid tulemusi said nõukogude teadlased Kuu uurimisel. Geofüüsikale pakuvad huvi andmed, mis tõendavad, et Kuul puuduvad märgatav magnetväli ja kiirgusvööndid, kuid on erakordselt hõre ioniseeritud «atmosfäär»⁴¹.

Nõukogude tehiskaaslastele ja kosmoselaevadele oli paigutatud T. N. Nazarova juhendamisel väljatöötatud aparaat meteoraine uurimiseks. Saadud andmeid interpreteerisid K. P. Stanjukovitš ja akadeemik M. A. Lavrentjev.

Tehti kindlaks, et Maa on ümbritsetud omapärase tolmukestaga, mis asetseb tema pinnast 100—300 kilomeetri kaugusel ning et meteoraine tihedus on erinev, sõltuvalt eri aegadel teostatud vaatlustest: 100—300 kilomeetri kõrgusel muutub see 10—15 korda, suurematel kõrgustel — mitu tuhat korda.

Kõik me teame, missuguseid tulemusi on saavutanud nõukogude teadus ja tehnika inimese kosmoselendude alal. Pole kahtlust, et tulevikus võivad ka vahetult inimese enda teostatavad uurimised etendada erakordselt suurt osa.

Loomulikult pole nõukogude teadlaste uurimistööde ülevaade antud täielikult. Märgime, et käesolevas raamatus ei peegeldu laialdased materjalid, mis on kogutud seeriasse «Kosmos» kuuluvate tehiskaaslaste abil. Kui ka neid arvestada, siis on nõukogude teadlaste panus maailma teadusesse veelgi suurem. Ka välismaal on kosmoseuurimisel saadud tähtsaid tulemusi — peamiselt ameerika teadlaste poolt. Kõigest sellest oli juba juttu.

*

Raske on ühes raamatus loetleda kõiki kosmilise ruumi uurimise tulemusi. Ja selleks polegi vajadust. Kui keegi tahab nendega üksikasjalisemalt tutvuda, võib ta seda teha spetsiaalse teadusliku kirjanduse kaudu.

Raamat ei pretendeeri esitamise täiuslikkusele ka sellepärast, et formiliselt arenevad kosmoseuurimised lisavad üha uusi ja uusi andmeid inimteadmiste varaaia.

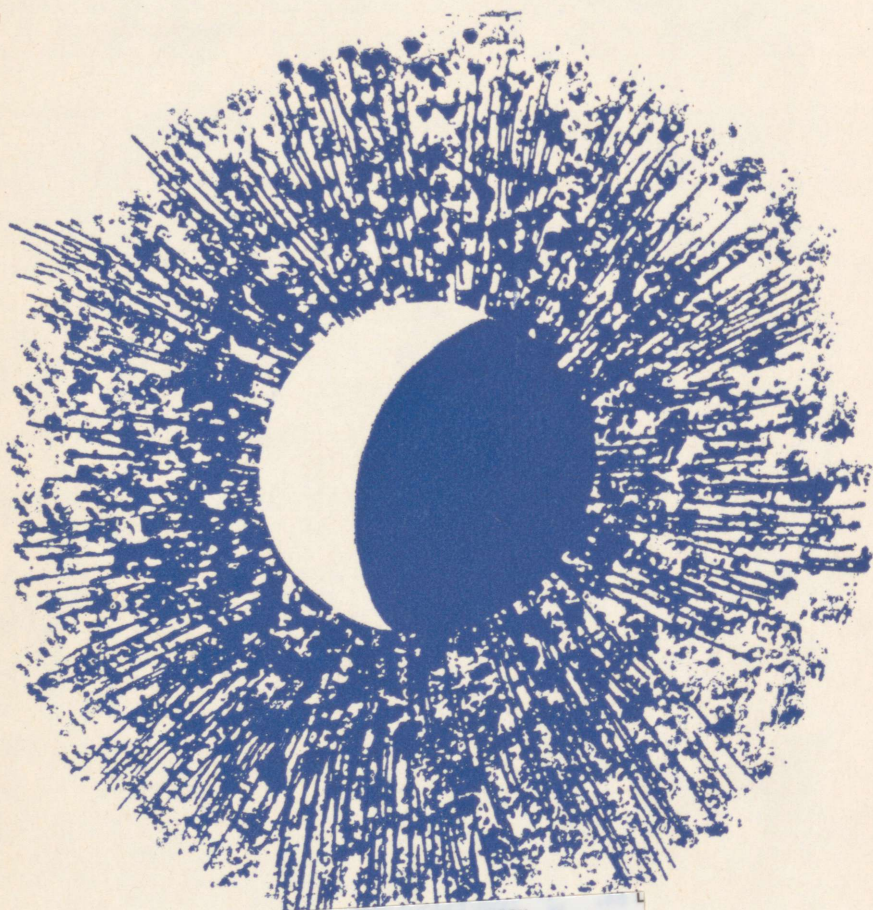
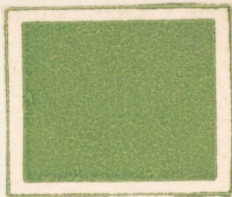
Ees on uued horisondid, uued ahvatlevad avastused...

⁴¹ Viimase olemasolu kohta saadi kinnitust ka Kuu esimese tehiskaaslase «Luna 10» abil teostatud mõõtmistest, kus registreeriti laetud osakeste kontsentratsiooni märgatavat kasvu Kuu-lähedasel orbiidil. — R. P.

Eessõna	5
Taevas planeedi kohal ei ole sinine	7
Suure maailma lävel — 7. Kui arutleda abstraktselt — 8.	
Planeedilt planeedile — 10. Parim maailm — 14. Maa vajab tehiskaaslasid — 15.	
Päike tuli lähemale	28
Elu ja energia allikas — 28. Mis on Päike? — 30. Raadio-kiirgused teatavad hädaohust — 37. Kas Päike mõjutab ilmastikku? — 39.	
Kosmilised kiired teavad palju	43
Saladuslikud külalised — 43. Sündmuste tahtmatud tunnistajad — 44. Kas on võimalik uurida päikeseplasma voogusid? — 47. Juhus tuleb appi — 48. «Tabamatud» osakesed — 56.	
Magnetvälja vangistuses	60
Osake on kinni püütud — 60. Vööndid planeedi ümber — 61. Kust saabuvad osakesed? — 66. Kiirgusvöönditest sõltub nii mõndagi — 70.	
Maa kõrgatmosfäär	74
Ohkkesta ehitus — 74. Kuidas uuriti ja kuidas võib uurida kõrgatmosfääri — 76. Uued andmed — 79. Kõrgatmosfäär on väga dünaamiline — 84. Planeedi ionkest — 86. Ionosfääri uurimist saab läbi viia ülaltpoolt — 91.	
Tehistähed vaatavad alla	96
Miks ilmaprognoosid ei ole alati õiged — 96. Tehiskaaslasel fotografeerivad pilvisust — 99. Universaalsed abilised — 100. «Kosmoseprojektor» — 104. Kuidas mõõta vihma? — 108. Missugused peavad olema orbiidid? — 109. Suured perspektiivid — 113.	
Tehiskaaslasel ja planeedi sisemus	116
Maa ei ole kera — 116. Tehiskaaslasel — maamõõtjad — 117. Planeedi täpse kuju määramine — 119. Geodeetilised satelliidid ja nende orbiidid — 121. Maa on ekvaatori suhtes ebasümmeetriline — 123. Planeedi sisemus — 126. Maa kui magnet — 128.	
Päikesesüsteemi «arhiiv»	132
«Rosette'i kivi» — 132. Tulemused ja oletused — 136. Mis meid kuul huvitab — 139. Kuidas uurida Kuud — 142. Süsteemi ajaloo teised fragmendid — 144. Koju kättemõõtmisega — 145. Planeedi saatuse — 148.	
Suur füüsikalaboratoorium	151
Materia sügavusse — 151. Mis on gravitatsioon? — 152. Einsteini gravitatsiooniteooria — 158. Küsimine endiselt: mis on gravitatsioon? — 163. Kuidas kontrollida relatiivsusteooriat — 165.	

Elult universumis elule maal	175
Ka bioloogia vajab kosmost — 175. Elu naaberplaneeti- del — 177. Kas on võimalikud teised eluvormid? — 181. Kas elu võis kanduda ühelt planeedilt teisele? — 184. Bioloogiliste uurimiste tulevik — 188. Kas kohtumine tuleb sõbralik? — 189. Kohtumine või informatsiooni vahetamine? — 192.	
Kosmost uuritakse ja kasutatakse	194
Esimeste avastuste ajaloost	210

Михаил Галактионович КРОШКИН. ЗЕМЛЯ НАЧИНАЕТСЯ В КОСМОСЕ. Оформление Ю. Пальм. На эстонском языке. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10. Toimetaja M. Kalman. Kunstiline toimetaja A. Säde. Tehniline toimetaja L. Maidla. Korrektorid A. Toomaspoeg ja H. Kessel. Laduda antud 9. VII 1966. Trükkida antud 7. II 1967. Paber 54×84/16. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Trükipoognaid 13,5. Ting-trükipoognaid 11,3. Arvestuspoognaid 12,21. Trükiarv 6000. Tellimise nr. 2072. Trükkikoda «Ühiselu», Tallinn, Pikk tänav 40/42. Hind 53 kop.



TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00411473 4

A

28434

69603

