

Ch. Villmann

**KOSMILISED
LENNUD**

EESEI NSV POLIITILISE JA TEADMISALASE LEVIAMISE ÜHING

2,143935

A-17340 II
256
EESTI NSV POLIITILISTE JA TEADUSALASTE TEADMISTE
LEVITAMISE UHING

Ch. VILLMANN

KOSMILISED LENNUD

Nr. 8 (256)



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1958

KOSMILISED
LEINUD

2

Tartu Riikliku Oikeadi
Raamatukogu

43935

IIDNE, KUID IGAVESTI NOOR UNISTUS

Oleme jõudnud uude ajastusse — kosmiliste lendude ajastusse. Astusime üle selle ajastu paljutootava läve alles üsna hiljuti, 4. oktoobril 1957. a., esimese Maa kunstliku kaaslase lendulaskmisega. Nüüd võivad teadlased asuda küsimuse lahendamisele, millest inimkond on unistanud juba ürgajast alates. Oleks muidugi liialdus väita, et meie kauged esivanemad püüdsid tungida just maailmaruumi kui niisuguse avarustesse. Selleks puudusid neil igasugused teaduslikud arusaamad. Küll aga tegeles nende fantaasia pooleldi ebateadlike otsingutega kättesaamatute kõrguste ja kauguste vallutamise alal. Niisugune igatsus väljendus püüdlustes rebida end Maa küljest lahti ja lennata linnuna Kuule, Päikesele, tähtedele jne.

Vana-Assüüria pealinnast Ninivest Tigrise jõe ääres välja kaevatud raamatukogust, mis kuulus Assüüria valitsejale Assurbanipalile (VII saj. e. m. a.) leiti savist silinder. Sellele silindrile oli graveeritud legend ühe kuninga lennust niisugusele kõrgusele maapinnast, kus ta nägi Maad ümbritsetuna meredest nagu «leivakakku korvipõhjas». Kui kuningas tõusis veel kõrgemale, siis kadus Maa üldse tema silmist.

Üks hiina vana müüt jutustab, et hiinlased on Maale saabunud Kuult. Teises hiina müüdis räägitakse mongolite rännakust taevaletusse, kus nad olevat ehitanud Suure Vankri tähtkuju.

Vana india filosoofiline poem «Bhagavadgite» õpetab filosoofilis-asketliku õpetuse pooldajaile — jogadele, kuidas saab Kuule reisida.

Muistsete kreeklaste arvates asusid taevakehad Maale niivõrd ligidal, et neile oli võimalik sõita kotka seljas. Kreeklaste müüt kõneleb kangelasest Ikarosest, kes kinnitas vaha abil endale külge linnusulgedest valmistatud

tiivad ja lendas Päikesele niivõrd lähedale, et selle kuumus sulatas vaha ära. Tiivad lagunesid, Ikaros langes merre ning uppus.

Kuulsast Makedoonia väejuhist Aleksander Suurest jutustatakse, et ka tema olevat teinud katset lennata tae-



Ikaros koos oma isa Daidalosega tiibu valmistamas

vasse. Selleks olevat ta rakendanud sõjavankri ette näljased greifid (muinasjutulised loomad kotka peaga ja tiivulise lõvi kehaga) ja sidunud nende pea kohale kepi otsa toidu. Greifid, püüdes toitu kätte saada, tõusnud õhku. Lennul kohanud Aleksander lindu, kellel olnud inimese nägu. Viimane teatanud, et sõit taevasse on keelatud. Seejärel katkestanud Aleksander retke ja pöördunud Maale tagasi.

Üks iraani legend räägib printsist, kes teostas puuhobusel retke Päikesele ja sealt tagasi Maale.

Pärsia tuntud poeet Firdausi (935—1020) jutustab ühes

oma poemis šahhist, kes tõusis samal viisil kui Aleksander Suurgi suurele kõrgusele, laskis sealt noole taevasse ja laskus seejärel tagasi maapinnale.

Väga huvitav on müüt legendaarsest Atlantisest. Selles räägitakse, et Atlantise elanikud päästsid endid nende kontinendi hukkumisel erilistel lennuaparaatidel, millistega siirdusid teistele planeetidele.

Pimedast keskajast pole säilinud andmeid, milles oleks räägitud lendudest maailmaruumi. Alles renessansi ajastul tekkis uuesti huvi nimetatud küsimuse vastu. Hakkasid ilmuma kirjanduslikud teosed, milliste fantastilised kangelased lendasid maapinnalt minema. Alates XVII sajandist ilmusid aga sellealaste puht ilukirjanduslike tööde kõrval ka juba mõningad enam-vähem teaduslikust seisukohast lähtuvad kirjutised. 1634. a. avaldati kuulsa astronoomi Johannes Kepleri töö «Unistused». Selles kirjeldab autor Kuud niisugusena, nagu näeks seda vaatleja, kes asub ise Kuu pinnal. Kepler kirjeldab üksikasjaliselt ka Kuu taimestikku ja loomastikku. Kuid Kuule pääsemise võimalusi Kepler siiski ei näe.

Prantsuse kirjanik Cyrano de Bergerac (1619—1655) avaldas ammu enne seda, kui hakati tegelema õhusõiduga, et planeetidevahelisteks lendudeks tuleks kasutada raketti. Sellest ajast peale loobutakse unistustest teostada lende maailmaruumi lindude ja teiste elusolendite abil. Eriti hoogsalt hakati esitama kosmiliste lendude teostamise kõikvõimalikke variante XIX sajandil. Üldtuntuteks sellealasteks kirjanikeks-unistajateks on Jules Verne ja Herbert Wells.

Tõelised teaduslikud alused lendudeks planeetidevahelisse ruumi loodi aga XIX sajandi lõpuaastail ja XX sajandi algul. Vene teadlane-iseõppija Konstantin Tsiolkovski (1857—1935) pühendas kogu oma elu kosmilise ruumi vallutamise ideedele. Tema uurimistööd raketi liikumise seaduste, mitmesuguste kosmiliste laevade projektide väljatöötamise ja liitraketi teooria alal on muutunud kaasaja astronautika põhivaraks. Tsiolkovski ideid arendatakse edasi nii Nõukogude Liidus kui ka väljaspool meie kodumaa piire. Tema järglasteks ja tööde otsesteks jätkajateks olid F. A. Tsander ja I. V. Kondratjuk Nõukogude Liidus, R. Esnault-Pelterie Prantsusmaal, Oberth ja E. Sänger Saksamaal, A. Goddard Ameerika Ühendriikides. Eelpoolnimetatud teadlaste ja paljude teiste kosmi-

liste lendude entusiastide tööde tulemusel hakkas välja kujunema uus teadusharu — astronautika. Astronautika on teadus, mis tegeleb lendudega kosmilises ruumis.

1924. a. läks inimkonna ajalukku kui esimese astronautika probleemidega tegeleva ühingu asutamisaasta. Nii-



K. E. Tsiolkovski

sugune ühing loodi nõukogude teadlaste professor N. A. Rõnini, F. A. Tsanderi ja J. I. Perelmani algatusel. Mõni aasta hiljem (1927) loodi ka Saksamaal taoline organisatsioon. Järgnesid Prantsusmaa (1928. a.), Ameerika Ühendriigid (1930. a.) jne., kuni astronautikale hakati tähelepanu pöörama kogu maailmas. Alates 1950. aastast on pidevalt läbi viidud ülemaailmseid astronautika-alaseid kongresse. Teisel niisugusel kongressil loodi Rahvusvaheline Astronautika Föderatsioon, mille esimeseks esimeheks valiti tuntud saksa teadlane prof. E. Sänger.

Seoses Rahvusvahelise Geofüüsika Aasta (1. juulist

1957 kuni 31. detsembrini 1958) tööprogrammiga tekkis otsene vajadus uurimistööks atmosfääri ülemistes kihtides. Nimetatud ülesande edukaks lahendamiseks asusid paljude maade teadlased ja konstruktorid Maa kunstlike kaaslaste loomisele. Nagu teada, õnnestus Nõukogude Liidu astronautika spetsialistidel saata atmosfääri piirile esimene Maa kunstlik satelliit — uurimislaboratoorium. Sellele hästiõnnestunud katsele järgnesid veelgi julgemad sammud: 3. novembril 1957. a. toimetati orbiidile teine kaaslane koos katseloomaga ja 15. mail 1958. a. lasti välja Nõukogude Liidus järjekorras kolmas Maa kunstlik kaaslane. Viimast iseloomustab tema suur kaal ja ulatuslik uurimistööde programm, mida teostavad kaaslaste pardale paigutatud mitmesugused uurimis- ja mõõteaparaadid. Need praktiliselt seisukohalt eriti väärtuslikud eksperimentid avasid inimesele tee maailmaruumi.

Raske on ülehinnata nõukogude inimeste väsimatut tööd esimeste Maa kunstlike kaaslaste loomisel. Kui võrrelda Nõukogude Liidus ja Ameerika Ühendriikides lendu lastud Maa kunstlikke kaaslast, siis iseloomustab esimesi nende kasuliku koormuse suur kaal. Nii näiteks on meie kolmanda kunstliku kaaslaste kaal 1327 kg, millest 968 kg langeb mitmesugustele uurimisvahenditele. Ameerika Ühendriikides välja lastud esimese ja kolmanda kunstliku kaaslaste kaaluks on 13,6 kg, kuna teine kaaslane, mis lasti lendu 17. märtsil 1958. a. Floriida poolsaarelt, kaalub ainult 1,3 kg. See näitab meie raketitehnika kõrget arengutaset. Kui arvestada asjaolu, et iga grammi lisamine raketi poolt kantavale kasulikule koormusele nõuab tohutult hulgaliselt lisaenergiat, siis selgub, millise teadusliku kangelas-teoga on nõukogude teadus toime tulnud. See energiahulk, mida kulutati Nõukogude kolmanda kunstliku Maa kaaslaste viimiseks orbiidile, oleks võimaldanud juba praegu välja saata niisuguse kosmilise raketi, mis oleks jõudnud Kuuni. Selleks oleks tulnud raketi poolt kantavat kasulikku koormust vähendada mõne kilogrammini. Teaduslikest seisukohtadest lähtudes poleks niisugune lend siiski veel täisväärtuslik. Liiga väike kaasavõetavate uurimisvahendite kogus ei võimaldaks kõiki vajalikke uurimusi läbi viia. Seepärast on kosmilise ruumi vallutamise seisukohalt lähtudes otstarbekam luua esialgu suurema kaaluga kunstlikke kaaslast ja lennutada neid järk-järgult kaugemale. Sellise tee ongi valinud nõukogude teadlased.

TEOREETILISTEST ALUSTEST

Maailmaruumi ehitust uurides selgub, et kõik taeva-kehad alates väikestest meteorsetest kehade kuni gigantsete meie Galaktika taoliste tähesüsteemideni on pidevas liikumises. Planeedid tiirlevad ümber Päikese, mõnede planeetide ümber tiirlevad nende kaaslased — kuud; Päike koos päikesesüsteemi liikmetega liigub ümber Galaktika keskme jne.

Kõik need liikumised on tingitud materia ühest põhiomadusest — ükskõik milliste materiaalse kehade vastastikusest tõmbumisest. Selle materia omaduse avastas kuulus inglise füüsik Newton juba XVII sajandil, nimetades nähtust ülemaailmseks gravitatsiooniks. Ta sõnastas gravitatsiooniseaduse järgmiselt: «Kaks mistahes materiaalet keha tõmbuvad vastastikku tungiga, mis on võrdeline nende kehade masside korrutisega ja pöördvõrdeline nende kehade vahelise kauguse ruuduga.»

Matemaatiliselt võib ülemaailmset gravitatsiooniseadust väljendada valemina

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

kus F tähendab tungi, millega tõmbuvad kehad,

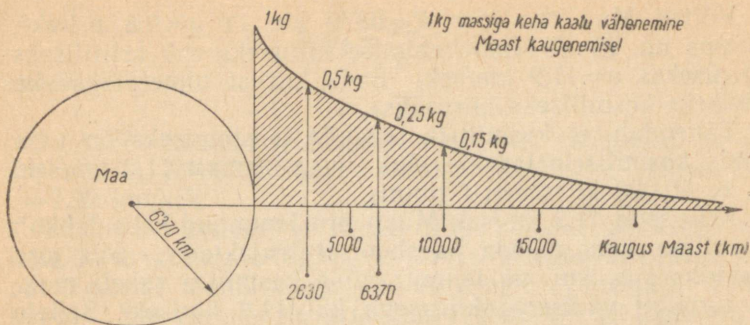
m_1 ja m_2 — kehade masse,

r — kehade vahelist kaugust,

f — nn. gravitatsiooni konstanti, mis on arvuliselt võrdne tungiga, millega tõmbuvad kaks keha kumbki massiga 1 gramm, kui kaugus nende vahel on 1 cm ($F=f = \frac{1}{15\,000\,000}$ düüni).

Gravitatsiooniseaduse järgi mõjub mõlemale kehale ühesugune tung, mis aga annab kehadele erinevad kiirendused sõltuvalt nende kehade massidest. Kui ühe keha mass on tunduvalt suurem teise keha massist, siis väljendub gravitatsioon ainult väiksema massiga keha liikumises. Suurema massiga keha jääb aga praktiliselt liikumatuks (näiteks kivi langemine Maa peale).

Gravitatsioon ongi peamiseks takistuseks kosmiliste lendude teostamisel. Selleks, et lennata Maa pealt minema mõnele teisele taevakehale, peame ületama Maa gravitatsiooni ehk külgetõmbetungi. Seepärast tuleb kosmiliste lendude kavandamisel eelkõige lähtuda gravitatsiooniseadusest.



Maa gravitatsiooni mõju vähenemine Maast kaugenemisel

Asugu kosmiline laev massiga m Maa pinnal, kusjuures Maa mass olgu M ja raadius R . Võib tõestada, et töö, mis on vajalik kosmilise laeva viimiseks Maalt lõpmatusse, on väljendatav valemiga

$$f \frac{mM}{R}.$$

Sama tööhulka võib aga väljendada ka kineetilise energia valemi abil

$$\frac{mv^2}{2},$$

kus m on kosmilise laeva mass, v — kiirus, milline tuleks anda kosmilisele laevale Maalt lõpmatusse lendamiseks. Neid mõlemaid valemid kasutades võiksime kirjutada võrduse

$$\frac{mv^2}{2} = f \frac{mM}{R},$$

mis peale teisendamist võtaks kuju

$$v^2 = \frac{2fM}{R}.$$

Kosmilise laeva kaalu Maa pinnal võime vaadelda kui tungi, millega Maa hoiab laeva enda pinnal, s. t.

$$mg = f \frac{Mm}{R^2}$$

ehk

$$f \frac{M}{R} = gR,$$

kus g on raskuskiirendus.

Võrreldes kahte saadud võrrandit tuleme järeldusele, et vajalik kiirus (õhutakistust arvestamata), millega kosmiline laev peaks lahkuma Maalt, et lennata maailmaruumi, on arvutatav valemist

$$v = \sqrt{2gR}.$$

Võttes Maa raadiuse $R=6370$ km ja $g=9,8$ m/sek², saame nn. Maalt «lahtirebimise kiiruseks ehk kriitiliseks kiiruseks» $v=11,2$ km/sek. Seda kiirust nimetatakse ka «teiseks kosmiliseks kiiruseks».

Tähendab, et kosmiliste lendude teostamiseks on vaja anda kosmilisele laevale algkiirus vähemalt 11,2 km/sek, s. o. 40 000 kilomeetrit tunnis.

Kiirusega 11,2 km/sek Maalt ära lennanud keha lahkub maailmaruumi mööda paraboolset trajektoori. Mis aga juhtuks siis, kui me lennutaksime kosmilise raketi maailmaruumi väiksema kiirusega kui 11,2 km/sek? Sellele küsimusele saame vastuse mehhaanika seadustest.

On tuntud tõsiasi, et ülesvisatud keha langeb maapinnale tagasi. Keha maapinnale tagasilangemine on tingitud Maa ja keha vahelisest külgetõmbest, mis väljendub keha kaaluna.

Kuid on võimalik keha Maalt minema lennutada ka nii, et ta ei langeks enam Maale tagasi, vaid jääks tiirlema ümber viimase nagu Kuugi. Selleks peab kesktõuketung, mis tekib keha liikumisel ümber Maa, olema suuruselt võrdne tiirleva keha kaaluga. Seejuures ei tule asja mõista sugugi nii, et keha kaal, mis on tingitud Maa külgetõmbest, likvideeritakse kesktõuketungi poolt. Kesktõuketung, olles sel juhul keha kaaluga suuruselt võrdne ja suunalt vastupidine, ainult tasakaalustab viimase.

Kesktõuketung on seda suurem, mida suurem on keha ringjoonelisel trajektooriga liikumise kiirus. Nii näiteks moodustab kesktõuketung jalakäija puhul, kes liigub tasasel teel piki maakera suurringi kaart, ainult ühe milligrammi (suurringi all tuleb mõista ringjoont, mis tekib maakera lõikumisel ükskõik millise maakera keskpunkti läbiva tasapinnaga). Jooksmisel suureneb kesktõuketung mitukümmend korda. Kui lennuk lendaks kiirusega 2800 kilomeetrit tunnis, siis moodustaks kesktõuketung 1% lennuki kogukaalust. Arvutame välja kiiruse, mille puhul ringjoonelisel orbiidil ümber Maa liikuva keha kaal ja kesktõuketung oleksid suuruselt võrdsed.

Kesktõuketung on väljendatav valemiga

$$\frac{mv^2}{R},$$

kus m on keha mass, v — keha joonkiirus ja R — ringjoonelise trajektoori raadius. Seega

$$mg = \frac{mv^2}{R},$$

millest

$$v = \sqrt{gR}.$$

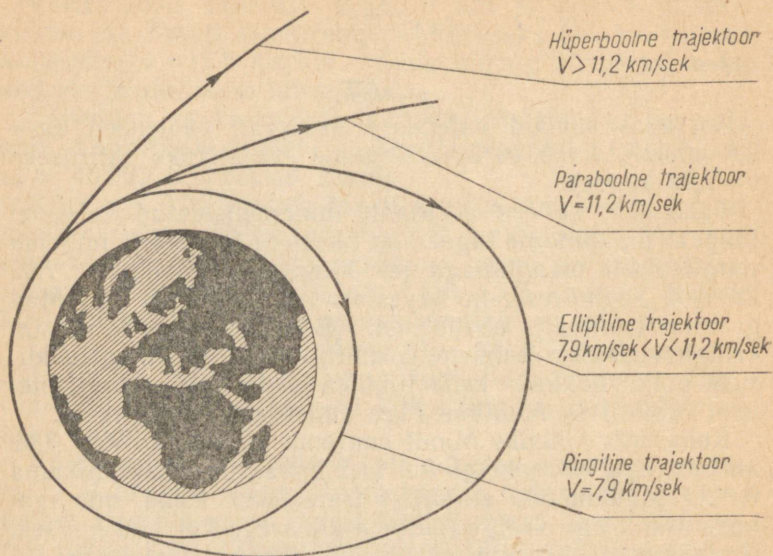
Asetades saadud valemisse vastavad väärtused ($g = 9,8 \text{ m/sek}^2$, $R = 6370 \text{ km}$), saame vajalikuks kiiruseks $v = 7,92 \text{ km/sek}$.

Tähendab, selleks et Maalt minemaheidetud keha ei langeks maapinnale tagasi, on tarvis ta lennutada minema paralleelselt maapinnaga ja kiirusega vähemalt $7,92 \text{ km/sek}$. Seejuures pole arvestatud õhutakistust ega Maa gravitatsioonivälja ebaühtlust. Kiirus $7,92 \text{ km/sek}$ on nn. «ringkiirus» ehk «esimene kosmiline kiirus». Niisuguse kiiruse puhul hakkaks keha liikuma ümber Maa ringjoonelisel orbiidil ja muutuks Maa kunstlikuks kaaslaseks.

Keha, mis lahkuks Maalt suurema kiirusega kui $7,92 \text{ km/sek}$, aga väiksemaga kui $11,2 \text{ km/sek}$, hakkaks liikuma ümber Maa mööda elliptilist trajektoori. Keha, mis lahkuks Maalt aga veelgi suurema kiirusega kui $11,2 \text{ km/sek}$, lendaks maailmaruumi mööda hüperboolset trajektoori.

Tegelikult on olukord siiski keerulisem. Maalt ära lennanud kosmiline laev peab veel kulutama energiat atmosfääri takistuse ületamiseks. Ka tuleb võtta arvesse teiste taevakehade (näit. Päikese, planeetide jne.) gravitatsiooni mõju kosmilise laeva liikumisele. Samuti ei saa mööda minna asjaolust, et Maa pole täiesti kerakujuline ega ühtlase ehitusega, mistõttu ka teda ümbritsev gravitatsiooniväli pole täiesti sümmeetriline. Viimast tingimust tuleb aga eriti arvestada Maa kunstlike kaaslaste loomisel.

Kui kosmiline laev on vabanenud Maa gravitatsiooni mõjust, siis võib ta edasi liikuda inertsitõttu ilma energiat kulutamata. Tuleb ainult valida vajalik trajektoori, et suunduda mõnele teisele planeedile. Jõudes sihtkohana ette nähtud taevakehast teatud kaugusele, satub kosmiline laev viimase gravitatsiooni mõjusfääri ning hakkab nimeetatud taevakeha külgetõmbe mõjul sellele langema. Seejuures suureneb laeva kiirus pidevalt. Maandumiseks on vaja kiirust vähendada, milleks tuleb kulutada energiat. Maale tagasipöördumiseks tuleb taevakehalt äralennul jällegi arendada teatud kiirust. Nii näiteks on selliseks «teiseks kosmiliseks kiiruseks» Kuul $2,4 \text{ km/sek}$, Marsil $5,0 \text{ km/sek}$, Veenusel $10,3 \text{ km/sek}$.

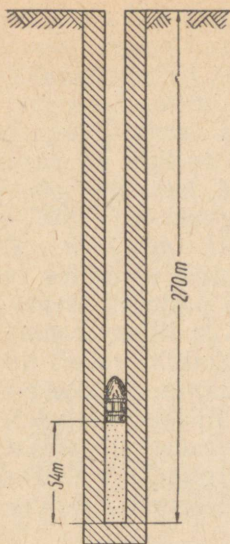


Kosmilise laeva liikumisteed erinevate Maalt äralennu kiiruste puhul

Lennuks Maalt Kuule ja sealt tagasi peab kosmiline laev esiteks saavutama kiiruse 11,2 km/sek (õhutakistust arvestamata), seejärel maandumisel Kuule vähendama kiirust. Kuult äralennuks on vaja kiirust 2,4 km/sek ja maandumiseks Maale peab kiirust jällegi vähendama. Loetletud kiiruste kogusummat nimetatakse iseloomustavaks kiiruseks. Iseloomustav kiirus määrab kindlaks selle energiahulga, mis on vajalik kosmilise teekonna teostamiseks. Konkreetsemalt väljendades — iseloomustav kiirus määrab kindlaks kütusevaru hulga, mis peab olema kosmilise laeva pardal stardimomendil.

TEE EESMÄRGILE

Seoses ülevaatega kosmiliste lendude teoreetilistest alustest on huvitav meenutada kahte kosmiliste lendude projekti, mille loojateks on teaduslik-fantastiliste romaanide autorid. Ühes neist kujutas Jules Verne lendu Kuule suurest kahurist välja lastud mürsu abil. Herbert Wells



Jules Verne'i kava
lennuks Kuule ka-
hurimürsu abil

aga unistas kosmilisest laevast, mis oleks ehitatud fantastilisest ilma kaaluta ainest «kevoriidist». Kuna me teame, et kaal on omane kõigile materiaalsetele kehadele, siis tuleb Wellsi fantaasiasünnitust pidada utopiaks. Samuti on praktiliselt teostamatu lend Kuule kahurimürsu abil.

Käesoleval ajal on kosmiliste lendude teostamisel ainukeseks reaalselt mõeldavaks võimaluseks reaktiivmootoriga varustatud kosmiline raket, mida saab kasutada ka kunstlike kaaslaste orbiidile transportimiseks. Raketi abil on võimalik liigelda nii atmosfääri tingimustes kui ka õhuta ruumis. Raketi liikumine põhineb looduseadusel, mida tuntakse liikumishulga jäävuse seaduse nime all.

Liikumishulk, s. o. liikuva keha massi (m) ja tema kiiruse (v) korrutis (mv) iseloomustab igasugust mehhaanilist liikumist. On teada, et kehade vastastikusel mõju-misel nende üldine liikumishulk ei muutu. Seda tõsiasja tuntakse mehhaanikas liikumishulkade jäävuse seaduse nime all. Kui liikumine toimub sirgjoonel, võib liikumishulka vaadelda kui algebralist (märgiga varustatud) suurst.

Vaatleme näidet kahuriga. Teatavasti tekib laskmisel tagasilöök: mürsk liigub edasi, kahuriraud aga tagasi.

Mürsk ja kahur on kaks vastastikku mõjuvat keha. Kuni lasuni on mürsk ja kahuriraud paigal, nende liikumishulk võrdub nulliga. Kuna mürsk kahurirauast väljudes omab teatud kiirust ja et tal on olemas ka mass, siis omab ta teatud kindlat liikumishulka (mv). Et aga kogu liikumishulk peab jääma võrdseks nulliga ka pärast lasku, siis peab liikuma ka kahuriraud, kuid mürsule vastassuunas. Kahuriraua liikumishulk võrduks sel juhul $-m'v'$ ja kogu süsteemi liikumishulk $mv + (-m'v') = 0$. Kuna kahuriraua mass on mürsu massiga võrreldes tunduvalt suurem, siis hakkab ta liikuma palju väiksema kiirusega.

Samuti nagu kahur hakkab liikuma mürsu liikumisele vastupidises suunas, nii hakkab ka rakett liikuma gaaside väljavoolule vastupidises suunas. Kütuse põlemisel tekkinud gaasid omavad raketi düüsidest väljudes teatud liikumishulka ja seepärast saab rakett niisamasuure liikumishulka, kuid vastupidise märgiga, see tähendab, et rakett saab kiirenduse ja hakkab liikuma gaasimasside liikumisele vastupidises suunas.

Raketi liikumine on siiski palju keerulisem kui vaadeldud näide kahuriga. Kahuriraua mass jääb liikumise kestel muutumatuks, kuid raketi mass väheneb pidevalt kütuse põlemisel tekkinud ja raketist väljuvate gaaside arvel. See asjaolu raskendab raketi kiiruse arvestusi.

Raketi lennukiiruse arvutamiseks (keskkonna takistust ja külgetõmbetungi mitte arvestades) kasutatakse nn. Tsiolkovski valemit:

$$v = u \cdot \ln \frac{M_0}{m_0}.$$

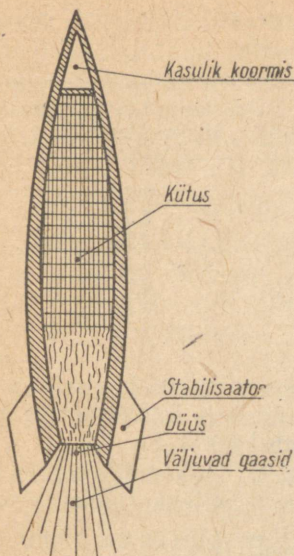
Selles valemis on v raketi kiirus mingil ajamomendil, m_0 — raketi mass koos kütusega samal ajamomendil, M_0 — raketi mass koos küttevaruga algmomendil, millal raketi kiirus võrdus nulliga ja kütust polnud üldse veel kulutatud, u — suhteline kiirus, millega gaasid väljuvad raketist (kiirus raketi korpuse suhtes), \ln — naturaallogaritmimärk.

Tsiolkovski valemit võib teisendada järgmiselt:

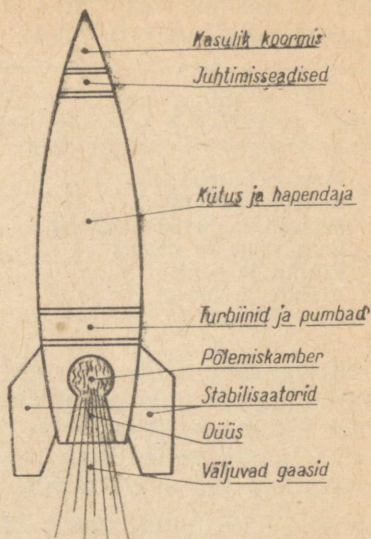
$$v = u(\ln M_0 - \ln m_0),$$

millest nähtub, et raketi kiirus ei kasva proportsionaalselt mitte kütuse kuluga, vaid algmomendi ja järelejäänud kütuse naturaallogaritmide vahega. Teisiti väljendades — gaaside väljavoolu antud kiiruse juures kasvab raketi kiirus aeglasemalt kui vahetu kütuse kulu.

Sellest valemist selgub, et tuhandeid tonne kaaluv rakett võib saavutada ühesuguse kiiruse mõne grammi



Tahe kütusega töötava raketi skeem



Vedela kütusega töötava raketi skeem

raskuse raketiga tingimusel, et suhe $\frac{M_0}{m_0}$ oleks mõlemal raketil ühesugune ja et nad töotaksid ühe ning sama kütusega, s. o. gaaside väljavoolu kiirus peaks mõlemal raketil olema võrdne.

Suhe $\frac{M_0}{m_0}$ näitab, millist kütusetagavara on vaja kaasa võtta, et raketit saavutaks nõutava kiiruse. Kütusetagavara aga sõltub tema omadustest. Gaaside raketist suure kiirusega väljumise korral võib kütusetagavara olla väiksem ja vastupidi — mida aeglasemalt väljuvad gaasid, seda suurem peab olema kütusetagavara.

Tõsiseks raskuseks võib aga siinjuures kujuneda asjaolu, et raketile vajaliku kiiruse andmiseks tuleb kaasa võtta niisugune hulk kütust, mis muudab raketi sedavõrd raskeks, et gaaside väljavoolu antud kiiruse juures raketit isegi ei nihku paigalt. Siit järeldub, et raketis tuleb kasutada kütust, mille põlemisel tekkivad gaasid väljuksid raketist suure kiirusega.

Kaasaegsete keemiliste kütuste põlemisel esinevaid gaa-

stde väljavoolu maksimaalseid teoreetilisi kiirusi iseloomustab alljärgnev tabel:

Kütuse liik	Gaaside väljavoolamise kiirus (km/sek)
Must püssirohi	2,6
Suitsuta püssirohi	3,2
Petrooleum ja lämmastikhape	3,5
Petrooleum ja hapnik	4,4
Piiritus ja hapnik	4,2
Vesinik ja hapnik	5,1

Kuna suuremaid gaaside väljavoolamise kiirusi pole antud kütustega võimalik saavutada, siis tuleks raketi kiiruse tõstmiseks kaasa võtta rohkem kütust.

Vastavate teoreetiliste arvestuste kohaselt võiksime saavutada kui suuri kiirusi tahes. Selleks tuleks ainult suhet $\frac{M_0}{m_0}$ lõpmatult suurendada. Olgu näiteks $u = 4$ km/sek, siis saaksime $\frac{M_0}{m_0} = 100$ korral kiiruseks vastavalt Tsiolkovski valemile 18,4 km/sek. Suhte $\frac{M_0}{m_0}$ suurendamisel kuni 10 000 kasvaks kiirus kuni 36,8 km/sek.

Praktikas on asi siiski palju keerulisem. Toodud näites peaks raketi kaal ilma kütuseta olema ainult 0,01 kuni 0,0001 osa raketi kaalust koos kütusega. On selge, et taolist raketti ehitada pole võimalik, sest kütuse hoidmiseks vajalike paakide kaal kujuneb alati ülalnimetatud vahetult suuremaks. Nii näiteks ületab tsisternis oleva petrooleumi kaal tsisterni enda kaalu ainult 13 korda. Tegelikult pole kaasaegseis raketimootoreis võimalik saavutada palju suuremaid gaaside väljavoolu kiirusi kui $u = 2500$ m/sek. Niisuguse u korral peaks selleks, et raket saavutaks kiiruseks 11,2 km/sek, suhe $\frac{M_0}{m_0} = 90$. Sellist raketti pole aga võimalik ehitada.

Esilekerkinud raskuse ületamiseks andis K. E. Tsiolkovski idee tervest reast lülidest koosneva liitraketi ehitamiseks. Liitraketi eeliseks on võimalus saavutada sama kütusekoguse juures suuremaid lõppkiirusi.

Iga liitraketi lüli on varustatud raketimootoriga ja kütusevaruga. Kui esimene lüli on oma kütuse ära kulu-

tanud, siis eraldub ta raketist. Selleks momendiks on aga raketit saavutanud mingisuguse kiiruse. Kui esimese lüli asemele asub tööle teine, siis lisab see raketile omakorda kiirust juurde jne. kuni viimase lülini, mis annab lõpuks vajaliku kiiruse. Iga tühjakspõlenud lüli eraldumine raketist muudab viimase järjest kergemaks, kusjuures suhe $\frac{M_0}{m_0}$ muutub järelikult suuremaks. Vastavalt Tsiolkovski valemile saavutatakse sel teel raketi suurem lõppkiirus.

Selgub, et vajalike kosmiliste kiiruste saavutamiseks tuleb kasutada nii liitrakette kui ka energiarikkamaid kütuseid, mis annavad suuremaid gaaside väljavoolu kiirusi.

Eelpool vaatlesime raketi liikumist väljaspool gravitatsiooni mõju ja ei arvestanud keskkonna takistust Maa atmosfääri näol. Tegelikult tuleb aga arvestada nii Maa gravitatsiooni kui ka õhu takistust. Maa külgetõmme arvestades tuleks kasutada valemit:

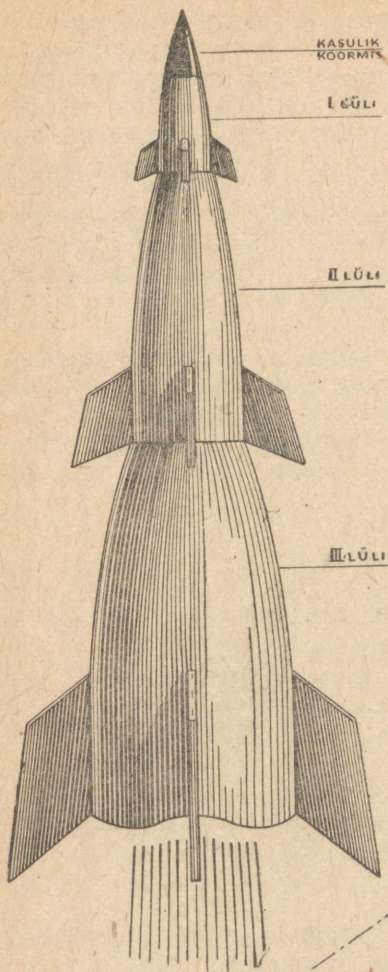
$$\left(\frac{M_0}{m_0}\right)\left(1 - \frac{g}{a}\right) = e^{\frac{v}{u}},$$

kus g on raskuskiirendus (9,8 m/sek), a — nn. raketi enda kiirendus, s. o. $a = a' + g$, kus a' on kiirendus, millega liigub raketit), e — naturaalloogaritmi alus (2,718).

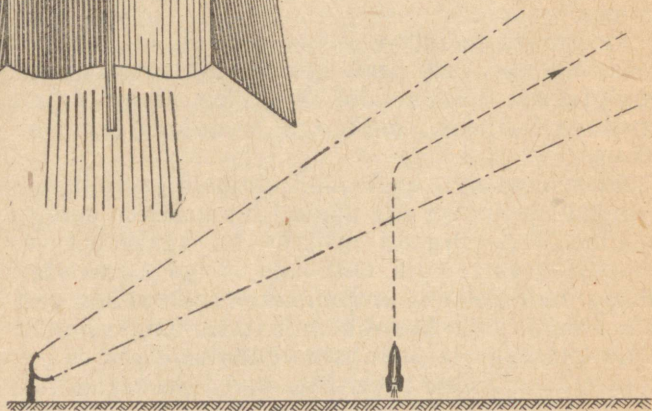
Sellest valemist selgub, et raketi äralennuks Maalt peab raketi enda kiirendus a olema suurem vaba langemise kiirendusest g . Vastasel korral raketit jääb maapinnale paigale.

Keskkonna takistuse ületamiseks on vaja teha omakorda tööd. Selleks aga peab kosmilises laevas olema vastav energiavaru kütuse näol. Ka tuleb arvestada nn. iseloomustavaid kiirusi, mida on mainitud eelmise peatüki lõpus.

Käesoleval ajal on loodud mitmeid kosmiliste raketite projekte, milles on ette nähtud tuumasisese energia rakendamise. Aatomiraketi eeliseks on kaasavõetava kütuse suhteliselt väike hulk. On teada, et iga tuumasisese kütuse ühik annab üle kahe miljoni korra rohkem energiat kui niisama suur ühik ükskõik millist tuntud keemilist kütust. Kuid kaasaegsete tehniliste võimaluste juures on aatomikütuse kasutamine raketites veel kättesaamatu. Peamine raskus seisneb siin asjaolus, et puuduvad ülikõrgetele temperatuuridele ja rõhkudele vastu pidavad metallisula-

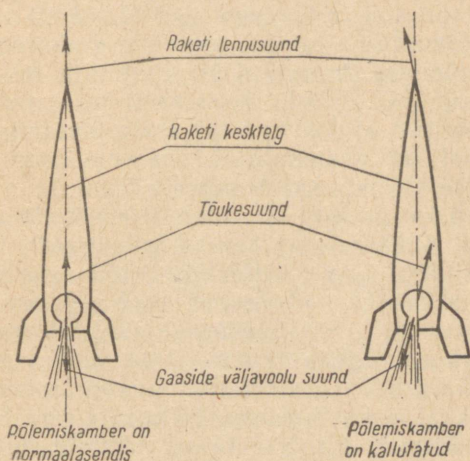


Liitrakett



Raketi juhtimine Maalt raadiotelemeetriiliste seadiste abil

mid, aatomikütuse kasutamisel tekivad põlemiskambris aga väga kõrged temperatuurid ja rõhud. Ka on vaja ette näha efektiivne kaitse raketis olevatele inimestele radioaktiivse kiirguse eest, mis kaasub tuumaenergia eraldumise protsessiga. Tulevikus kujuneb aatomikütus aga kahtlemata kosmiliste laevade peamiseks energiaallikaks.



Raketi liikumissuuna muutmine toimub düüsist väljuvate gaaside väljumissuuna muutmise teel

KOSMILISED VAHEJAAMAD

Ei ole mõeldav, et inimene vallutaks planeetidevahelise ruumi ühekorraga. Selle grandioosse eesmärgi poole tuleb sammuda järk-järgult, üksikute etappide kaupa, kusjuures esimeseks astmeks oleks Maa kunstlike kaaslaste loomine.

Esimesed kunstlikud kaaslased kujutavad endist väikesi automaatselt registreeritavate aparaatidega varustatud kosmilisi uurimisjaamu. Niisuguste jaamade uurimistulemuste abil on võimalik paremini tundma õppida mitmesuguseid geofüüsikalisi nähtusi Maa atmosfääri ülakihtides ja viia läbi neid astronoomilisi vaatlusi, millede teos-

tamine maapinnalt pole võimalik. Pole kahtlust, et kunstlike kaaslaste abil saadud teoreetilised teadmised kui ka praktilised kogemused on väärtuslikuks materjaliks tulevaste kosmiliste laevade ehitamisel.

Järgmised, mõõtmelt juba suuremad ja konstruktsioonilt täiuslikumad kaaslased kujuneksid oma ülesandelt «ümberistumisjaamadeks» maailmaruumi tungimise teel. Niisugustelt otsekui hüppelaua aset täitvatelt vahejaamadelt oleks võimalik palju väiksema energiakuluga lahkuda planeetidevahelisse ruumi kui Maa pinnalt. Põhjus peitub siin kahes asjaolus. Esiteks, kaaslaselt äralennul pole vaja kulutada energiat atmosfääri takistuse ületamiseks ja teiseks — kaaslaselt äralennul ei lähe vaja enam nii suuri «lahtirebimise kiirusi» kui Maalt startimisel.

Kunstlikud kaaslased — kosmilised vahejaamad — tuleks panna liikuma maapinnast niisugusele kõrgusele, kus nende eluiga oleks kindlustatud pikemaks ajavahemikuks. Kuigi atmosfääri tihedus väheneb maapinnalt kõrgemale tõustes väga kiiresti (esimese saja kilomeetri ulatuses iga 16 km kõrguse tõusu puhul umbes 10 korda), mõjub ta ikkagi takistavalt kunstliku kaaslase liikumisele. Viimane hakkab selle takistuse tõttu langema tagasi Maa poole. Alumistesse tihedamatesse õhukihtidesse jõudes hakkab kaaslane suure aerodünaamilise takistuse tõttu kuumenema ja süttib põlema.

Esimeste väljasaadetud kunstlike kaaslaste liikumiste vaatlused võimaldavad teha juba täpsemaid arvutusi kunstlike kaaslaste eluea kohta. Nii näiteks kestaks kaaslane eluiga paar aastakümnet juhul, kui kaaslane orbiidi Maale lähim punkt ehk nn. perigea asuks Maast vähemalt 500 km kaugusel. Kui aga nihutada perigea 800—1000 km kaugusele, siis oleks kaaslane eluiga kindlustatud aastasadeks.

Kosmilise vahejaama orbiit tuleks valida selline, et ta asuks võimalikult ekliptika tasapinnas. Samas tasapinnas liigub ka Maa ümber Päikese. Niisugusel orbiidil liikuvalt kosmiliselt vahejaamalt startinud kosmilise laeva kiirusele liitub Maa orbiidil liikumise kiirus. Nii näiteks piisaks vahejaamalt startimisel Kuule, Veenusele või Marsile lennuks kiirusest 3,1 kuni 3,6 kilomeetrit sekundis, kuna Maalt äralennul peaks see kiirus igal juhul ületama kiiruse 11,2 km/sek.

Kosmilise vahejaama ehitamine peab toimuma Maa peal.

Pärast valmimist lahutatakse see uuesti osadeks ja transporditakse siis osade kaupa orbiidile. Iga osa kujutab endast omaette raketti, mis pärast ülessaatmist suunatakse teiste osadega kokku ja monteeritakse üheks tervikuks. Seejuures saaks kütuse alt vabanenud ja vastavalt sisustatud paake hiljem kasutada eluruumidena, laboratooriumidena, töökodadena jne. Kõikides nendes ruumides tuleks luua kunstlik atmosfäär, kusjuures kogu ehitus peab olema hermeetiline ja takistama õhu lendumist. Ka kõiki tarvilikke eriseadmeid ja varustusmaterjale on kunstlikule kaaslasele — vahejaamale — võimalik kohale toimetada Maa pealt järkhaaval.

Juba on loodud mitmeid projekte kosmiliste vahejaamade ehitamiseks. Enamikus neist on ette nähtud, et kosmilised laevad monteeritakse kokku vahetult kaaslaselvahejaamal Maalt viimasele transporditud üksikosadest. Tingimused lennuks Maalt kosmilisele vahejaamale ja sellelt planeetidevahelisse ruumi on tunduvalt erinevad. Maalt äralennul peab kosmiline laev omama voolujoonelist kuju, sest tal tuleb läbida atmosfäär. Peale selle peavad niisugusel laeval olema võimsad mootorid, mis suudaksid arendada kiirust vähemalt 8 km/sek.

Startimisel kosmiliselt vahejaamalt planeetidevahelisse ruumi pole vajalik, et laev oleks ehitatud voolujoonelise kujuga, kuna tal tuleb põhiliselt liikuda keskkonnata ruumis. Seepärast võib kütusepaagid ehitada kerakujulistena, et vähendada antud mahtuvuse juures paakide kaalu. Väiksema äralennukiiruse tõttu on ka energiakulu palju väiksem — pole vaja teha tööd atmosfääri takistuse ületamiseks. Pealegi on lend planeetidevahelisse ruumi kosmiliselt vahejaamalt palju hädahohtum kui Maalt. Juhul kui raketimootorid lakkaksid pärast starti mingisugusel põhjusel töötamast, ei langeks laev tagasi vahejaamale ega ka Maale, vaid jääks planeetidevahelisse ruumi. Maalt startimisel tooks taoline juhus aga enesega kaasa kosmilise laeva katastroofilise hukkumise.

Mõnede projektide kohaselt kujuneks kosmiline vahejaam pärast vastavat ümberehitamist ise kosmiliseks laevaks.

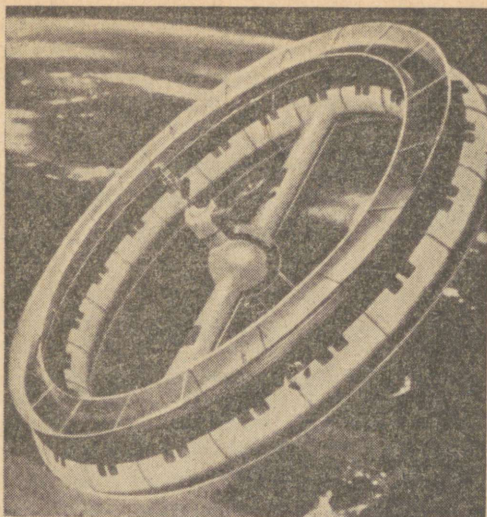
Saksa teadlase W. Brauni projekti järgi on ette nähtud ehitada kosmiline vahejaam rõngakujulisena ja 80-meetrilise läbimõõduga. Niisugune kaaslane pannakse pöörlema ümber oma telje reaktiivmootorite abil. Pöörlemiskiirus

(1 täispööre 12 sekundi jooksul) on valitud selliselt, et selle tagajärjel tekkinud tsentrifugaalkiirendus vastaks maapealsele raskuskiirendusele. Kaaslast teenindav personal koosneb projekti järgi 200—300 inimesest. Kosmilise vahejaama kogukaal ulatub 400 tonnini. Ehitusdetailide orbiidile viimine toimub Brauni ja tema kaastööliste poolt projekteeritud kolmejärguliste liitrakettide abil. Kogu materjali ülesviimiseks kulub 12—13 reisi. Projekti autori arvestuste kohaselt ulatuvad niisuguse kaaslase ehitamisega seotud kulud 4 miljardi dollarini, kusjuures teda võib ehitama hakata juba 10 aasta pärast.

Rõngakujuline kaaslane on seest jaotatud hermeetiliste vaheseinte abil üksikkambriteks, millesse luuakse kunstlik atmosfäär. Ehitusmaterjalina on ette nähtud klaastekstoliit. Personali varustamist toiduainete, vee, hapniku ja muu vajalikuga teostatakse Maalt spetsiaalsete transport-rakettide abil. Peamise energiaallikana loodetakse rakendada elektrienergiat, mida saadakse päikesereflektori, aurukatla ja turbogeneraatori abil.

Hiljuti avaldas Ameerika Ühendriikide ajakirjandus kosmilise vahejaama projekti, mille autoriks on D. C. Romick. Sellesse kosmilisse vahejaama on ette nähtud elamisvõimalused kuni kahekümnele tuhandele inimesele. Samuti kuuluksid tema juurde kosmiliste laevade valmistamise ja remontimise töökojad, angaarid, uurimislaboratooriumid jpm. Projekti kohaselt kujutaks niisugune vahejaam endast väikest, silindrikujulist kosmilist linnakest, mille ühes otsas on 450 m läbimõõduga ratas. Silindri pikkuseks on ette nähtud 900 m ja läbimõõduks 300 m. Ruumide kubatuur ulatuks 85 miljoni kuupmeetriini. Autori arvates kulub niisuguse kosmilise jaama ehitamiseks kolm ja pool aastat. Ehitusdetailide orbiidile transportimise kulu ühe tonni kohta oleks umbes 20 000 dollarit ning reisijatega kosmilise raketi saatmine Maalt vahejaama ja sealt tagasi läheks maksma 50 000 dollarit.

Astronautika-probleemide lahenduste otsingul puututakse kahtlemata kokku küsimusega, et kas Maa loomulik kaaslane Kuu ei kõlbaks vahejaamaks planeetidevahelistel lendudel. Siin tuleb aga märkida, et vähemalt esialgu on ta selleks ebasobiv. Kuna Kuu asub Maast liialt kaugel (384 400 km) ja omab küllaltki suurt massi, siis tuleb tema pinnale maandumiseks ja sealt ära lendami-



W. Brauni Maa kunstliku kaaslase — kosmilise vahejaama projekt

seks kulutada tublisti energiat. Nii näiteks kuluks Marsile lennuks kunstliku vahejaama kasutamisel ja sealt tagasi sõiduks vähem kütust kui Maalt otsekohe Kuule suundumiseks ja temalt Maale tagasilendamiseks. Marsile maandumisel aitab pidurdada atmosfäär (kuigi väga hõre — normaalne atmosfääri rõhk Marsi pinnal on 50 mm aneroidbaromeetri järgi). Kuul aga puudub atmosfäär ja pidurdada tuleb rakettmootorite abil.

Kuud kosmilistel lendudel vahejaamana kasutada oleks mõeldav siis, kui temal leiduks külluses kosmilise laeva tarbeks kõrgeväärtuslikku kütust. Kui leiduks Maale lähedal veel teisi ja massilt väiksemaid loomulikke kaaslasi, tuleksid need muidugi vahejaamadena kõne alla. Selliste kuude olemasolu on mõeldav, kuid nende avastamine on küllaltki raske, sest nad peaksid olema väga väikesed ja liikuma kiiresti ning Maale suhteliselt väga lähedal. Selle suunalisi otsimisi siiski teostatakse uuemate radioastronoomia meetodite abil. Üheks niisuguseks uurimiskeskuseks on Meteoriitide Instituut Ameerika Ühendriikides. Instituuti juhib astronoom C. W. Tombaugh, kes avastas 1930. a. planeet Pluuto.

Kuid kunstlike või loomulike kosmiliste vahejaamade kasutamine planeetidevahelisteks lendudeks pole siiski ilmingimata vajalik lahenduse variant. On olemas projekte, mis näevad ette lende ilma vahemaandumisteta. Nii-suguses olukorras jääb kosmiline laev teatud ajaks Maa kaaslaseks ja asub teele ettenähtud sihtpunkti suunas pärast seda, kui Maalt on abiraketidega saabunud täiendav hulk kütust ja varustust.

KOSMILISED LENNUD

Alljärgnevalt vaatleme üldjoontes, missugused peaksid olema planeetidevaheliste lendude marsruudid taevamehhaanika ja teoreetiliste arvutuste seisukohalt. Seejuures tuleb ära märkida, et igakülgselt kooskõlastatud ja täpselt mehhaanika-, matemaatika- ja astronoomiareeglite põhjal teostatud arvutusprotsessi, mis oleks seotud ühevõrra nii lennu kestuse, trajektoori kuju kui ka kiirusteprogrammi andmetega, ei ole siiani kuskil veel avaldatud. Seepärast on käesolevas kirjutises ära toodud andmed, mis on saadud põhiliselt nn. kahe keha ülesande lahendamise meetodil. See tähendab, et kosmilise laeva liikumist vaadeldakse algul Maa gravitatsiooni ja seejärel näiteks Kuu gravitatsiooni mõju all. Tegelikult tuleks aga arvestada kolme või rohkema keha koosmõju. Nii näiteks mõjutavad kosmilist lendu planeetidevahelises ruumis Maa, Kuu, Päike, planeedid jne. vastavalt marsruudile.

Taevakehade liikumise seadustest ehk nn. taevamehhaanikast ilmneb, et kosmilise laeva liikumise iseloom (trajektoori kuju ja seda mööda liikumise seadus) oleneb kosmilise laeva esialgsest kaugusest (R_0), graviteeriva keha (näit. Maa) keskmest, äralennu kiirusest (V_0), äralennu suunast ja graviteeriva keha (näit. Maa) massist (M).

Võib esineda kolme tüüpi liikumist. Kui $V_0^2 < \frac{2fM}{R_0}$, siis liikumine toimub mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub graviteeriva keha (Maa) massese.

Kui $V_0^2 > \frac{2fM}{R_0}$, siis liikumise trajektoori on hüperbool. Aga kui $V_0^2 = \frac{2fM}{R_0}$, siis liikumise trajektoori kujuneb parabooliks. Neis valemities f on gravitatsiooni konstant.

Mõlemad viimased kõverad ei ole kinnised, s. t. niisugust trajektoori mööda liikuv kosmiline laev eemaldub järk-järgult Maast lõpmatusse, ega pöördu tagasi oma esialgsesse lähtekohta. Seejuures toimub lõpmatusse eemaldumine mööda hüperboolset trajektoori kiiremini kui mööda paraboolset trajektoori. Graviteerivast kehast (näiteks Maast) eemaldumisel väheneb kosmilise laeva kiirus. Selle kiiruse võib ette välja arvutada laeva igasuguse asendi jaoks tema trajektoiril valemil järgi, mis väljendab mehhaanilise energia jäävuse seadust: liikuva keha kineetilise ja potentsiaalse energia summa liikumise protsessis on jääv suurus. Matemaatilisel kujul võiks seda väljendada järgmiselt (kosmilise laeva mass on valemist taandatud):

$$\frac{v^2}{2} - \frac{fM}{R} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{fM}{R_0},$$

kus v on kiirus momendil, kui kosmiline laev on eemaldunud graviteerivast kehast (näit. Maast) kaugusele R .

Olgu kosmilise laeva äralennu kiirus $v_0=11,2$ km/sek ja $R_0=6400$ km, siis võib esitatud valemist arvutada näiteks laeva kiiruse v Maast $R=120\,000$ km kaugusel. Kosmilise laeva kiirus võrdub siis $v=0,63$ km/sek.

Samuti saaks vastavate valemite abil välja arvutada aja, mille jooksul läbitakse üks või teine teeosa.

On täiesti tõenäoline, et esimese kosmilise retke sihtkohaks valitakse Kuu. Kuust lahutavad meid ainult 384 400 kilomeetrit. See on kosmiliste kaugustega võrreldes suhteliselt väike vahemaa. Nii näiteks asub meie naaberplaneet Veenus oma lähiseisu korral Maale sada korda Kuust kaugemal.

Projekte lennuks Kuule on olemas väga mitmeid. Vastavalt sellele, milline on valitud äralennu kiirus (kas siis startimisel Maalt või kosmiliselt vahejaamalt), kujunevad erinevad trajektoorid ja lennuajad.

Kõige väiksema algkiiruse juures, millega kosmiline laev võib veel sattuda Kuu gravitatsiooni mõjusfääri, kestab lennu üks ots viis ööpäeva. Võib välja arvutada ka niisuguse Maalt äralennu kiiruse, mille juures lend ei kestaks üle ühe ööpäeva.

Arvatavasti saadetakse Kuule Maalt raadio abil juhita- vaid kosmilisi rakette enne seda, kui sinna osutub võimalikuks saata inimestega kosmilisi laevu. Need automaatselt tegutsevate aparaatidega kosmilised luurajad peavad raadiosignaali ja televisioonisaadete kaudu andma Maale edasi andmeid olukorrast Kuul.

Nõukogude teadlane J. Hlebtsevitsš on välja töötanud huvitava projekti Kuu uurimiseks niisuguste automaat-

rakettide abil. Tema arvestuste kohaselt võiks taoliste uurimisretkedega algust teha juba aastail 1960—1965.

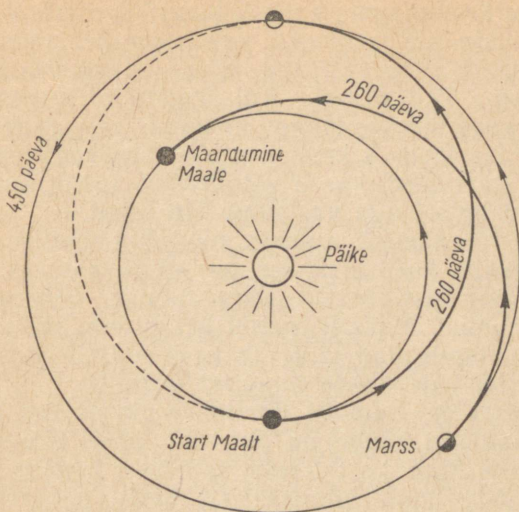
On olemas ka niisuguseid projekte, mis näevad ette meeskonnaga varustatud kosmiliste laevade muutumist Kuu kunstlikeks kaaslasteks. Selliseid retki tuleb pidada energiakulu seisukohalt väga ökonoomseiks eeldusel, et start toimub kosmiliselt vahejaamalt, kusjuures ümber Kuu võib tiirelda kütust kulutamata pikema ajavahemiku vältel. Nii näiteks oleks kosmiliselt vahejaamalt startiva 10-tonnise raketi jaoks, mis muutub Kuu kunstlikuks kaaslasteks, vaja kaasa võtta ainult 12 tonni raketikütust. Sel juhul on gaasi väljavoolu kiiruseks arvestatud 4 km/sek. Maalt startimise korral oleks aga vaja 150 tonni kütust pluss veel see kütusekulu, mis kulub atmosfääri takistuse ületamiseks.

Retk ise toimuks järgmiselt: mõne aja pärast peale starti kosmiliselt vahejaamalt lülitatakse kosmilise laeva mootor välja ja laeva kiirus hakkab vähenema Maa gravitatsiooni mõjul vastavalt eelpoolesitatud valemile. Viie ööpäeva pärast läheneb laev Kuule ja hakkab selle gravitatsiooni mõjusfääri sattununa kiirust suurendama. Mõnekümne kilomeetri kaugusel Kuu pinnast ulatub kiirus juba umbes 2,3 km/sek. Laeva muutmiseks Kuu kunstlikuks kaaslasteks näiteks 10 km kõrgusel Kuu pinnast tuleks läbi viia manööverdus ja kiirust vähendada kuni 1,7 kilomeetrini sekundis (s. o. ringkiiruseni antud kõrgusel). Niisuguselt Kuu kaaslasena tiirlevalt kosmiliselt laevalt (tiirlemisperiood 1 tund ja 50 minutit) on võimalik jälgida Kuu pinda ja isegi palja silmaga eraldada esemeid, mille läbimõõt ei ole alla 3 meetri.

Maale tagasipöördumise eel käivitatakse mootorid, et laev võiks kiiruse suurenemise tagajärjel ringorbiidilt lahkuda.

Niisugustele luurelendudele peaksid järgnema kosmiliste laevade maandumised Kuu pinnale.

Peale Kuu on olemas veel teine taevakeha, mille vastu tuntakse astronautikas erilist huvi. See on meie salapärane kosmiline naaber planeet Marss. Tähelepanu Marsi vastu kasvab seda enam, mida rohkem temast teada saadakse. Kuna see planeet võrreldes teiste planeetidega sarnaneb kõige rohkem Maaga, siis on elu olemasolu küsimus temal paljusid uurijaid köitvaks probleemiks. Sajandite jooksul teadlaste poolt kogutud vaatluste andmed ei ole ikka veel



Lend Marsile

küllaldased, et mõtetevahetust sellel teemal lõpetada. Seepärast on täiesti mõistetav, miks astronautid kavandavad ja otsivad erilise hoolega võimalusi just Marsile ekspeditsiooni saatmiseks.

On välja töötatud mitmeid Marsile lennu projekte — ühed julgemad, teised tagasihoidlikumad. Nii näiteks peab W. Braun võimalikuks saata otsekohe ilma eelneva luureta Marsile 70 inimesest koosneva ekspeditsiooni. Seevastu J. Hlebtsevitši kava kohaselt tuleks eelkõige viia läbi Marsi üksikasjalisem uurimine raadio teel juhitud ja automaatselt töötavate aparaatidega varustatud raketide abil.

Ekspeditsioon Marsile ei ole kerge. Selle teostamine võiks toimuda mööda mitmesuguseid trajektore, mis erinevad üksteisest nii lennu kestuse kui ka vajalike Maalt või kosmiliselt vahejaamalt äralennu kiiruste poolest.

Vaatleme lennu, mis kestaks ühes Maale tagasipöörumisega kaks aastat. Väljumine peaks sel juhul toimuma kosmiliselt vahejaamalt keskööl kohaliku aja järgi, kui Maa keskpunkt asub sirgloigul, mis ühendab vahejaama Päikesega. See moment on soodne startiva raketi ja vahejaama liikumissuundade ühtelangemise tõttu. Seepärast

võib rakett vahejaama enda liikumiskiirust ära kasutades lendu tõusta kiirusega 4,3 km sekundis. Vahetult Maa pealt startimisel peaks aga kiirus niisuguse trajektoori jaoks olema 12,3 km/sek. Kui arvestada kosmilise laeva kaaluks koos meeskonnaga 10 tonni, siis gaaside väljavoolukiiruse jaoks 4 km/sek peaks laev kosmiliselt vahejaamalt startimisel kaasa võtma 19,6 tonni kütust. Maa pealt startimisel aga vastavalt 216 tonni.

Planeetidevahelises ruumis muutub kosmilise laeva kiirus pidevalt, kusjuures see on kõige suurem otsekohe pärast startimist. Maast eemaldumisel väheneb kiirus. Kui laev jõuab Marsist teatud kaugusele, siis möödub ta sellest ja liigub planeetidevahelises ruumis edasi. Marsist möödumisel teostatakse planeedi uurimist.

Ühe aasta möödumisel startimise momendist jõuab laev oma trajektoori kaugeima punktini, mille kaugus võrdub 2,18-kordse Maa ja Päikese vahelise kaugusega (s. o. umbes 320 miljonit kilomeetrit). Selles punktis on laeva kiirus kõige väiksem. Siis hakkab laev liikuma tagasi mööda suletud elliptilist lennujoont, kusjuures kiirus kasvab pidevalt. Täpselt kahe aasta pärast jõuab laev Maale tagasi sama kiirusega kui ta Maalt lahkus. Eelpooltoodud projekti kohaselt pole aga Marsil võimalik maanduda. Maandumiseks tuleks valida teistsugune trajektoor.

Marsile maandumise asemel võiksime maanduda tema kaaslastel. Viimaseid on Marsil kaks — Fobos ja Deimos. Kuna need kaaslastel on meie Kuuga võrreldes väikesed (mõlema läbimõõt on umbes 10 km ümber) ja asuvad planeedile suhteliselt väga lähedal (Fobos 9000 km ja Deimos umbes 23 000 km kaugusel), siis saaks neid kasutada loomulike kosmiliste vahejaamadena. Kosmilise laeva maandumine kaaslastele ja sealt äralend on palju lihtsam kui maandumine ja äralend planeedilt eneselt. Soovi korral võib aga kaaslastelt lennata planeedile abiraketide abil.

Lühim joon, mis ühendab ruumis kahte punkti, on sirge. Kosmilise laeva marsruut aga ei saa üldreeglina olla sirgejoon. Põhjuseks on siin Päikese gravitatsioon, mis kõverdab laeva trajektoore. Muidugi oleks võimalik lennujoont pidevalt õgvendada, kuid sel juhul peaksid laeva reaktiivmootorid lakkamatult töötama ja kütusekulu suureneks.

Lennuks Marsile sirgjoonelise trajektoori mööda kuluks aega 15 ööpäeva. Äärmiselt suure energiakulu tõttu on niisugune trajektoor ebasobiv.

Lend Marsile võiks toimuda ka pool elliptilist trajektoori mööda. Selleks, et kosmiline laev kohtuks Marsiga, tuleb valida sobiv äralennu moment, mis vastaks Maa ja Marsi teatud vastastikusele asendile. Lend Marsile mööda pool elliptilist trajektoori kestab 260 ööpäeva ja tagasi Maale samapalju. Seejuures kestab aga Marsilt sobiva äralennu momendi ootamine 450 ööpäeva. Kogu reis aga vältaks 970 ööpäeva. Selline reis veniks liiga pikaks. Kindlasti püütakse lennuaja lühendamiseks otsida teisi võimalusi, suurema stardikiiruse arvel. Suurema stardikiirusega oleks võimalik lennata mööda parabolset trajektoori ja lühendada seega tunduvalt lennu aega.

Hlebtsevitši programm — alustada Marsi uurimisega Maa pealt raadioteleaparatuuri abil — koosneb kolmest etapist. Kahe esimese etapi jooksul tuleks välja selgitada, kas Marsil on elu. Seda saaks teha Marsil mitte maanduvatelt raketidelt planeedi pildistamise teel spetsiaalsete elektron-teleskoopseadmetega, mis annavad saadud kujutised edasi Maale. Kolmandal etapil maanduks Marsi pinnale Maalt raadio teel juhitud tanklaboratorium. Selle abil teostatakse planeedi pinnal vahetuid uurimusi ja luuakse kontakt planeedi elanikega juhul, kui nad tõepoolest eksisteerivad. Elanike olemasolu korral osutuks inimese lend Marsile märksa kergemaks, sest siis peaks Marsil leiduma niihästi vajalikke toiduaineid — vett, õhku jne. kui ka raketikütust. Marsi elanikega kontakti loomise eesmärgil paigutatakse tanklaboratoriumile manipulaator, mis kordab Maal asuva inimese käeliigutusi ja on varustatud raadiotelefoni ja televisioonisaate- ning -vastuvõtuaparatuuriga. Niisugusest manipulaatorist ja aparaatidest oleks küllalt, et mõista Marsi mõtleivate elanike (kui nad on seal olemas) keelt ja kirja ja anda neile ettekujutust Maa elanike keelest ja kirjast.

Pärast kolme eelpoolnimetatud uurimisetappi ja saadud andmete hoolikat üldistamist võib Hlebtsevitši arvates hakata ette valmistama ekspeditsiooni Marsile juba inimestega. Samal viisil võiks läbi viia ka Veenuse ja teiste planeetide uurimist.

Hlebtsevitši projekti järgi kulub kõigeaks kolmeks etapiks umbes 5000 tonni konstruktsioone ja tavalist raketikütust. Projekti autori arvates võib selliselt lahendada

Marsi saladuse juba 1971. aastaks, s. o. ajaks, mil toimub järgmine Marsi suur vastasseis.

Järgnev tabel iseloomustab lende meie päikesesüsteemi planeetidele. Selles esinevad äralennukiirused ja lennuajad on arvutatud poolelliptiliste trajektooriide jaoks. Poolelliptilise trajektoori eeliseks on võimalus teostada lende väiksema energiakuluga kui paraboolset või hüperboolset trajektoori mööda, kuid see-eest tuleb sihtkohal oodata sobivat momenti Maale tagasipöördumiseks. Nii näiteks on ooteaeg Marsil 450 ja Veenusel 268 ööpäeva.

Lende iseloomustavad suurused	Planeedi nimetus							
	Merkuur	Veenus	Mars	Jupiter	Saturn	Uuran	Neptuun	Pluuto
Minimaalne äralennukiirus Maalt (km/sek)	13,5	11,5	11,6	14,2	15,2	15,9	16,2	16,3
Minimaalne äralennukiirus kaaslaselt — kosmiliselt vahejaamalt (km/sek)	5,6	3,5	3,6	6,3	7,3	8,0	8,2	8,4
Suhe $\frac{M_0}{m_0}$, kui gaaside väljavoolukiirus on 4 km/sek ja start toimub kosmiliselt vahejaamalt	4	2,4	2,5	4,8	6,2	7,3	7,8	8,0
Reisi kestus ühes suunas aastates	0,289	0,400	0,709	2,731	6,048	16,038	30,616	45,490

Nagu tabelist nähtub, kestaks lend kaugematele planeetidele aastakümneid.

Ülaltoodud marsruutide arvestused on koostatud eeldusel, et liikumised mööda trajektoore toimuksid pärast Maa gravitatsiooni mõjust vabanemist Päikese gravitatsiooni mõjul mootorite seistes ja ilma laevale kaasavõetud energiatagavarade kulutamisetä. Tagavaraenergiat kulutatakse peamiselt nende kiiruste saavutamiseks, millest alates toimuks edaspidine liikumine inertsil mõõda

graviteerivat trajektoori. Teatud hulk energiat tuleb ette näha ka lühiajalisteks pilotaažimanöövriteks.

Planeetidevahelisteks lendudeks on võimalik ära kasutada ka mõningaid asteroide ehk väikeplaneete. Need ebakorrapärase kujuga kosmilised kehad, mille mõõtmed ulatuvad mõnesajast meetrist kuni mitmesaja kilomeetrini, liiguvad laia vööndina Marsi ja Jupiteri orbiitide vahelisel alal. Üksikute asteroidide orbiidid on niivõrd väljavenitatatud, et ulatuvad isegi Maa orbiidi lähedusse. Nii näiteks möödub väikeplaneet Hermes Maast ainult kahekordsel Kuu kaugusel.

Maandumisel Hermesele selle lähiseisu korral Maale võivad astronautid jätkata edasist kosmist teekonda ilma igasuguse energiakuluta. Nad jõuavad Marsile järele ja saavad teostada vaatlusi Marsi ja Jupiteri orbiitide vahelisel alal. Hermese uuesti Maale lähenemisel võivad kosmilised rändurid viimasele uuesti tagasi pöörduda.

Esitatud marsruutide projektide kohta ei saa väita, et nad oleksid ainuõiged. Meie teadmised loodusest ja tema seaduspärasustest täienevad päev-päevalt ja seoses sellega võib tulevikus teadlastelt oodata juba täiuslikumaid ettepanekuid.

INIMENE KOSMILISEL LAEVAL

Kosmiliste lendude projekteerimisel on üheks komplitseeritumaks probleemiks inimene, kellele on vaja luua nii kosmilises laevas kui ka vahejaamas normaalseid elufunktsioone kindlustavad tingimused.

Tuleb eelkõige mõelda sellele, et lennul planeetidevahelises ruumis võib kohtumine meteoorsete kehadega põhjustada kas laeva avarii või katastroofilise hukkumise. Kuigi suuremal osal meteoorsetest kehadest on väga väike mass, ei vähenda see veel nende ohtlikkust. Meteooride liikumiskiirus ulatub 50—80 km/sek, mistõttu neil on suur kineetiline energia ja nad võivad kosmilise laevaga kokkupõrkamisel mõjuda kahurimürsuna. Seepärast tuleb laev ehitada niisugusest materjalist, mis peaks vastu väikeste meteooride löökidele. Suuremate meteooridega kohtumist tuleb aga vältida. Selleks peab laev olema varustatud raadiolokatsiooni seadeldistega, mis meteoorse keha lähenemisel muudaksid automaatselt laeva kurssi.

Teiseks inimorganismile väga oluliseks probleemiks on kiirendus, s. t. kiiruse suurenemine või vähenemine, mida inimene suudab taluda ainult teatud piirini. Nii näiteks ei suuda inimene taluda pikema ajavahemiku vältel (üle 10 sekundi) kiirendust, mis ületaks 40—50 m/sek², s. o. 4—5-kordset vaba langemise kiirendust. Niisuguse kiirenduse juures tunneks 80 kg-se kaaluga inimene end 320—400 kg raskusena. Suuremate kiirenduste korral kaotab inimene teadvuse. Nii näiteks elas taolise olukorra üle ameerika piloot Smith. Tema lennukil juhtus 2000 km kõrgusel ja 1250 kilomeetrilise tunnikiiruse juures avariid. Lendur katapulteerus. Atmosfääri pidurdava toime mõjul pidi Smith taluma negatiivset kiirendust 400 m/sek², s. t. ta tundis end 3600 kg raskusena. Smith kaotas teadvuse ja toibus mõne aja pärast haiglas. Ta tervenesis alles seitsme kuu pärast. Selline õnnelik lõpp on aga erandjuhtum, sest tavaliselt on niisugune suur kiirendus surmav.

Kosmilistel lendudel tuleb astronautidel üle elada ka vastupidist olukorda, s. o. kaaluta olekut. Meditsiinilisest seisukohast pole veel küllaldaselt uuritud maapealse elusorganismi olemasolu võimalikkust kaalu puudumise olukorras. Pikaajaline evolutsiooniprotsess on kujundanud meie organites niisugused refleksid, mida raskustunde puudumine häirib. Siia näiteks kuulub peaaju see osa, mis juhib tasakaalu. Seega on tasakaalu hoidmine kaaluta olukorras raskendatud. Samuti pole veel täiesti selge, kuidas funktsioneerib seedetrakt ja vereringe kaalu puudumisel.

Enamikus projektidest on ette nähtud tekitada kosmilistel laevadel kunstlik raskustunne. Selleks pannakse kaaslane-vahejaam või kosmiline laev pöörlema. Pöörlemise tagajärjel tekkinud inertsitõttu surutakse inimene vastu välisseina, mis omakorda loob raskustunde. Kuna sel juhul peab pöörlemisraadius olema küllaltki suur, siis on mõnedes projektides ette nähtud ehitada kosmiline laev kahest omavahel kas trossi või mõnel muul viisil ühendatud osast. Mõlemad laevaosad pannakse sel juhul pöörlema ümber keskpunkti, milline asetseb kuskil nende osade ühendustrossil.

Tuleb ette näha ka kaitsevahendid nii kosmiliste kiirte kui ka Päikese ultravioletse ja röntgenkiirguse bioloogiliselt hävitava toime vastu. Selleks peab kas kosmilise laeva või kaaslane tervikuna muutma kiirgust mitteläbi-



Astronaudi varustus

laskvaks või siis varjama inimest erilise kaitseülikonna abil. Taoliste ja ka kiirendust taluda aitavate kaitseülikondade esialgsete variantide valmistamisele on juba asutud.

Loomulikult tuleb laevas ette näha ka elusorganismi eksisteerimiseks vajaliku toidu, hapniku ja vee tagavarade kaasavõtmise võimalused.

Kosmilises laevas asuv navigatsiooniline aparaat peab kindlustama laeva täpse juhtimise. See raskus on aga loodetavasti ületatav, kui arvestada kaasaegse tehnika edusamme raadiotelejuhtimise osas.

Nagu selgus, seisab kosmiliste lendude realiseerimise teel ees veel küllaltki palju uurimist vajavaid küsimusi. Kuid juba startinud esimesed Maa kunstlikud kaaslased aitavad nende probleemide lahendamisele palju kaasa. Erilist huvi pakuvad seejuures muidugi katseloomade abil

saadud kogemused. Pole aga mingit kahtlust, et varem või hiljem need küsimused lahendatakse ja esimene astronautide ekspeditsioon võib asuda teele.

TULEVIKU RADADEL

Eespool tutvusime kosmiliste lendude võimalustega Maa lähemasse ümbrusse — tema naaberplaneetidele. Kuid kas inimene kunagi tulevikus suudaks tungida ka teiste planeetide süsteemideni väljaspool meie päikesesüsteemi piire — see on paratamatult esilekerkiv küsimus, mille lahendamisel põrgatakse kokku ülikeeruliste probleemidega.

Üheks suureks raskuseks on tohtud kaugused, millistel asuvad teiste planeedisüsteemide päikesed-tähed. Nii näiteks asub Maale lähim täht α Centauri meist 4,3 valgusaasta kaugusel. See tähendab, et valguskiir, mis levib kiirusega 300 000 km/sek, jõuab temalt meieni 4,3 aasta pärast. Üldse on olemas ainult seitse tähte, mis asuvad Maale lähemal kui 10 valgusaastat. Enamik tähtedest on meist tuhandete ja kümnete tuhandete valgusaastate kaugusel. Kui sooviksime näiteks lennata Andromeda udukogu nimetust kandvale naabergalaktikale, siis tuleks meil selle hiiglasliku tähesüsteemini jõudmiseks läbida ligi miljoni valgusaastani ulatuv vahemaa.

Oletame, et inimene suudaks liikuda valguse kiirusele lähedase kiirusega, s. o. ülima kiirusega, mis kaasaegse teaduse arusaamade järgi looduses võib esineda. Siis jõuaks ta kogu oma eluaja jooksul ainult umbes 50—60 valgusaasta kaugusele. Kuid: «... keegi ei rändaks mööda maailma, kui tal ei oleks lootust kunagi sellest jutustada, mida ta nägi», lausub muistne mõttetera. Ja tõepoolest, oleks mõttetu asuda kosmilisele lennule lootmata kunagi jõuda sihile või pöörduda Maale tagasi.

Eespooltoodud arutelu äärmisest kaugusepiirist on siiski liiga pealiskaudne. Tegelikult tuleks siin arvestada veel järgmisi asjaolusid: 1) kosmiline laev, kus lendab kaasa inimene, ei saa valguse kiirusele lähedast kiirust saavutada silmapilkselt, vaid võib paigalseisust liikuma hakates kiirust juurde võtta väga aeglaselt; 2) relativistliku mehhaanika seisukohalt kulgeb aeg liikuvast kosmilisest laevas aeglasemalt kui laeva suhtes paigalseisval Maal. Kuna esimest probleemi on käsitletud juba eespool,

siis tuleks peatuda lähemalt aja kulgemise küsimusel relativistliku mehhaanika seisukohalt.

Üldine relatiivsusteooria, millele rajas alused kuulus füüsik Albert Einstein 1916. a., kujutab endast esmajärjekorras üldistatud gravitatsiooniteooriat, ehk teiste sõnadega — tuntud Newtoni ülemaailmset gravitatsiooniseadust, kuid edasiarendatud kujul.

Newtoni gravitatsiooniseaduses vaadeldakse gravitatsioonitungi momentaanselt mõjuvana ja ei arvestata aega, mis kulub selle levimiseks ruumis. Üldine relatiivsusteooria aga lähtub seisukohast, et gravitatsioonivälja muutused levivad ruumis valguse kiirusega. Järelikult, kui käesoleval hetkel näiteks toimuks Päikesel plahvatus ja Päike lakkaks olemast — iseenesest küll väga fantastiline juhus —, siis kulub teatud aeg, enne kui planeedid tunneksid asetleidnud muudatuse mõju (Maa näiteks alles 8 minuti pärast). Newtoni gravitatsiooniseaduse alusel peaksid planeedid aga momentaanselt tundma niisuguse kolossaalse katastroofi tagajärgi.

Tuleb märkida, et relatiivsusteooria on efektiivselt kehtiv «kosmilistes mastaapides», s. t. suurte kauguste ja valguse kiirusele lähedaste kiiruste maailmas. Meie igapäevase elu «maapealsete kiiruste ja kauguste» juures pole otsest vajadust relatiivsusteooria rakendamiseks, sest nn. klassikaline mehhaanika rahuldab meie tegelikkuse nõudeid küllaldasel määral.

Looduse tõlgendamine relatiivsusteooria alusel toob esile terve rea efekte, mis näivad esimesel pilgul meie kogemustele vasturääkivatena. Üheks niisuguseks efektiks ongi aja kulgemise küsimus liikuvast süsteemis vaadelduna paigalseisva süsteemi taustal. Matemaatilisel kujul võib aegade erinevat kulgemist paigalseisvas ja liikuvast süsteemis väljendada järgmiselt:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

kus t' on aja kulg liikuvast süsteemis, näiteks kosmilisel laeval; t — aja kulg paigalseisvas süsteemis, näiteks Maal; v — liikuva süsteemi (kosmilise laeva) kiirus paigalseisva (Maa) suhtes ja c — valguse kiirus.

Esitatud valemist nähtub, et aeg liikuvast süsteemis kulgeb aeglasemalt kui paigalseivas süsteemis. Vaatleme järgmist näidet. Oletame, et meie kosmiline laev liigub maailmaruumis kiirusega, mis ulatub 0,9999 valguse kiiruseni, s. t. peaaegu valguse kiirusega. Kui sooritame kosmilise laeva ajaarvestuse süsteemis niisuguse kiirusega ühe aasta pikkuse matka maailmaruumi, siis selgub tagasi Maale saabumisel, et Maal on möödunud juba 70 aastat.

Siin pole tegemist mingi matemaatilise fiktsiooniga, vaid reaalse nähtusega. Sama aja jooksul, kui kosmilised rändurid elavad kõigis oma elufunktsioonides üle ainult ühe aasta, näitavad ka laevas asuvad vedrukellad ühe aasta pikkuse ajavahemiku möödumist. Ka radioaktiivsete ainete lagunemise jälgimine kosmilisel laeval näitab samasuguse perioodi möödumist. Selle ajavahemiku vältel teeb aga Maa 70 tiiru ümber Päikese, kusjuures maapealne taime- ja loomariik ning inimkond vananevad 70 aasta võrra.

Tekib küsimus, et kui vaadelda kosmilist laeva liikuvana Maa suhtes, miks ei võiks siis vaadelda Maad liikuvana laeva suhtes. Niisugusel juhul võiks aja kulg olla vastupidine, s. t. et Maal mööduks üks aasta ja laevas 70 aastat. Taoliselt küsimust siiski ei saa püstitada. Põhjus peitub siin asjaolus, et vaadeldud näites pole süsteemid võrdväärtselikud. Ajavahemikul, mille jooksul kosmiline laev teostab oma retke, võime Maad vaadelda inertsiaalse süsteemina, see tähendab, et tema liikumine toimub ühtlaselt inertsiaalselt. Kosmiline laev peab aga vahepeal paratamatult liikuma kiirendusega, sest vastasel korral poleks Maa peale tagasipöördumine võimalik. Seepärast ei saa kosmilisest laevast rääkida kui inertsiaalsest süsteemist. Me võime ainult öelda, et laev lendas minema Maalt ja pöördus sinna tagasi. Vastupidine võimalus, et Maa eemalduks kosmilisest laevast ja pöörduks sellele tagasi, ei tule arvesse.

Kaasaegsete suurimate lennukiiruste juures oleks niisugune «ajavõit» kaduvväike. Nii näiteks erineks 1500-kilomeetrilise tunnikiirusega lendava lennuki kell 10-tunnise sõidu järel maapealsest ajaarvestusest ainult kolme sajamiljondiku sekundi võrra.

Mis puutub kiirenduse küsimusse, siis pole mõeldav, et kosmiline laev hakkaks otsekohe maapinnalt lahkudes

liikuma valguse kiirusele lähedase kiirusega. Seepärast tuleks lende maailmaruumi ka suurte kiiruste puhul vaadelda kui väga aeglaselt kasvava kiirusega lende, sest laeva kiirendus peab olema inimesele talutav.

Kiirenduse arvesse võtmisel võiksime kasutada valemit:

$$t' = \frac{c}{g} \ln \left[\sqrt{\frac{g^2 X^2}{c^4} + \frac{2gX}{c^2} + \left(\frac{gX}{c^2} + 1 \right)} \right],$$

kus t' on aeg, arvestatuna kosmilises laevas, c — valguse kiirus, g — kiirendus, X — lennukaugus.

Eeldame, et lend toimub inimesele kõige mugavamal viisil, s. o. kiirendusega $g = 1000 \text{ cm/sek}^2$ (ligikaudu vaba langemise kiirendusega) ja valime arvutuste lihtsustamiseks pikkusühikuks $L = \frac{c^2}{g} = 9,18 \cdot 10^{17} \text{ cm} = 918 \cdot 10^{10} \text{ km}$ (see pikkusühik vastab ligikaudu 1 valgusaastale, mille pikkuseks on $9,467 \cdot 10^{17} \text{ cm}$). Siis saame arvutada kosmilise laeva nn. «omaaja» sõltuvalt lennukaugusest X . Järgnevas tabelis on toodud andmed mitmesuguste lennukauguste kohta.

X	L	$2L$	$5L$	$10L$	$100L$	$1000L$	$10000L$
t	1,68	2,74	5,72	10,60	97,70	969	9690
t'	1,28	1,71	2,40	2,99	5,14	7,37	9,61

X = lennukaugus,

t = aeg, mis kuluks maapealse vaatleja seisukohalt,

t' = aeg, mis kuluks kosmilise laeva ajaarvestussüsteemis.

Mõlemad ajad on antud aastates.

Tabelist nähtub, et relatiivsusteooria seisukohalt on võimalik ajas saavutada kolossaalset võitu ja seda suuremat, mida kaugemale me lendame. Näiteks kuluks Andromeda udukoguni (kaugus ca 1 miljon valgusaastat) jõudmiseks, kui sõita pool teed kiirendades, teine pool aeglustades, aega 26 aastat. Koos tagasisõiduga kuluks seega aega ligikaudu 52 aastat. Maa peal aga on selle ajaga möödunud kaks miljonit aastat. Kui aga lend toimuks kiirendusega 3 g , kuluks Andromedani sõiduks ainult 9 aastat.

Esitatud teoreetiliste arvestuste õigsust kinnitavad mesonite (mateeria elementaarosakeste) eluea kestuse ja liikumistee pikkuse vaatlused.

Praktikas tekib aga küsimus, kas on üldse võimalik saavutada valguse kiirusele lähedasi kiirusi. Käesoleval ajal näib siin olevat kõige lootustandvamaks võimaluseks aatomituuma füüsika saavutused. Tuleviku tehnikal oleks tarvis saada oma võimusesse aatomiplahvatuste juhtimist, et suunata aatomi purunemisel vabanenud elementaarosakeste voogu. Siis võiks saavutada erakordselt suuri väljavoolu kiirusi ja ühtlasi ka raketi tohutuid kiirusi.

Tähtedevaheliseks kosmiliseks laevaks võiks olla nn. footonraket. Viimane erineb tavalisest raketist selle poolest, et tema düüsidest väljub suunatud footonite voog. Kuigi praegu on raske ette kujutada niisuguse raketi ehitust, kus liikumapaneva jõuna toimib aatomi «suunatud plahvatus», ei tähenda see veel, et sellist raketti poleks üldse võimalik luua.

Sada, sada viiskümmend, kakssada, kakssada viiskümmend, tuhat kilomeetrit sekundis oleks niisuguse kosmilise laeva reisi kiiruseks teekonnal tähtede juurde. Hoovõtt sellise kiiruseni peaks toimuma nii, et kiirendus oleks inimesele talutav. Sellele järgneks teekonna põhiline osa, mille kestel laev tormaks «valguse kannul». Kolmandaks etapiks oleks pidurdamine, mis on vajalik maandumiseks kaugetele kosmilistele kehadele. Kõik kolm etappi kokku aga annaksid triljoneid kilomeetreid lendu.

Footonraketi liikumisseaduste teoreetilisel uurimisel kerkib esialgu esile veel terve rida ületamatuina näivaid raskusi. Põhjus peitub asjaolus, et suurte lennukauguste puhul on vajalik kolossaalset raketi alg- ja lõppmasside suhet. Ühesõnaga — kaugetele taevakehadele lendamiseks tuleks ehitada niisugune raket, mille algmass on väga suur. Sest teekonnal kulutatava energia arvel väheneb raketi mass (energiaallikaks kasutatakse ju materiat, s. t. aatomienergiat), kusjuures raketi lõppmass kujuneb väga väikeseks.

Prantsuse inseneri — astronautika entusiasti R. Esnault-Pelterie sellealased arvutused viivad väga pessimistlikele tulemustele. Juuresolevas tabelis on ära toodud tema arvutustulemused.

X	0,02 L	0,04 L	0,1 L	0,2 L	0,4 L	L	2 L
$\frac{m_0}{M_0}$	0,567	0,450	0,284	0,170	0,0829	0,0213	0,00515

X — lennukaugus, $L = \frac{c^2}{g}$ — kaugusühik, m_0 ja M_0 — raketi lõpp- ja algmass.

Arvutus on läbi viidud eeldusel, et kosmilise laeva kiirendus $g = 1000 \text{ cm/sek}^2$ ja et lend toimub alljärgneva programmi kohaselt: Maalt eemaldutakse kiirendusega, kusjuures pidurdama hakatakse poolel teekonnal. Tagasilennul toimub jällegi esimesel poolel raketi kiirendamine ja teisel poolel pidurdamine, et Maale vigastamatult maanduda.

Meenutame, et kaugusühik L on peaaegu võrdne ühe valgusaastaga. Tabelist nähtub, et juba 1 valgusaasta kaugusele lendamiseks ja sealt Maale tagasipöördumiseks (teekonna kogupikkus on $2L$, s. t. ligikaudu kaks valgusaastat) on vaja raketti, mille algmass ületab lõppmassi ligi 200 korda. Kui arvestada, et lähim täht α Centauri asub ligikaudu $4,5L$ kaugusel, siis selgub, et lend temani ja sealt tagasi Maale on peaaegu võimatu.

Saksa teadlane W. Peschka tuli erirelatiivsusteooria alusel footonraketi liikumise seadusi uurides siiski palju optimistlikumale järeldusele. Tema arvutuste kohaselt on võimalik lennata 25 valgusaasta kaugusele ja sealt uuesti tagasi pöörduda Maale.

Muidugi pole siin kaugeltki veel jõutud lõplikele tulemustele. Pole ju veel täpselt teada relatiivsusteooria kehivuse piiridki. Matemaatikutel, füüsikutel, astronoomidel, keemikutel, konstruktoritel ja teistel teadlastel seisab ees veel hiiglaslik töö, et neid küsimusi lõplikult lahendada ja asuda tähtedevaheliste lendude realiseerimisele.

* * *

Raske on kergitada eesriiet tuleviku eest ja juba ette näha, missuguste edusammudeni jõuab teadus ja tehnika homme, ülehomme, aastasadade pärast. Kindel on aga see, et teaduse arengul pole piire. Seepärast võime oodata maailmaruumi vallutamist inimese poolt ühel või teisel määral juba lähema sajandi jooksul.

Meenutagem siinkohal veelkord Karl Marxi sõnu selle kohta, et inimkond seab enese ette ainult niisuguseid ülesandeid, mida ta on suuteline lahendada. Sellele väitele tuginedes võime teaduse ja tehnika päevakorda võetud kosmiliste lendude ideele vaadata kui peatselt täituvale reaalsusele.

SISUKORD

Iidne, kuid igavesti noor unistus	3
Teoreetilistest alustest	8
Tee eesmärgile	12
Kosmilised vahejaamad	19
Kosmilised lennud	24
Inimene kosmilisel laeval	31
Tuleviku radadel	34

Чарлз Виллманн

КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство

Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja R. M ä g i

Tehniline toimetaja E. L u m e t

Korrektorid M. A m o n ja S. A r o n

Ladumisele antud 24. VII 1958. Trükkimisele antud 24. X 1958. Paber 54×84, 1₁₆.
Trükipoognaid 2,5. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 2,05. Arvutuspoog-
naid 2,06. Trükiarv 5000. MB-07478. Tellimise nr. 1645.

Trükikoda „Pioneer“, Tartu, Kastani 38.

Hind 75 kop.

75 kop.

A-17346
256

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00463740 3