

Eesti NSV

POLIITILISTE JA TEADUSALASTE TEADMISTE LEVITAMISE ÜHING

FÜÜSIKA-MATEMAATIKATEADUSTE
DOKTOR PROFESSOR

V. V. DOBRONRAVOV

KOSMILINE NAVIGATSIOON

Nr. 18 (226)

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS * TALLINN 1956

7-17572
EESTI NSV POLIITILISTE JA TEADUSALASTE
TEADMISTE LEVITAMISE ÜHINGU VÄLJAANNE

NSV Liidu V. P. Tškalovi nimelise Keskaeroklubi astronautika
sektsooni teaduslik juhataja, füüsika-matemaatikateaduste doktor
professor

V. V. DOBRONRAVOV

KOSMILINE NAVIGATSIOON



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS • TALLINN 1956

Originaali tiitel:

В. В. Добронравов
Космическая навигация

Издательство «Знание»
Москва 1956 г.

Tõlkinud Ch. Willmann

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

SISSEJUHATUS

Iga aastaga kasvab kogu maailmas huvi planeetidevahelisse ühendusse puutuvate küsimuste vastu. Eriti suur on see huvi aga meie maal, kus elasid ja töötasid astronautika¹ ideede rajajad.

Niisuguse lennuaparaadi loomise võimalikkusele, mis võiks liikuda kosmilises ruumis, juhtis esimesena tähelepanu 1881. aastal N. I. Kibaltšitš.

Astronautika teoreetiliste aluste väljatöötamiseks andis suure panuse tuntud õpetlane K. E. Tsiolkovski. Tema uurimused sel alal on püsinud aktuaalsetena tänapäevani.

Seoses raketitüüpi lendavate aparaatide liikumise teooria väljaarendamisega tekkis uus tähtis teoreetiline mehaanika haru — muutliku massiga keha mehaanika.

Selle haru teaduslikud alused rajas vene õpetlane I. V. Meštšerski.

K. E. Tsiolkovski ideede praktilise edasiarendamisega tegelesid F. A. Tsander ja V. V. Kondratjuk.

Rea kaasaegsete tehnikaharude tormiline areng, mis sai alguse neljakümnendail aastail ja on seitsaadik vahetpidamata suurenenud, näitab, et inimkond ei olegi enam väga kaugel teistesse maailmadesse rändamise võimalusest.

Ebatavaline edu ja avastused füüsikas (aatomenergia), raadiotehnikas ja raketitehnikas aitavad sellele tublisti kaasa. Palju uut astronautika heaks töötavad ka keemia, materjali tundmine ja teised teadusharud.

Seoses eespoolöelduga on astronautika poolehoidjate arv hakanud järsult kasvama. Paljudes maades on loodud planeetidevahelise lennu küsimustega tegelevad ühingud.

Astronautika alal on läbi viidud kuus rahvusvahelist kongressi. Kui esimesel kongressil oli esindajaid ainult kuuelt maalt, siis kuuendast kongressist, mis toimus 1955.

¹ Astronautika — teadus, mis tegeleb lendudega kosmilises ruumis.

aasta augustis, võttis osa juba kaheksateist riiki, nende hulgas ka NSV Liit. On loodud Rahvusvaheline Astronautika Föderatsioon, mis annab välja ajakirja „Acta astronautica“. Astronautide ridadesse astub üha rohkem ja rohkem teadlasi väga mitmesuguste teaduste alalt.

Nõukogude teadlased töötavad astronautikaküsimuste uurimise alal suure põhjalikkusega.

NSV Liidu Teaduste Akadeemia juurde on loodud K. E. Tsiolkovski nimeline preemia ja medal astronautikalaaste parimate tööde jaoks.

NSV Liidu esindaja, NSV Liidu Teaduste Akadeemia juures asuva planeetidevahelise ühenduse koordineerimise komisjoni juhataja, M. V. Lomonosovi nimelise MRÜ professor L. I. Sedov, teatas kuuendal rahvusvahelisel astronautide kongressil Kopenhaagenis ajakirjanduse esindajale, et lähema poolteise-kahe aasta jooksul on Maale kunstliku kaaslane loomine täiesti võimalik.

Ameerika Ühendriikide valitsus teatas, et 1956.—1957. aastal luuakse Maa kunstlik kaaslane, mis kujutab endast Maa atmosfääri ülakihtide teaduslikuks uurimiseks vajalike aparaatidega varustatud väikesemõõdulist ballooni.

Juba kaks aastat töötab NSV Liidus ühiskondlik-teaduslik organisatsioon — V. P. Tškalovi nimelise NSV Liidu Keskaeroklubi juures asuv astronautikasektsioon. Selle aja jooksul on sektsioon teinud tõhusat tööd astronautika teaduslikuks populariseerimiseks. Reas kõrgemates õppeasutustes töötavad astronautikaringid. Nii meil kui ka välismaal tegelevad paljud eriteadlased Maa kunstliku kaaslane, planeetidevaheliste jaamade ja marsruutide projektide loomisega.

Planeetidevaheliste lendude teostamist võib saavutada ainult kõige mitmekesisemate teadusalade teadlaste ühise sõbraliku jõupingutusega. Üksikud eriti rasked probleemid, mis seisavad planeetidevahelise lennu organisaatorite ees, kuuluvad kõige erinevatesse tehnika-aladesse ja on vahetult seotud niisuguste teadustega, nagu mehaanika, füüsika, keemia, raadiofüüsika, aatomifüüsika jne.

Suurt abi kosmiliste lendude probleemide lahendamisele osutavad niisugused teaduse ja tehnika harud, nagu näiteks radioastronoomia, raadiotelejuhtimine jt.

Kaasaegsete kiirelttöötavate arvutus-analüütiliste seadiste kasutuselevõtmine kergendab tunduvalt rea ülesannete lahendamist.

Niisama tõsised ja tähtsad ülesanded on niisuguste loodusteaduste ees, nagu bioloogia ja meditsiin. Neil aladel tegutsevad teadlased peavad looma kosmoses reisijate jaoks elutingimused nii teekonnal kui ka teistel taevakehadel viibimise ajal, kuna sealsed looduslikud tingimused erinevad ju tunduvalt maapealsetest elutingimustest.

Eriti tihedalt on astronautika seotud ühe vanima teadusega — astronoomiaga.

Astronautika tekkimisega laieneb mõõtmatult astronoomia praktiline rakendamine. Tõepoolest, astronautid peavad kosmilisi reise teostades hästi tundma oma teekonna rajoone, s. t. omama täpset kujutlust päikesesüsteemi konfiguratsioonist ja tähistaevast ükskõik millisel aastaajal, nad peavad oskama veatult kindlaks määrata oma asukoha maailmaruumis ja muuta sellele vastavalt marsruuti. Samuti peavad neil olema üksikasjalised päikesesüsteemi kaardid, milledele oleksid kantud planeetide teed, sealhulgas ka väikeplaneetide omad, põhiliste meteorivoolude skeemid, meie Galaktika täpsed kaardid jne.

Astronoomia on astronautidele niisama vajalik kui geograafia meresõitjatele, lendureile ja ränduritele. Nii nagu kaugesõidukapten peab hästi tundma ookeanide ja nende randade geograafiat, nii ka astronautid peavad tundma kosmose geograafiat, s. t. astronoomiat.

Seejuures kasvab mõõtmatult praeguse aja astronoomia ühe kõige abstraktsema haru — taevamehaanika — osa-tähtsus, milles võime veenduda allpool.

Vaatleme, missugused võiksid olla esimesed sammud kosmiliste lendude elluviimiseks, millised oleksid kosmiliste lendude eesmärgid lähemas tulevikus, missuguse järgnevusega ja milliseid marsruute pidi toimuvad planeetidevahelised lennud, millest olenevad nende marsruutide omadused ja aeg ning milliseid peamisi raskusi on vaja kosmiliste lendude teostamiseks ületada.

PÄIKESESÜSTEEM

Meie Maa kuulub päikesesüsteemi koosseisu. Päikesesüsteem kujutab endast taevakehade kogumit. Kõik need taevakehad on ühise päritoluga, mõjutavad üksteist vastastikku ja on teatud kindlas liikumises. Päikesesüsteemi keskseks kehaks on Päike. Ta on oma mõõtmelt päikesesüs-

teemi planeetidest palju suurem. Planeetid asuvad Päikesest kindlatel kaugustel ja tiirlevad tema ümber. Planeetide liikumine ümber Päikese toimub mööda ellipseid, s. t. rohkem või vähem väljavenitatud ringjoone kujulisi teid pidi. Suuremal osal planeetidel kujutavad nende liikumisteede ellipseid üsna vähe väljavenitatud ringjooni või — nagu räägitakse geomeetrias — väikese ekstsentrilisusega ellipseid. Ajad, mille jooksul planeetid tiirlevad oma orbiite mööda ümber Päikese, on erinevad. Aega, mille jooksul Maa teeb ühe täistiiru ümber Päikese, loetakse võrdseks ühe aastaga.

Tabelis 1 on antud mõningad andmed päikesesüsteemi kuuluvate planeetide kohta.

Peale tiirlemise ümber Päikese pöörleb iga planeet veel oma telje ümber. Maa täispööre ümber oma telje on võrdne ühe ööpäevaga. Teiste planeetide pöörlemisperioode väljendatakse väga erinevate arvudega, näiteks võrdub Merkuuri pöörlemisperiood ümber oma telje tema tiirlemisperioodiga ümber Päikese.

Tabel 1

Planeetide nimetused	Kaugus Päikesest (miljonites kilomeetrites)	Suhteline kaugus, võrreldes Maa kaugusega, mis on võetud võrdseks ühega	Tiirlemisperioodid ümber Päikese (aastates)
Merkuur	58	0,387	0,241
Veenus	108	0,723	0,615
Maa	150	1,00	1,00
Marss	228	1,524	1,881
Jupiter	778	5,203	11,862
Satürn	1426	9,538	29,457
Uuran	2868	19,191	84,013
Neptuun	4494	30,071	164,783
Pluuto	6000	39,6	248

Paljudel planeetidel on olemas kaaslased. Need tiirlevad ümber planeetide, samuti mööda ellipsikujulisi orbiite, pöörlevad ümber oma telje ja liiguvad koos planeetidega ümber Päikese. Maal on üks kaaslane — Kuu. Marsil on kaks kaaslast — Fobos ja Deimos, Jupiteril kaksteist ja Neptuunil kaks kaaslast, kusjuures üks neist on massi poolest võrdne Merkuuriga. Peale eespoolnimetatud üheksa nn. suurplaneedi kuulub päikesesüsteemi veel üle 1500 väikeplaneedi ehk asteroidi. Paljud neist on ainult mõne-

kilomeetrilise või veel väiksema läbimõõduga. Väikeplaneetide kogumass ei ületa Kuu massi.

Planeetidevahelises ruumis leidub veel lugematul hulgal meteorseid kehi: meteoore ja meteoriite. Meteorid on väikesed aineosakesed. Nende diameeter ei ületa üht sentimeetrit. Meteoriidid on suuremad kosmilised kehad, nende kaal võib ulatuda mitme tonnini.

Väikeplaneetid asuvad peamiselt Marsi ja Jupiteri orbiitide vahelisel alal. Mõnede asteroidide orbiidid ümber Päikese kujutavad endast tugevasti väljavenitatud ellipseid.

Väikeplaneetidel on astronautika suhtes eriline tähtsus ja seepärast tuleb allpool neist veel kõnelda.

ANDMEID TAEVAMEHAANIKAST

Nagu selgus, on kõik päikesesüsteemi kuuluvad kehad, alates väiksemaist meteoridest kuni suurimate planeetideni, pidevas liikumises. Planeetid tiirlevad ümber Päikese, mõnede planeetide ümber liiguvad nende kaaslased. Päike, kuuludes Linnutee tähesüsteemi, liigub selles koos kõigi päikesesüsteemi liikmetega.

Kõik need liikumised on tingitud materia ühest põhiomadusest — kahe ükskõik millise materiaalse keha vastastikusest tõmbumisest. See materiaalsete kehade vastastikune külgetõmbejõu omadus väljendub ülemaailmse gravitatsiooni seaduses, mille formuleeris XVII sajandil I. Newton.

Ülemaailmse gravitatsiooni seadus kõlab järgmiselt: mistahes kaks materiaalselt keha tõmbuvad teineteise poole jõuga, mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöörd-võrdeline nendevahelise kauguse ruuduga. Matemaatiliselt võib seda väljendada valemiga:

$$F = f \frac{Mm}{r^2}.$$

Selles valemis F tähendab kehade vastastikust külgetõmbejõudu, M — ühe keha massi, m — teise keha massi, r — nendevahelist kaugust. Tähega f on tähistatud võrdetegur, mida nimetatakse „gravitatsioonikonstandiks“ ja mis omab kindlat arvulist väärtust. Niisiis, mõlemale kehale mõjub ühesugune jõud, mis aga annab kehadele erinevad

kiirendused, sõltuvalt nende kehade massidest. Kui ühe keha mass on tunduvalt suurem teise keha omast, siis vastastikune külgetõmbumine väljendub ainult väiksema massiga keha liikumises. Suurema massiga keha jääb aga praktiliselt liikumatuks. Väiksema massiga keha hakkab liikuma teatud kindlal kujul liikumatu külgetõmbava keskmee ümber. Niisugusel juhul on meil tegemist lihtsaima taevamehaanika ülesandega, s. o. materiaalse punkti liikumisega liikumatu külgetõmbava keskmee mõjul. Niisugust külgetõmbejõudu võib väljendada valemiga:

$$F = -\frac{\mu m}{r^2},^1$$

kusjuures $\mu = fM$.

Siin tähendab M külgetõmbava keskmee massi, m — külgetõmmatava materiaalse punkti massi ja r — külgetõmbava keskmee ja külgetõmmatava materiaalse punkti vahelist kaugust.

See taevamehaanika lihtsaim ülesanne on ammugi juba lahendatud.

Ilmneb, et külgetõmmatava keha liikumise iseloom, s. t. trajektoori kuju ja seda mööda liikumise seadus, oleneb keha esialgsest kaugusest r_0 , külgetõmbavast kehast, algkiirusest v_0 , algkiiruse vektori suunast \vec{v}_0 ja külgetõmbava keskmee massist M .

Võib esineda kolme tüüpi liikumist.

Kui $v_0^2 < \frac{2\mu}{r_0}$, siis liikumine toimub mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub külgetõmbav kese.

Kui $v_0^2 > \frac{2\mu}{r_0}$, siis liikumise trajektoor on hüperbool, aga

kui $v_0^2 = \frac{2\mu}{r_0}$, siis liikumise trajektoor on parabool.

Mõlemad viimased kõverad ei ole kinnised, s. t. neid mööda liikuv külgetõmmatav keha kaugeneb järk-järgult külgetõmbavast keskmest lõpmatusse ega pöördu tagasi oma esialgsesse asukohta. Seejuures toimub lõpmatusse eemaldumine palju kiiremini hüperboolset orbiiti mööda. Liikuva materiaalse punkti trajektoori kuju ja seda mööda liikumise seaduse võib välja arvutada mehaanika seaduste

¹ Miinusmärk näitab, et külgetõmbejõud on suunatud külgetõmbava keskmee suunas.

alusel, kusjuures saame läbitava teosa sõltuvuse ajast ning kiirenduse suuruse igal järgneval ajamomendil. Viimase valemi füüsikalist mõistet, millest oleneb külgetõmbatava materiaalse punkti trajektoori kuju, võib väljendada palju üksikasjalisemalt. Kui materiaalne punkt asub mingisuguse keskse keha külgetõmbejõu mõjusfääris, siis omab ta igas oma asendis gravitatsioonivälja mõnesugust potentsiaalset energiat¹. Selle potentsiaalse energia arvu- list väärtust (tähistame tähega Π) arvutatakse valemi järgi:

$$\Pi = -\frac{\mu m}{r}.$$

Kineetiline energia aga arvutatakse valemist:

$$T = \frac{mv^2}{2}.$$

Nüüd on selge, mida väljendavad need võrratused, millistest sõltub materiaalse punkti edasine liikumine, kui temale mõjub ainult külgetõmbava keskmee külgetõmbejõud.

Kui materiaalsele punktile anda algmomendil kineetiline energia, mis on väiksem tema potentsiaalse energia hul- gast (kogu esialgne energia on siis negatiivne), jätkub esialgset kineetilist energiat ainult selleks, et sundida keha liikuma mööda ellipsit külgetõmbava keskmee ümber. Teisel kahel juhul on esialgne kineetiline energia küllaldane sel- leks, et keha suudaks külgetõmbavast keskmest eemalduda lõpmatusse.

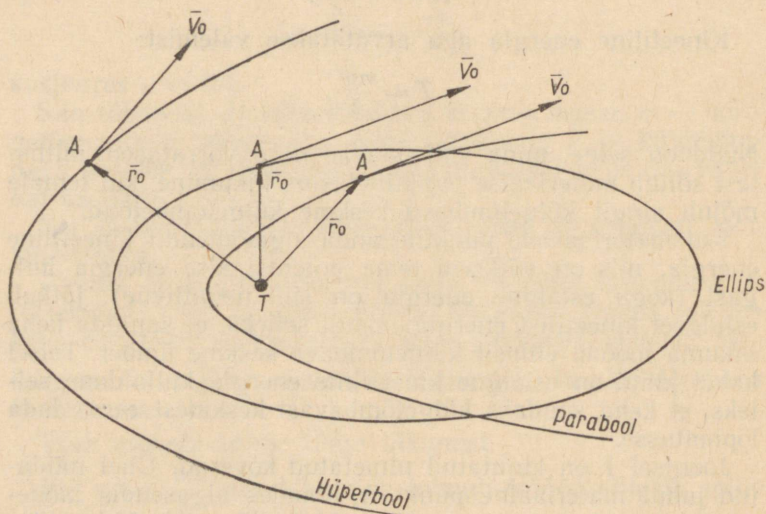
Joonisel 1 on kujutatud nimetatud kõverad. Ühel näida- tud juhul materiaalne punkt A, omades algasendis mõne- sugust potentsiaalset energiat, hakkab liikuma mööda ellip- sit sellepärast, et tema kineetiline energia ei suuda teda eemaldada suurema massiga keha külgetõmbejõu mõju- sfäärist. Selle ellipsi asend ruumis oleneb materiaalse punkti algkiiruse suunast.

Nii olemegi jõudnud astronautika kõige tähtsama tee- sini: kui materiaalne punkt asub ainult külgetõmbava keskmee külgetõmbejõu mõju all, siis on selle materiaalse punkti kogu liikumise iseloom täielikult määratud selle mo- mendi, millal materiaalsele punktile hakkab mõju avaldama ainult külgetõmbejõud, algandmetega, s. t. suurustega μ , r_0 ja v_0 ning algkiiruse suunaga.

¹ Arvestades, et gravitatsioonivälja potentsiaalne energia lõpmatu- ses on võrdne nulliga.

Tuleb veel kord märkida, et astronoomial ja taevamehaanikal on suur tähtsus astronautika suhtes. Marsruutide koostamine, trajektooride kindlakstegemine erinevate lähteandmete puhul, oskus orienteeruda maailmaruumis — kõik see nõuab head astronoomia ja taevamehaanika tundmist. Nende teaduste rakendamise oskus on äärmiselt tarvilik kosmilise laeva tüürimehele.

Isegi sel juhul, kui inimeste ja võib-olla koguni teiste maailmade elanike käsutuses oleksid niisugused kosmilised laevad, millede liikumist saaks reguleerida tervikuna



Joonis 1. Ainult Maa T külgetõmbejõu mõjul liikuva punkti A trajektoorid erinevate lähteandmete (\vec{r}_0 , \vec{v}_0) korral.

kogu kosmilise laeva teekonna vältel, oleks kosmilise laeva juht kohustatud teadma, millist mõju oletatavale marsruudile selle marsruudi piirkonnas asuvad taevakehad avaldaksid.

Mis aga puutub astronautika algperioodi, kus kosmilised laevad suudavad kaasa võtta ainult ettenähtud marsruudi jaoks vajalikul hulgal kütteaineid ja kus suurem osa lennust peab toimuma väljalülitatud mootoritega, s. t. kus kosmilist laeva edasiviivaks jõuks on ühe või teise taevakeha külgetõmbejõud, siis tuleb taevamehaanika meetodeid

rakendada lendude trajektoore väljaarvutamiseks, koordinaatide tabelite koostamiseks ja kiiruste ning kiirenduste kindlakstegemiseks jne.

Esimeste kosmiliste laevade astronautid peavad oskama kasutada ülemaailmset gravitatsioonijõudu.

Planeetidevahelise teekonna alustamisel tuleb kosmilisel laeval ületada selle taevakeha külgetõmbejõud, millelt ta lahkub. Selleks kulub teatud hulk energiat. Kuid kosmiliste laevade energiatagavarad planeetidevahelise ühenduse algperioodil on piiratud. Tsiolkovski ja Maštšerski töödel baseeruvate matemaatiliste uurimuste najal on kindlaks tehtud, et kosmiline laev võib edasi liikuda ka väljalülitatud mootoritega.

Äralennul mingilt taevakehast saavutab kosmiline laev teatud kaugusel töötavate mootorite jõul kindlaksmääratud kiiruse ja suuna. Pärast seda võib mootorid välja lülitada ja laev, tänu saavutatud kiirusele, lendab edasi kindlaksmääratud trajektoori mööda eesmärgi poole. Laeva liikumisel mõjub temale veel mõnda aega selle keha külgetõmbejõud, millelt ta lahkus. Seepärast liikumine aeglustub. Tänu kiirusele, mis on laeval omandatud mootorite väljalülitamise momendil, võib ta lennata antud suunas niikaua, kuni satub selle taevakeha külgetõmbejõu piirkonda, millele ta suundus. Selliselt saab kosmiline laev liikuda mõni aeg väljalülitatud mootoritega külgetõmbejõu mõjul ja ainult maandumisel on vaja kulutada teatud hulk energiat laeva pidurdamiseks.

Lennul ühelt planeedilt teisele tuleb ületada kümnete ja isegi sadade miljonite kilomeetrite pikkused kaugused, kusjuures kosmiline lennuaparaat viibib peaaegu kogu oma teekonna vältel absoluutselt tühjas ruumis. Ei esine mingit materiaalsel keskkonda, mille poolt teda ähvardaks kokkupõrkamis- või pidurdumisoht.

Niisugune lennuaparaat peab olema raket selle sõna laiemas mõttes, s. t. lennuaparaat, mis liiguks reaktiivjõul.

Üldjoontes väljendatuna töötab reaktiivmootor järgmisel põhimõttel: kütteaine põlemisel eraldub energia, mis tõukab raketi korpusest düüsi kaudu suure kiirusega välja kuumi gaasimasse. Gaasimassid, väljudes raketi düüsist, nagu tõukaksid eemale raketi korpusest, kusjuures raket saab kiirenduse mehaanikas tuntud mõju ja vastumõju võrdsuse

seaduse põhjal ning hakkab liikuma gaasimasside liikumisele vastassuunas.

Selleks, et raketit saavutaks mingisuguse kiiruse, on vaja kulutada teatud hulk kütteainet. See vahekord väljendub valemis, mis kannab K. E. Tsiolkovski valemi nimetust:

$$v = v_r \ln \frac{M_0}{M}.$$

Selles valemis on v raketi kiirus mingil ajamomendil, M — raketi mass koos küttevaruga samal ajamomendil, M_0 — raketi mass koos küttevaruga algmomendil, kui raketi kiirus võrdus nulliga ja kui kütust ei olnud üldse veel kulutatud, v_r — suhteline kiirus, millega gaasid väljuvad raketist (kiirus raketi korpuse suhtes).

Tsiolkovski valemit võib kasutada järgmisel kujul:

$$v = v_r (\ln M_0 - \ln M).$$

Sellest nähtub, et raketi kiirus ei kasva proportsionaalselt mitte kütuse kuluga, vaid algmomendi ja järelejäänud kütteaine hulga naturaallogaritmide vahega. Teisiti väljendades, gaaside väljavoolamise antud suhtelise kiiruse juures kasvab raketi kiirus aeglasemalt kui vahetu kütteaine kulu.

Arvu, mis näitab, mitu korda raketi algkaal koos kütteainega on suurem raketi kaalust sel ajamomendil, mil raketit saavutas juba mingisuguse kiiruse, nimetatakse „masside suhteks“ antud raketi ja gaaside raketist väljumise kiiruste jaoks.

Masside suhe näitab, millist kütteainet tagavara on tarvis kaasa võtta, et raketit saavutaks nõutava kiiruse. Kütteaine tagavara suurus oleneb tema omadustest. Gaaside raketist suure kiirusega väljumise korral võib kütteaine tagavara olla väiksem ja vastupidi.

Kuid siin tuleb arvestada tõsiseid raskusi. Näiteks võib juhtuda nii, et raketile vajaliku kiiruse andmiseks tuleb kaasa võtta niisugune hulk kütust, mis muudab raketi nii raskeks, et gaaside väljavoolu teatud kiiruse juures reaktiivjõud ei suuda raketit isegi paigalt nihutada. Gaaside väljavoolamise suurema kiiruse korral on vaja vähem kütteainet, väiksema kiiruse puhul aga rohkem. Kõik see järel-dub ühest mehaanika põhiseadusest — liikumise jäävuse seadusest.

Kõigil neil asjaoludel on vahetu seos astronautikaga. On

selge, et kosmilisele teekonnale asudes peab lendav aparaat end välja rebima Maa külgetõmbejõu piirkonnast ja seejärel jõudma selle planeedi gravitatsioonivälja mõju-
piirkonda, kuhu ta suundub.

Näib, nagu oleks selleks kõige lihtsam liikuda mööda sirgjoont, näiteks kas või Maalt Kuule lennates. Kuid selleks, et eemalduda Maast niisugusele kaugusele, kus Maa külgetõmbejõu mõju muutuks väiksemaks Kuu omast, on vaja lennata umbes 300 000 kilomeetrit.

Niisuguseks sirgjooneliseks liikumiseks on tarvis vabanemiskiirust, mis ületaks paraboolse kiiruse. Kõik see on tingitud gravitatsioonivälja mõjust, mis väheneb pöör-
võrdeliselt kaugusega Maast ruudus.

On olemas teine, kütteaine kokkuhoiu seisukohalt palju kasulikum moodus. Osutub, et mitte väga kaugel Maast on raketile võimalik anda niisugune kiirus, mille juures see liiguks edaspidi väljalülitatud mootorige gravitatsiooni-
jõu mõjul just nagu inertsit tõttu paraboolset või mingisugust elliptilist trajektoori mööda. Piki neid trajektoore liikudes võib kosmiline laev eemalduda Maast niisugusele kaugusele, kus on võimalik sattuda Kuu külgetõmbejõu piirkonda.

Niisugused kiirused, mis võimaldavad väljuda Maa gravitatsioonivälja mõjust, kannavad „vabanemiskiiruste“ nime-
tust. Need kiirused on isesugustel kaugustel Maast erinevad.

Peale vabanemiskiiruste võivad olla veel niisugused algkiirused, milliste juures raket hakkab liikuma kas ringjoont või nõrgalt väljavenitatud ellipseid mööda ümber Maa. Niisugusel juhul muutub raket Maa kunstlikuks kaas-
laseks.

Sellelaolisi kiirusi nimetatakse astronautikas „ringkiirusteks“. Ringkiirused on sõltuvad Maa tsentri kaugusest.

Tabelis 2 (lk. 14) on antud ring- ja vabanemiskiiruste väärtused mitmesugustel kaugustel Maa tsentrist. Sellest tabelist, mis on koostatud taevamehaanika valemite abil, võib näha, et kui raket Maa pinnal saavutab horisontaalkiiruseks umbes 8 kilomeetrit sekundis, siis hakkab ta liikuma mööda ringjoont ümber Maa. Selleks, et raket hakkaks liikuma ümber Maa mööda ringjoonekujulist orbiiti, mille raadius võrdub Maa diameetriga, jätkub algkiirusest 5 kilomeetrit sekundis jne.

Tabel 2

Kaugus Maa tsentrist (raadiuses)	Kaugus Maa tsentrist (kilomeetrites)	Ringkiirused (m/sek.)	Maa külgetõmbejõu mõjust vabanemise paraboolsed kiirused (m/sek.)
1	6 378	7 900	11 180
2	12 756	5 595	7 900
3	19 134	4 568	5 460
4	25 511	3 956	5 595
5	31 890	3 538	5 004
10	63 780	2 502	3 538
20	127 560	1 769	2 502
50	318 900	1 109	1 582
100	637 800	791	1 119
500	3 189 000	354	500
1 000	6 378 000	250	354

Samasugune olukord kujuneb vabanemiskiiruste juures Kuu peale lendamisel. Maakera pinnal võrduks see kiirus 11,18 kilomeetriga sekundis, aga juba Maa ühe raadiuse kaugusel maakera pinnalt on see kiirus ainult 7,9 kilomeetrit sekundis.

Tabel 3 näitab, milline peab olema masside suhe raketis, et see saavutaks gaaside antud väljavoolamiskiiruste juures nõutava kiiruse.

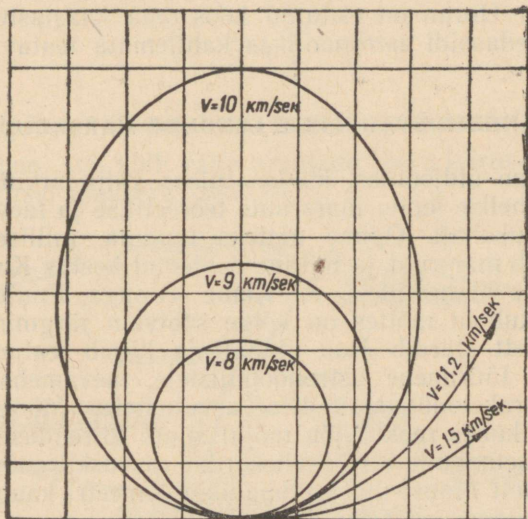
Tabel 3

Masside suhe M_0	Gaaside raketi düüsi väljumise kiirus (meetrit sekundis)								
	M	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	10 000	15 000	20 000
1,5	405	810	1 216	1 621	2 030	4 050	6 080	8 100	
2	693	1 386	2 079	2 772	3 465	6 932	10 397	13 864	
3	1 098	2 196	3 294	4 392	5 490	10 986	16 476	21 960	
4	1 386	2 772	4 158	5 544	6 930	13 863	20 793	27 736	
5	1 609	3 218	4 827	6 436	8 045	16 094	24 135	32 188	
10	2 603	5 206	7 809	10 412	13 015	26 030	39 045	52 060	
20	2 996	5 992	8 988	11 984	14 980	29 957	44 937	59 914	
50	3 912	7 824	11 736	15 649	19 560	39 120	58 680	78 240	
100	4 665	9 330	13 995	18 660	23 325	46 650	69 975	93 300	

Tabelist nähtub, et gaaside väljumisel kiirusega 2000 meetrit sekundis on niisuguse kunstliku kaaslaste lennutamiseks, mis liiguks ümber Maa väikesel kaugusel (mõned

sajad kilomeetrid) kiirusega 7 824 meetrit sekundis, vajalik masside suhe 50.

Tabeli 3 koostamisel eeldati, et raketti ei mõjusta peale Maa gravitatsioonijõu mingisugused muud takistused. Kuid tegelikult on raketi lennutamiseks Maast niisugusele kaugusele vaja ületada nii külgetõmbejõud kui ka atmosfääri takistus. Seepärast peab masside suhe olema tundu-



Joonis 2. Maa gravitatsiooniväljas asuva punkti trajektoorid erinevate lähteandmete korral.

valt suurem (ligilähedane 100-le). Teiste sõnadega — rakett peab Maa pinnalt startides kaasa võtma kütteainet 99 korda rohkem kui kaalub tema korpus koos sisustusega.

Niisuguse raketi ehitamine kaasaegse tehnika arengutasemes juures pole võimalik. Selle ülesande lahendamisele saab kaasa aidata liitrakettide kasutuselevõtmine.

Vabanemiskiiruse saavutamiseks mõnesaja kilomeetri kaugusel Maast ulatub masside suhe juba üle 200. Masside suhe väheneb aga peaaegu 10 korda gaaside väljavoolu juures kiirusega 4 000 meetrit sekundis. Kuid ka niisuguse raketi ehitamine ei ole kaasaegse tehnika juures veel võimalik.

Joonisel 2 on näidatud need trajektoorid, mida mööda liiguks maapinnalt erinevate algkiirustega lennutatud rakett.

Selleks et tutvustada lugejaid päikesesüsteemi teiste kehadega, esitame Godwini originaalse tabeli (nr. 4). Selles tabelis on toodud ära päikesesüsteemi kehade kaugused Maast, nende mõõtmed, andmed atmosfääri ja elu olemasolu või puudumise kohta ning vabanemiskiirused teistelt planeetidelt äralennuks. Planeedid Marss, Jupiter, Saturn ja Uran on esitatud koos oma kaaslastega, millel on edaspidi astronautikas kahtlemata teatav tähtsus.

PLANEETIDEVAHELISTE LENDUDE MARSRUUDID

Vaatleme üldjoontes, kuidas tuleks välja arvutada planeetidevahelise lennu marsruute teoreetilise ja taevamehaanika seisukohalt. Õpime näiteks tundma, millise lõpliku kaju võtab marsruut ja milline on lennu kestus Kuule ning lähematele planeetidele. Alustame lennuga Kuule. Kütta-aine kokkuhoju mõttes on kõige sobivam järgmine marsruut: rakett stardib Maa pinnalt ja liigub teatud suunas vastavalt tüürimehe astronoomilistele, taevamehaanikalistele ja raketodünaamilistele arvutustele. Mõne minuti pärast, liikudes reaktiivjõu mõjul suure kiirendusega, kuid mitte suuremaga kui nelja-viiekordne raskuskiirendus¹, saavutab rakett Maast umbes tuhande kilomeetri kaugusel kiiruse 11 kilomeetrit sekundis.

Sel momendil lülitatakse mootor välja ja rakett jätkab liikumist ainult Maa külgetõmbejõu mõjul. Saavutatud algkiirus ja suund peavad olema niisugused, et edaspidine liikumine Maa külgetõmbejõu mõjul toimuks mööda ellipsit, mis hõlmaks ka Kuu (joon. 3). Liikudes mööda niisugust elliptilist trajektoori, läbib rakett Maa gravitatsioonivälja neutraalse tsooni ja siseneb Kuu külgetõmbejõu piirkonda.

Selleks et jõuda Kuule järele mööda ringjoonelist orbiiti, peab lendur mootori mõneks ajaks välja lülitama. Seejuures võib saavutada niisuguse kiiruse ja suuna, et edaspidine liikumine toimub mööda ringjoonelist või elliptilist trajektoori ainult Kuu külgetõmbejõu mõjul. Laeva tagasipöördamiseks Maale (ilma maandumiseta Kuul) on jällegi tarvis teha vastav manööver üleminekuks elliptilisele trajektoori-

¹ Niisugust kiirendust suudavad reisijad taluda ainult mõned minutid.

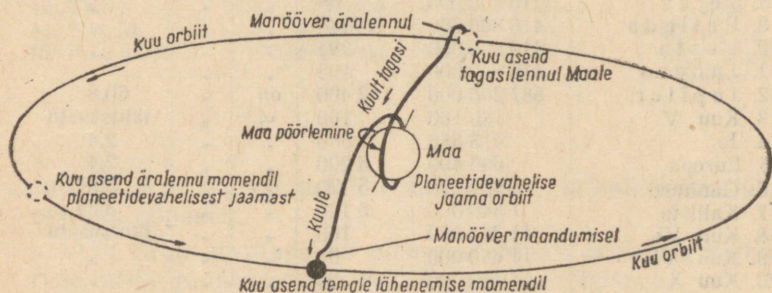
rile Maa suunas. Niisugusel teel kulutatakse kütteainet põhiliselt ainult ühelt trajektoorilt teisele üleminekul.

Külgetõmbavast keskmest kaugenemisel väheneb kosmilise laeva kiirus. Selle kiiruse võib ette välja arvutada laeva igasuguse asendi jaoks tema trajektooriga valemi järgi, mis väljendab mehaanilise energia jäävuse seadust: liikuva keha kineetilise ja potentsiaalse energia summa liikumise protsessis on jääv suurus:

$$\frac{v^2}{2} - \frac{\mu}{r} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{\mu}{r_0}$$

(pärast liikuva keha massile taandamist)¹.

Selle valemi abil võib välja arvutada laeva kiiruse igasugusel kaugusel maakera tsentrist.



Joonis 3. Kuule lendamise ja sealt tagasituleku skeem.

Oletame, et vabanemise algkiirus $v_0 = 11,18$ kilomeetrit sekundis ja $r_0 = 6400$ kilomeetrit. Siis võib esitatud valemi järgi arvutada, et kaugusel $r = 120\,000$ kilomeetrit (piki raadiusvektorit) Maast on laeva kiirus ainult 0,63 kilomeetrit sekundis. Pärast Kuu külgetõmbepiirkonda sisenemist hakkab see kiirus suurenema. Väiksemate algkiiruste juures kujuneb trajektoor ellipsiks.

On olemas valemeid, millede abil saab täpselt välja arvutada, missuguse aja jooksul läbitakse üks või teine teosa mööda paraboolset või elliptilist trajektoori.

Kõige väiksema algkiiruse juures, millega laev võib veel

¹ $\mu = fM$, kus $f = 6,6 \cdot 10^{-8}$; $M = 5,97 \cdot 10^{27}$ absoluutühikut.

² Kosmiline navigatsioon

Taevakeha nimetus	Planeetide minimaalsed kaugused Maast ja kaaslaste kaugused planeetidest (kilomeetrites)	Diameeter (kilomeetrites)	Almostaar	Elu	Vabanemiskiirus (km/sek.)
1. Merkuur ¹	80 000 000	4 800	ei	ei	3,84
2. Veenus	40 000 000	12 160	on	??	10,4
3. Kuu	382 171	3 456	ei	ei	2,4
4. Hermes ²	352 000	1,6			tähtsusetu
5. Marss	56 000 000	6 752	on	on	5,12
6. Fobos	9 280	16	ei	ei	tähtsusetu
7. Deimos	23 300	8	"	"	"
8. Ceres	416 800 000	768	"	"	"
9. Pallada	416 800 000	488	"	"	"
10. Vesta	416 800 000	384	"	"	"
11. Junona	416 800 000	192	"	"	"
12. Jupiter	587 200 000	142 400	on	"	60,8
13. Kuu V	180 160	160	ei	"	tähtsusetu
14. Jo	418 880	3 680	"	"	2,4
15. Europa	666 400	3 200	"	"	2,4
16. Ganimed	902 720	5 120	"	"	3,84
17. Kallisto	1 840 000	5 120	"	"	3,84
18. Kuu VI	11 360 000	160	"	"	tähtsusetu
19. Kuu VII	11 680 000	64	"	"	"
20. Kuu X	760 000	24	"	"	"
21. Kuu XI	22 400 000	24	"	"	"
22. Kuu VIII	23 200 000	64	"	"	"
23. Kuu IX	23 680 000	32	"	"	"
24. Kuu XII	22 400 000	24	"	"	"
25. Saturn	1 190 400 000	113 000	on	"	36,7
26. Mimos	184 000	600	ei	"	tähtsusetu
27. Enceladus	236 800	720	"	"	"
28. Tethys	296 000	1 200	"	"	"
29. Dione	374 400	1 400	"	"	"
30. Rhea	523 200	1 600	"	"	"
31. Titan	1 217 000	5 600	"	"	3,84
32. Hyperion	1 471 000	480	"	"	tähtsusetu
33. Japetus	3 520 000	1 600	"	"	"
34. Phoebus	12 800 000	320	"	"	"
35. Themis	(avastatud 1905. a. Pickering'i poolt, kuid avastust ei ole kinnitatud)				

¹ Planeetid on sõrendatud.

² Teiste allikate järgi asub Hermes Maast kaugemal kui üks miljon kilomeetrit.

Taevakeha nimetus	Planeetide minimaalsed kaugused Maast ja kaaslaste kaugused planeetidest (kilomeetrites)	Diameeter (kilomeetrites)	Atmosfäär	Elu	Vabanemiskiirus (km/sek.)
36. Uuran	2 570 000 000	49 600	on	ei	22,4
37. Miranda	129 700	240	ei	"	tähtsusetu
38. Ariel	192 000	960	ei	"	"
39. Umbriel	265 800	640	"	"	"
40. Titania	435 000	1 600	"	"	"
41. Oberon	582 000	1 600	"	"	"
42. Neptuun	4 275 000 000	44 800	on	"	24
43. Triton	352 000	4 800	ei	"	3,84
44. Nereid	8 000 000	320	ei	"	tähtsusetu
45. Pluuto	5 120 000 000	10 090 (?)	on	"	välja selgitamata

sattuda Kuu külgetõmbejõu mõjusfääri, kestab lennu üks ots viis ööpäeva.

Võib välja arvutada ka niisuguse Maalt äralennu algkiiruse, mille juures lend ei kehtaks üle ühe ööpäeva.

Niisiis — laev ei jõua Kuule mitte kõige lähemat sirget teed mööda, vaid mööda elliptilist teed. Kuid see-eest kulub laev tunduvalt vähem kütteainet.

Kõikide kosmilise lennu kestusega, trajektoori kujuga ja kiirusteprogrammiga seotud andmete täpset mehaanika-, matemaatika- ja astronoomiareeglite põhjal teostatud arvutusprotsessi pole siiani veel kusagil avaldatud. Kõik käesolevas kirjutises antud arvud on saadud kahe keha ülesande lahendamise meetodil, oletades näiteks, et algul laev liigub ainult Maa külgetõmbejõu mõju all ja seejärel ainult Kuu külgetõmbejõu mõju all. Kuid tegelikult on vaja kogu aeg arvestada kolme keha koosmõju, mispärast täpsete trajektoorie arvutamist tuleks teostada kolme keha ülesannete lahendamise valdkonda kuuluvate meetoditega. Mehaanika ja astronoomide noorel põlvkonnal seisab sel alal ees avar tegevusväli.

Maa naaberplaneetidele — Marsile, Veenusele, Merkuurile — lendamise marsruutide arvutused on tunduvalt keerukamad ja pole seepärast veel kaugeltki ammendavalt läbi töötatud. Pealegi on eri autorid saanud erinevate arvuliste väärtustega tulemusi. Kogu arvutuste üksikasjalist protsessi pole tegelikult veel kellegi poolt avaldatud.

Oletame, et kosmiline laev saavutab Maa suhtes niisuguse kiiruse, mille juures ta hakkab liikuma mööda parabooli või hüperbooli. Kuid lahkudes tänu sellele Maa külgetõmbejõu piirkonnast, võib ta sattuda Päikese külgetõmbejõu mõju alla. Viimase mõjul kalduks laev esialgselt trajektoorist kõrvale ja hakkaks liikuma ümber Päikese.

Olenevalt laeva liikumise kiirusest sel momendil, millal ta Päikese külgetõmbejõu mõjusfääri satub, hakkab ta liikuma ümber Päikese kas mööda ellipsit, parabooli või hüperbooli. Selleks, et laev hakkaks liikuma ümber Päikese mööda parabooli, s. t. et ta võiks lahkuda päikesesüsteemi piiridest, on tal vaja kiirust Päikese suhtes 42 kilomeetrit sekundis. Selleks on aga vaja maapinnal saavutada Maa suhtes kiirus 16,7 kilomeetrit sekundis, kusjuures liikumine peab olema suunatud väikese nurga all Maa ümber Päikese liikumise suuna suhtes. Kiirust 42 kilomeetrit sekundis Päikese suhtes nimetatakse päikesesüsteemist vabanemise kiiruseks.

Tuleb märkida, et vahetevahel esineb lihtsustatud ja ebaõigeid ettekujutusi küsimuse olemusest. Maa liikumise kiirus ümber Päikese on ainult natuke üle kahekümne üheksa kilomeetri sekundis. Algiirus Päikese suhtes Marsile lennul on veidi üle kolmekümne kahe kilomeetri sekundis. Vahel öeldakse, et on küllalt, kui anda kosmilisele laevale veel täiendavalt Maa kiirusele lisaks kiirust kolm kilomeetrit sekundis Maa ümber Päikese liikumise suunas, et saavutada Marsile lendamiseks vajalik algiirus 32 kilomeetrit sekundis.

Kuid nagu me näeme, ei seisa asi selles. Antud juhul pole Marsile lennu organiseerimiseks küllaldane raketi Maa ekvaatorilt lennutamine üheaegselt nii Maa pöörlemise suunas ümber oma telje kui ka Maa aastase orbiidi liikumise suunas, kusjuures raketile antakse veel lisaks kiirust Maa suhtes kolm kilomeetrit sekundis. Niisugusel korral ei saaks laev lahkuda isegi Maa külgetõmbejõu mõju alt.

Osutub, et Marsi orbiidile jõudmiseks tuleks laevaga läbi viia mitmesuguseid manöövreid. Eelkõige on vajalikud täpsed andmed Maa ja Marsi liikumise kohta ümber Päikese. Esialgu tuleb laev lennutada vahepealsele ringjoonelisele trajektoorile Maast mitme tuhande kilomeetri kaugusele. Ringjooneliselt trajektooriga peab laeva üle viima ülemineku hüperboolsele trajektoorige. Selleks, et laev võiks üle minna viimasele, poolelliptilisele põhitrajektoorige ümber Päikese, vajab ta kiirust 32,7 kilomeetrit sekundis Päikese suhtes. Selle saavutamiseks tuleb kosmilise laeva mootorid lühikeseks ajaks sisse lülitada. Pärast laeva poolelliptilisele põhitrajektoorige üleminekut lülitatakse mootorid välja ja laev liigub edasi ainult Päikese külgetõmbejõu mõjul. Edasiliikumisel kohtab laev Marssi punktis, mis asetseb diametraalselt vastassuunas punktiga, kus asetses Maa laeva äralennu momendil.

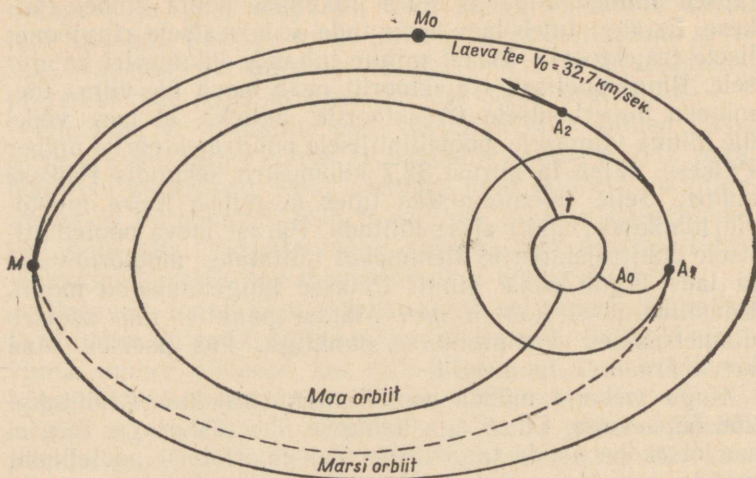
Kogu teekond mööda poolelliptilist trajektoori läbitakse 258 ööpäevaga. Edasi aga kohtume ühe raskusega: laev ei saa otsekohe asuda tagasiteele trajektoori teist poolellipsit mööda, sest Maa võtab vahepeal oma orbiidil teise asukoha ja laev ei kohtuks enam temaga. Laeva Maale tagasipöördumiseks on vaja Maa ja Marsi väljalennumomendile sarnast, kuid vastupidist asendit. Laeva meeskond peaks ootama Marsil sobivat tagasilennu momenti. Oodata tuleks 440 päeva. Tagasitee kestaks jällegi 258 ööpäeva ning kogu reis vältaks üle kahe ja poole aasta.

Lennu teekond Maalt Marsile on näidatud joonisel 4. Marsile lendu kergendab osaliselt asjaolu, et selle planeedi läheduses asetsevad kaks loomulikku vahejaama. Nagu teada, on Marsil kaks pisitillukest kaaslast. Need kaaslaste avastati 1877. aastal, s. t. samal aastal, kui astronoom Schiaparelli avastas nn. Marsi „kanalid“.

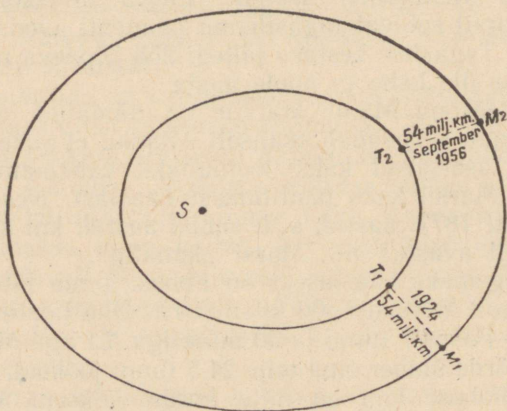
Marsi ligemaks kaaslasteks on Fobos. Tema läbimõõt on 15 ja kaugus Marsist 5000 kilomeetrit. Ühe täistiiru ümber Marsi teeb Fobos 7 tunni ja 39 minutiga. Et aga Marss teeb ühe täispöörde ümber oma telje 24,5 tunni jooksul, siis tuleb välja, et Fobose kuu on mitu korda väiksem Marsi ööpäevast.

Teist Marsi kaaslast nimetatakse Deimoseks. Viimane on Fobosest veelgi väiksem. Tema läbimõõt on ainult 8 kilomeetrit. Seega on Deimos oma mahult peaaegu võrdne suurte maapealsete mägedega, kas või näiteks Mont Everestiga Himaalaja mäestik. Deimos asetseb Marsist 20 000

kilomeetri kaugusel ja teeb ühe täistiiru ümber Marsi 30,5 tunni jooksul. Nendel väikestel taevakehadel võib planee-



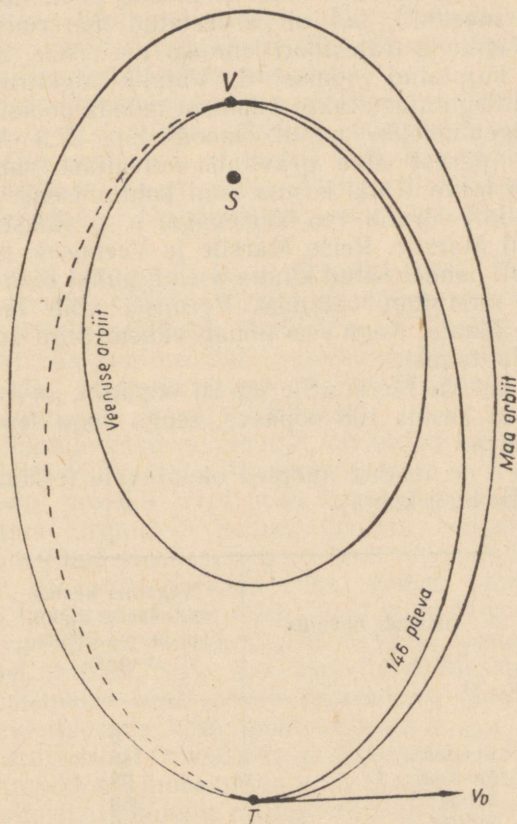
Joonis 4. Laeva tee Maalt Marsile.



Joonis 5. Marsi ja Maa vastasseisu skeem.
S — Päike, T — Maa, M — Marss.

tidevaheline laev maanduda ja teostada sealt Marsi pinna vaatlusi. Äralend tagasisõiduks on nendelt vahejaamadelt

tunduvalt kergem kui Marsilt eneselt, sest Marsi külgetõmbejõust vajalik vabanemiskiirus äralennu puhul Foboselt, veel enam aga Deimoselt on palju väiksem kui äralennul Marsi pinnalt. Võib olla, et esimesed lennud Marsile piir-



Joonis 6. Veenusele lendamise trajektoor.
T — Maa; S — Päike; V — Veenus.

duvadki ainult maandumistega nendele kaaslastele. Alles pärast Marsi ümbruse ja tema pinna küllaldast tundmaõppimist maandutakse ka planeedil eneselt.

Teatud aegadel on Maa ja Marsi vaheline kaugus tunduvalt lühem, nimelt Marsi vastasseisude ajal Maale (joo-

nis 5). Niisuguste asetuste korral võrdub nendevaheline kaugus 54 miljoni kilomeetriga. Kuigi sõit sel puhul toimuks mööda sirget, tuleks liikuda Päikese külgetõmbejõule vastassuunas, kusjuures kütteainet kuluks tunduvalt rohkem kui eespoolkirjeldatud liikumisel mööda poollellipsit.

Samal meetodil, kui oli arvestatud marsruut Marsile, võib üles ehitada trajektoori lennuks Veenusele. See trajektoor on kujutatud joonisel 6. Vajalik algkiirus Päikese suhtes, millega alustatakse liikumist mööda poollellipsit Päikese külgetõmbejõu mõjul, moodustab 27,3 kilomeetrit sekundis (pärast Maa gravitatsiooniväljast vabanemist). Kosmilise laeva lennu kestus kuni kohtumiseni Veenusega tema orbiidil võrdub 146 ööpäevaga, s. t. väiksema ajaga kui lennul Marsile. Reise Marsile ja Veenusele tuleb alustada ainult nende teatud kindla asendi puhul oma orbiitidel.

Pärast mõningat ootamist Veenusel võib laev tagasi pöörduda Maale. Kogu reis nõuab vähem aega kui teekond Marsile ja tagasi.

Lennu kestus Merkuurile on 96 ööpäeva, ooteaeg 64 ja tagasisõidu kestus 108 ööpäeva, seega kogu lennu kestus 268 ööpäeva.¹

Tabelis 5 on toodud andmed oletatavate teekondade kestusest (ühe otsa kohta).

Tabel 5

Planeedi nimetus	Teekonna kestus minimaalse algkiiruse juures (ööpäevades)
Kuu	5
Veenus	146
Merkuur	98
Marss	258
Jupiter	490
Saturn	830

Teekonnad kõige kaugematele planeetidele — Uranile, Neptuunile ja Pluutole — kestaksid aga kümneid aastaid. Näiteks kestaks reis Pluutole 30—40 aastat.

Kõik need marsruudid on koostatud arvestusega, et liiku-

¹ Lühemad lennuajad on tingitud lähematest trajektooridest ja Päikese külgetõmbejõu suuremast mõjust.

mised kosmilisi trajektoore mööda pärast Maa gravitatsioonimõjust vabanemist toimuksid Päikese külgetõmbejõu mõjul mootorite seistes ja ilma laevale kaasavõetud energia-tagavarade kulutamisetä. Tagavaraenergiat kulutatakse ainult nende kiiruste saavutamiseks, milledest alates toimuks edasine liikumine inertsil mõjul (tinglikus mõttes) mööda graviteerivat trajektoori. Ka lühiajalisteks pilootažimanõvriteks kulutatakse energiat.

Kosmiliseks navigatsiooniks saab kasutada ka mõningaid väikeplaneete (asteroide). Üksikute asteroidide orbiidid on niivõrd välja venitatud, et nende lõigud asetsevad Maa orbiidi läheduses. Nagu näitavad andmed tabelis 4, möödub näiteks planeet Hermes Maast isegi lähemalt kui Kuu Maast.¹

Maandunud Hermesele tema lähiseisu korral Maale, võivad astronautid jätkata edasist kosmilist teekonda ilma igasuguse küttaainekuluta. Nad jõuavad Marsile järele ja saavad läbi viia vaatlusi päikesesüsteemi Marsi ja Jupiteri vahelisel alal. Hermese uuesti Maale lähenemisel võivad rändurid viimasele tagasi pöörduda.

Üheks Marsile-lennu avaldatud kavandiks on nn. Marsiprojekt, mille töötas välja W. Brown.

W. Browni projekti järgi peab kogu ekspeditsioon Marsile toimuma järgmiselt. Eelneva astmena luuakse Maale suured kunstlikud kaaslased, nn. „lendavad jaamad“. Need kaaslased hakkavad tiirlema Maa ümber umbes 1700 kilomeetri kaugusel. Edasi tuleks luua kolmejärgulised liitrakett-laevad ühenduse pidamiseks Maa ja lendavate jaamade vahel, mis täidaksid „laevakandjate“ ülesandeid. Viimased toimetaksid lendavatesse jaamadesse Maalt valmisdetailide rakettlaevade kokkumonteerimiseks.

Kokkumonteeritud rakettlaevad lendaksid mööda ringjoonelist trajektoori ümber Maa kuni Marsini. Üldse kavatakse valmistada kümme niisugust kaugesõidulaeva, mille meeskonnad koosneksid kokku 70 inimesest. Kolm laeva kavatakse teha kahejärguliste liitrakettidena. Need võtaksid endaga kaasa väiksemad, nn. „maandumispaadid“, milledega laeva pardal viibivad inimesed võiksid Marsil maanduda. Ülejäänud laevad jääksid kindlatele ringjoonelistele

¹ Mõned astronoomid oletavad, et tuntud 1908. a. Siberi meteoriid kujutas endast niisugust väikest asteroidi. Kui see oleks kohanud Maad neli tundi varem, siis ta oleks kukkunud 80 kilomeetrit põhja poole Leningradi.

orbiitidele Marsi ümber sobiva momendi ootamiseks, millal oleks võimalik Maale tagasi lennata samasugust trajektoori pidi kui Marsile saabumiselgi.

Projekti ülekuhjamine mitmejärguliste lendudega on tingitud sellest, et projekti autori ettepanekul tuleks kosmilistel laevadel kasutada tavalist keemilist kütteainet, mis annaks gaaside väljavoolu kiiruseks laeva düüsidest ainult 2,25 kilomeetrit sekundis. Gaaside väljavoolu niisuguse kiiruse juures nõuaks ühejärguline rakett liiga suurt masside suhet, mistõttu teda ei ole kaasaegse tehnika arengutaseme juures võimalik ehitada.

AATOMIENERGIA KASUTAMISEST ASTRONAUTIKAS

Planeetidevahelise ühenduse probleemide lahendamine on võimalik ainult paljude teadus- ja tehnikaharude uute saavutuste kaasabil.

Kui inimene oskaks käsutada niisugust energiaallikat, mis kindlustaks kosmilise laeva mootorite töö suurema osa kosmilise reisi jooksul, siis langeks ära vajadus eespoolkirjeldatud marsruute kasutada. Kosmilised laevad saaksid lennata planeetide vastasseisude ajal palju väiksema ajakuluga kõige lühemaid marsruute mööda.

On loota, et lähemas tulevikus hakatakse planeetidevahelise ühenduse organiseerimiseks rakendama tuumasisest energiat.

Tuumasisese energia kasutamist kosmiliste raketide loomisel tuleb pidada täiesti võimalikuks, sest tuumasisese energia jõul töötavad mootorid annavad raketile kiiruse, mille abil saab ületada Maa külgetõmbejõu ja suunduda ükskõik millisele päikesesüsteemi planeedile, pärast maandumist aga pöörduda sellelt tagasi Maale.

Raketis saavutatakse veojõud gaaside reaktsiooni arvel. Maa gravitatsioonijõu ületamiseks peab teatavat kindlat algmassi M omav kosmiline rakett arendama kiirust 11,2 kilomeetrit sekundis. Oletame, et niisuguse raketi mass koos keemilise kütteainega töötavate mootoritega peab vähenema kiirendusperioodi lõpul kuni $1/28$ osani oma esialgsest massist. Kui rakett kaaluks väljalennu momendil 56 tonni, peaks tal küttevarusid olema 54 tonni ulatuses.

On selge, et niisuguse kütteaine hulga jaoks vajalikud paagid kaaluksid ise rohkem kui 2 tonni, seepärast pole niisuguse kosmilise raketi ehitamine praegu võimalik.

Tuumasisese energia jõul töötavate mootoritega kosmilise laeva ehitamise idee on aga palju perspektiivirikkam.

Aatomiraketi mootorite eelised seisavad selles, et kaasavõetava kütteainevaru kaal on väga väike. Iga tuumasisese kütteaine ühik annab kaks miljonit korda rohkem energiat kui niisama suur ühik ükskõik millist tuntud keemilist kütteainet. Kuid tuumasisese energia kasutamise viise kosmilistes rakettides ei ole veel küllaldaselt uuritud, mistõttu on vaja selle küsimusega seoses lahendada veel terve rida probleeme.

Üks tähtsamaid probleeme on reaktori poolt toodetava soojuse kasutamise küsimus. Selleks otstarbeks on tuumasisese mootoriga raketis vaja mingisuguse reaktoris kuumeneva aine tagavara. See aitab väljaheidetavat massi suurendada ja seega mootori kasutegurit tõsta.

Niisuguseks kõige sobivamaks aineks on vedel vesinik.

Käesoleval ajal on olemas mitmesuguseid kosmiliste laevade aatomimootorite variante, kuid ühtki neist ei saa veel lugeda lõplikult väljatöötatuks ja kontrollituks.

Vaatleme mõningaid neist lähemalt.

Üks aatomimootori reaktoris tekkiva soojuse edasiandmise probleemi küllaltki edukalt lahendatud variante on paljudest koonuselitest, poorsete 3—4 millimeetri paksuste seinetega torudest koosnev reaktor. Torud on valmistatud uraani ja süsinikuga rikastatud segust. Vesinik, mis suunatakse torudesse surve all läbi poorsete seinte, kuumeneb kuni mõne tuhande kraadini. Temperatuuri reguleeritakse poorse ehitusega kadmiumist varraste abil, mida jahutatakse vesiniku vooluga. Reaktoris kuumenenud gaas heidetakse välja raketi düüsidest.

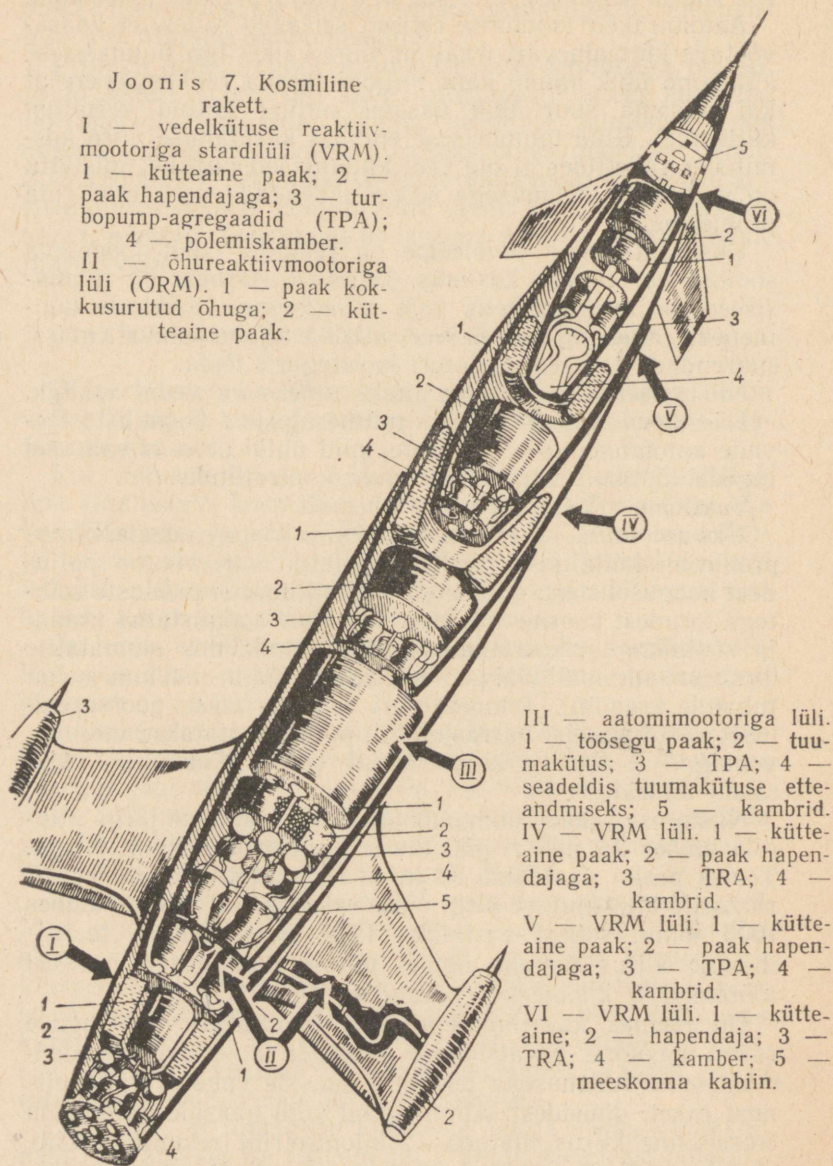
Niisuguse raketi tuumamootor oleks arvutuste järgi võibolla umbes 2,5 meetri pikkune ja 5-meetrilise läbimõõduga. Temas peaks sisalduma 33 tonni rikastatud uraani. Konstruktorite ettekujutuse järgi oleks raketi kogu algaal umbes 1600 tonni, sellest vesinikku 1250 tonni. Raketi maksimaalne kiirus ületaks umbes pärast 6-minutilist mootori töötamist 8 kilomeetrit sekundis.

On olemas ka niinimetatud „pseudorakett“. Niisuguse raketi mootoris kavatakse kasutada aatomikütuse ahelreaktsiooni tulemusena tekkinud gaaside vahetut väljaheitmist raketi düüsidest. Antud juhul võib gaaside väljavoolu teoreetiline kiirus ulatuda 12 kilomeetrini sekundis. Näib, et niisuguste mootoritega varustatud rakett on võimeline

Joonis 7. Kosmiline rakett.

I — vedelkütuse reaktiivmootoriga stardilüli (VRM).
1 — kütteaine paak; 2 — paak hapendajaga; 3 — turbopump-agregaadid (TPA);
4 — põlemiskamber.

II — õhureaktiivmootoriga lüli (ORM). 1 — paak kokkusurutud õhuga; 2 — kütteaine paak.



III — aatomimootoriga lüli.
1 — töösegu paak; 2 — tuumakütus; 3 — TPA; 4 — seadeldis tuumakütuse etteandmiseks; 5 — kambrid.

IV — VRM lüli. 1 — kütteaine paak; 2 — paak hapendajaga; 3 — TRA; 4 — kambrid.

V — VRM lüli. 1 — kütteaine paak; 2 — paak hapendajaga; 3 — TPA; 4 — kambrid.

VI — VRM lüli. 1 — kütteaine; 2 — hapendaja; 3 — TRA; 4 — kamber; 5 — meeskonna kabiin.

päikesesüsteemi piiridest välja lendama. Tegelikult aga on olukord palju keerulisem ja vaevalt saab niisugust raketti ehitada või kosmiliste lendude otstarbel kasutada.

Sellise raketi loomisel on palju raskusi: puuduvad vastavad kuumuskindlad sulamid, on raske suunata tuumareaktsiooni produktide väljavoolu jne.

Üks kõige teostatavamaid aatomiraketi mootori variante on spetsiaalse, neutroneid hästi peegeldavate ja jahutatavate seintega kambriga varustatud mootor. Rikastatud tuumaküte ja töösegu juhatakse kambrisse, kus toimub ahelreaktsioon.

Niisuguse konstruktsiooniga mootor ei vaja ülikiireid suuri soojust edasiandvate pindadega reaktoreid. Kaameras 4—5 tuhande kraadise temperatuuriga gaasi saamise puhul saavutatakse gaasi väljavoolu kiiruseks 8—9 kilomeetrit sekundis. Vastava masside suhte juures võib saavutada „lahtirebimiskiiruse“.

Raketis asuvate inimeste kaitsmiseks reaktori kahjuliku kiirituse eest tuleb aatomimootor kindlasti meeskonnakabiinist isoleerida.

Selleks otstarbeks võib kasutada kütteinepaake, konstruktsioonelemente ja vastavaid raketti paigutatud kaitsekraane.

Liitraketis osutub otstarbekohaseks vahepealse aatomilüli tegemine, mis asuks meeskonnakabiinist küllalt kaugel.

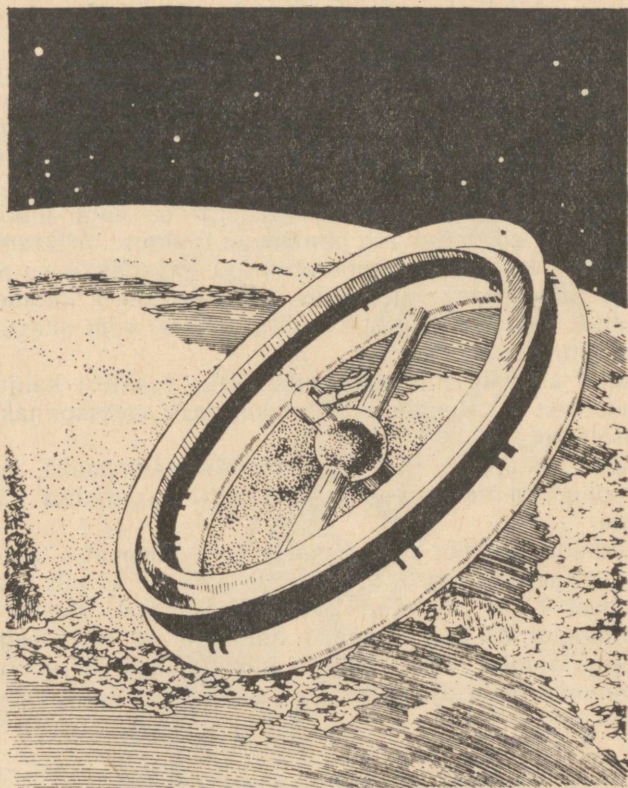
Joonisel 7 on näidatud kosmilise liitraketi skeem, kus aatomimootor asub kolmandas lülis. Pärast kahe esimese lüli eemaldamist asub rakett juba suurel kõrgusel ja aatomimootorist väljaheidetavad gaasid ei ole enam ohtlikud.

MAA KUNSTLIK KAASLANE

Planeetidevahelist ruumi ei valluta inimene korraga, vaid järk-järgult, üksikute etappide kaupa. Esimeseks sammuks on Maa kunstliku kaaslane loomine. Esialgu luuakse seegi väikesemõduline (umbes ühemeetrilise läbimõõduga).

On välja arvestatud, et koos kütteinega 16 000 kilogrammi kaaluv liitrakett saab lõpuks viimase lülina eraldada raketi kaaluga 50 kilogrammi. Sellisesse raketti saaks paigutada mitmesuguseid seadmeid, kogukaaluga 10 kilogrammi. Need seadmed võivad teostada ettenähtud astronoomilisi ja füüsikalisi vaatlusi.

Maa kunstlikku kaaslast on võimalik kasutada väga mitmesugusteks eesmärkideks: ta aitaks tublisti kaasa nii-suguste teadusharude arengule, nagu astronoomia, astro-



Joonis 8. Ümber Maa 1730 kilomeetri kõrgusel tiirleva kunstliku kaaslaste üldvaade. Kaaslaste läbimõõt — 76 meetrit, tiirlemisperiood — 2 tundi.

füüsika, tuumafüüsika, bioloogia, meteoroloogia ja kõrgem geodeesia.

Teatud juhtudel võib kunstlik kaaslane vahetult teenindada inimesi neis mitmekesistes küsimustes, mis on seotud kaasaegse tehnikaga.

Eriti otstarbekohane aga oleks temale vahepealse trans-

leerimisjaama paigutamine, mis aitaks laiendada Maa kontinentidevahelist raadio- ja telesidet.

Astronoomias saaks Maa kunstlikku kaaslast rakendada niisuguste vaatluste teostamiseks, mida ei saa läbi viia maakera pinnal. Maa atmosfäär mõjutab tugevalt astronoomilisi vaatlusi. Isegi kõige soodsamates atmosfääritingimustes, igasuguse pilvituse puudumisel ei saavuta kaasaeagsed observatooriumid niisuguseid vaatlustulemusi, mida oleks võimalik saada vaatlusriistade Maa kunstlikule kaaslasele paigutamise korral. See seletub asjaoluga, et atmosfäär neelab Päikeselt ja tähtedelt kiirguvaid ultralühilainelisi kiiri, mis ei jõua meie astronoomiliste instrumentideni. On selge, et niisuguse kiirguse tundmaõppimiseks tuleb uurimisvahendid paigutada väljapoole maakera atmosfääri piiri. Maa kunstlikule kaaslasele paigutatud väikeste astronoomiliste vaatlusvahenditega on võimalik saavutada isegi selliseid tulemusi, mis on kättesaamatud maapealsetele laboratooriumidele.

Kõik ülalöeldu on kehtiv ka kosmiliste kiirte tundmaõppimisega tegeleva füüsikaharu kohta. Kosmiliste kiirte tundmine on tähtis nii tähtede ehituse ja maailmaruumis toimuvate väga mitmesuguste protsesside uurimisega tegelevale astrofüüsikale kui ka mateeria ehitusega tegelevale teadusele ja tuumafüüsikale. Tuumafüüsika meetodid hakkavad üha sügavamini ja sügavamini meie igapäevasesse, rahulikku ellu tungima. Neid kasutatakse juba suure eduga meditsiinis, bioloogias, põllumajanduses, masinaehituses jne. Sellepärast ongi tarvis tundma õppida aatomienergiat kosmiliste kiirte kujul vahetult maailmaruumis.

Kunstlike kaaslaste loomine on mõne aasta küsimus, sest kaasaegse raketitehnika arengutaseme juures on võimalik asuda nende konstrueerimisele. Edaspidi saab kunstlike kaaslaste mõõtmeid ja kaugust Maast suurendada. Lõpuks viiakse läbi üksikute kaaslaste ühendamine lendavateks jaamadeks, kus monteeritakse kokku raketid lennuks Kuule (joonis 8).

Seoses tuumaenergeetika arenguga võib loota, et kosmilisi laevu planeetidevaheliseks ühenduseks hakatakse koostama ka vahetult Maa pinnal.

Planeetidevahelise ühenduse peamiseks tingimuseks on kosmilise laeva loomine.

Peale selle seisab inimesel ees veel terve rida tõsiseid küsimusi, mis raskendavad kosmilise lennu probleemi ter- viklikku lahendamist. Niisuguste küsimuste hulka kuuluvad kosmilisele laevale ohutuse kindlustamine, inimese elu ja olemasolu tagamine teekonnal ja mitmesugustele planeetidele saabumisel ning kosmilisele laevale navigatsioonivahendite loomine.

Rääkides kosmilise laeva võimalikest avariidest, ei mõtle me laeva mootori või teiste osade rikkeid. Siinjuures mõeldakse avariisid, mis võivad tekkida planeetidevahelises ruumis asuvate meteoridega kohtumisel. Nagu juba öeldud, omab suurem osa meteoridest tühiselt väikest massi. Kuid nende tohutult suur liikumiskiirus, kuni 50—60 kilomeetrit sekundis, annab neile massi tühisusest hoolimata suure kineetilise energia. Tõepoolest, oletame, et meteoori mass on kõigest üks kümnendik grammi ja ta liigub kiirusega 60 kilomeetrit sekundis. Sel juhul tema kineetiline energia, mille arvutamiseks korrutame massi kiiruse ruuduga ja jagame tulemuse kahega (viies enne kõik suurused üle tehnilistesse ühikutesse), võrduks 1800 kilogramm-meetriga. See tähendab, et meteoori energia oleks võrdne 18 kilogrammi raskuse kaalupommi 100 meetri kõrguselt kukkumise energiaga. Kogu see energia koonduks kosmilise laeva korpuse ühte punkti. Niisuguse osakese löögist vastu laeva korpust tekib kokkupõrkepunktis temperatuur, mis võib üles sulatada korpuse kesta ja tekitada laeva korpusesse augu. Vaatamata suhteliselt väga väikesele augukesele, võib see põhjustada tõsiseid tagajärgi.

Tuleb läbi viia põhjalik uurimistöö niisuguste metallisulamite või neeldumisvõimeliste kattekihtide leidmiseks, mis võiksid taolistele meteoride löökidele vastu pidada. Peale meteoride võivad laeva tabada ka palju suuremad meteorsed kehad, kaaluga üks kilogramm ja rohkem.

Kui maakera atmosfääri langeb ööpäeva jooksul kuni 24 miljonit väikest meteoori (me näeme neid tihti nn. langevate tähtedena), siis meteorseid kehi, kaaluga üle 50 grammi, ei lange rohkem kui viis-kuus tükki ööpäevas kogu Maa pindala kohta. Seepärast on kosmilise laeva kohtumine suuremate meteorsete kehadega vähe tõenäoline.

Siiski peab kosmiline laev niisuguste kohtumiste vältimiseks olema varustatud radiolokatsiooni seadeldisega, et laeva kurssi saaks meteoorse keha lähenemisel automaatselt muuta. Astronautika alal tuntud teadlane Obert oletab, et kosmiline laev võib kohtuda suurema meteoorse kehaga üks kord 5000 aasta jooksul, arvestades, et laev sõidaks pidevalt mitmesuguses suunas seespool Marsi orbiiti.

Veelgi tõsisemaks küsimuseks planeetidevahelise ühenduse loomisel on inimese elu kindlustamise küsimus. Kogu see probleem jaguneb terveks reaks üksikuteks ülesanneteks, mis nõuavad spetsiaalset lahendamisviisi. Esmajärjekordseks ülesandeks on inimese varustamine hapnikuga. Selleks hermetiseeritakse inimeste jaoks ettenähtud ruum ja hapnikku hakatakse andma surve all. Kosmilisel laeval peab olema vedela hapniku tagavara ja selleks vajalikud seadmed. Kilogramm vedelat hapnikku päevas on inimesele küllaldane. Edaspidi võib organiseerida õhu regenererimist mitmesuguste vahendite abil.

Inimorganism suudab kiirendust taluda ainult teatud piirini. Siit tuleneb vajadus reguleerida kosmilise laeva kiiruse muutmise protsessi.

Mehaanikast on tuntud järgmine seisukoht: oletame, et on olemas nõu, mille sisse on paigutatud vedelaid või tahkeid kehi, mis saavad nõus liikuda. Kui niisuguse nõu suhtes rakendada jõudu ja anda talle mingisuguses suunas kiirendus, siis kõik kehad selles nõus saavad samasuguse kiirenduse nõu seinte suhtes, kuid ainult vastassuunalise, kusjuures nad surutakse vastu nõu seinu. Iga lugeja võib seda ise enda arvel kontrollida, viibides kiirelt liikuvast liftis. Lifti tõusma hakates, siis, kui ta saab kiirenduse, võib tunda vere valgumist peast jalgade poole. Inimene võib taluda kiirendust ainult piiratud määral. Üldiselt ei tohi see kiirendus ületada viiekordset raskusjõu kiirendust ja võib tõusta kuni kümnekordseks ainult väga lühikesteks ajavahemikudeks.

Lõpuks ei ole veel selge küsimus maapealse elusorganismi olemasolu võimalikkusest kaalu puudumise olukorras. Pikaajaline evolutsiooniprotsess on kujundanud reas meie organites niisugused refleksid, mida raskusjõu puudumisega häiritakse. Siia näiteks kuulub peaaju see osa, mis juhib tasakaalu.

Keha tasakaalu kindlustamisel on väga suur tähtsus vestibulaarsel aparaadil, mis funktsioneerib normaalselt maa-

pealseis elutingimusi. Kaaluta oleku juures lakkab see aparaat normaalselt töötamast ja tasakaalu hoidmine on raske. Kõik, kes on lugenud Jules Verne'i, teavad, missuguste sürpriisideni viib kosmilise laeva reisijaid kaaluta olek. Inimese keha võib sattuda kõige ebatõenäolisematesse asenditesse ja niisuguste ebanormaalsete tingimustega kohanemine nõuab arvatavasti suuri pingutusi.

Kerkivad esile järgmised küsimused: kuidas toimub toitumise ja seedejäätmete kehast väljaheitmise protsess? Millist mõju avaldab kogu organismi lihaste töö vähenemine üldisele organismi tasakaalule?

Neid küsimusi tuleb samuti uurida.

Lõpuks ei ole veel selge, kuidas inimene talub mitmesuguste kosmiliste kiirguste mõju.

Atmosfääri kõrgemates kihtides ja väljaspool atmosfääri satub kosmiline laev nii Päikeselt kui ka tähtedevahelise ruumi avarustest saabuvate kiirguseproduktide mõju alla. Kuni Maani jõuab nende kiirguseproduktide imeväike osa — enamik neelatakse atmosfääri poolt.

Päikeselt väljuvad ultravioletsed kiired, elektromagnetiline kiirgus näiteks erineva kalkusega röntgenikiirte kujul; võib kohata ka elektrone.

Maailmaruumist tungivad päikesesüsteemi kosmilised kiired, mis kujutavad endast mitmesuguseid materialementaarosakesi, samuti mitut liiki mesoonid, mis annavad tunnistust maailmaruumi täitva materia muundumise mingisugustest protsessidest. Teatud arv neist kosmilistest osakestest jõuab kuni Maani. On olemas spetsiaalsed need osakesi loendavad aparaadid, mis registreerivad maapinnani jõudnud kosmilisi osakesi. Milline on aga kõigi nende ülalmainitud kiirguste intensiivsus väljaspool atmosfääri ja kuidas talub neid inimorganism ning millised peavad olema kaitsevahendid — need on praegu veel peaaegu kõik väljaselgitamata küsimused.

Siin tulevad abiks mitmesuguste tuumareaktoritega töötamisel saadud kogemused. On välja selgitatud, missugusel hulgal võib tuumatehnoloogias lubada kiirgust ohutustehnika poolt, on tundma õpitud kaitsevahendeid jne. Kõike seda võib kasutada ka planeetidevahelise ühenduse organiseerimisel.

Need küsimused, mis on seotud kosmilise laeva ruumis orienteerumise ja tema juhtimist kindlustavate seadeldistega, ei kujuta endast loodetavasti ületamatuid raskusi.

Seda järeldame kaasaegsete aparaatide ehituse ja raadio-telejuhtimise silmapaistvaist edusammudest.

Kindel on aga see, et inimene ühel või teisel määral valutab maailmaruumi lähema 50—100 aasta jooksul.

On täiesti võimalik, et NSV Liit — raadio, lennuasjanduse ja olulises osas ka teoreetilise astronautika kodumaa — asub samuti esirinda planeetidevahelises ruumis liiklemise organiseerijana.

SISUKORD

Sissejuhatus	3
Päikesesüsteem	5
Andmed taevamehaanikast	7
Planeetidevaheliste lendude marsruudid	16
Aatomienergia kasutamisest astronautikas	26
Maa kunstlik kaaslane	29
Planeetidevaheliste lendude teostamise tingimused	32

В. В. Добронравов
КОСМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ

На эстонском языке
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маантеэ 10.

*

Toimetaja V. Vaikjärv
Tehniline toimetaja L. Uuspõld
Korrektor Ü. Rattur

Ladumisele antud 28. XI 1956. Trükkimisele antud 5. II 1957. Paber 54×84, 1/16.
Trükipoognaid 2,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 1,84. Arvutuspoog-
naid 1,91. Trükiarv 3000. Tellimise nr. 3481.

Hans Heidemanni nimel. trükikoda, Tartu, Vallikraavi 4.

Hind 70 kop.

70 kop.

A-17346