KOHTI TÄHTIÄ

JUHANI WESTMAN — HEIKKI OJA

GUMMERUS

Juhani Westman ja
Heikki Oja
sanovat:

Seikkailu jatkuu!

Kuulentojen aikana huippuunsa kohonnut avaruusinnostus on länsimaissa laskenut viileäksi välinpitämättömyydeksi. Arkipäivän huolten keskellä ihmiset ovat unohtaneet, että kuun saavuttaminen oli vain ensimmäisiä askelia siinä suuressa seikkailussa jonka ihmiskunta on aloittanut. Yhä tärkeämpiä tehtäviä suorittavat maapallon ympärillä tihentyvät satelliittiparvet ja avaruusasemat, yhä kauemaksi maapallosta etenevät ihmisten lähettämät avaruusluotaimet. Kuten amerikkalainen tähtitieteilijä Carl Sagan vastikään totesi, "Olemme aloittaneet melkein huomamatta tutkimusten ja löytöretkien kauden joka vetää vertoja renessanssille. Silloin eurooppalaiset siirtyivät 30 vuodessa läntisen valtameren yli ja saivat ulottuvilleen koko maapallon. Uusi valtameremme on tätä palloa laajempi: se on se ohut levy avaruutta joka sisältää aurinkokuntamme. Uudet maailmamme ovat aurinko, kuu ja planeetat . . ."

KOHTI TÄHTIÄ

JUHANI WESTMAN – HEIKKI OJA

KOHTI TÄHTIÄ

Gummerus · Jyväskylä

Teoksen tekstit ja tekijöiden valokuvat ja viivapiirrokset on lisensoitu avoimella CC BY 4.0 -lisenssillä. Tämän teoksen on julkaissut Helsingin yliopiston kirjasto Gummeruksen luvalla.

DOI: 10.31885/9512010356

Juhani Westmanin kirjoittamat luvut
suomentanut Risto Varteva

Kannen kuvat: NASA
Valokuvat: NASA, APN ja tekijät
Piirroskuvat: tekijät

ISBN 951-20-1035-6

K. J. Gummerus Osakeyhtiön kirjapainossa
Jyväskylässä 1975

Sisällys

ALKUSANAT 9

1. ILMAKEHÄN ULKOPUOLELLE (Westman) 11

Astronautiikka ennen ja nyt 11

Lähtökohtana maa 13

Maan ilmakehä 15

Mistä avaruus alkaa 17

2. NÄYTTÄMÖ (Oja) 19

Planeetat 22

Tähdet 33

3. PELIN SÄÄNNÖT (Oja) 35

Satelliitin nopeus 38

Satelliitin kiertoaika 39

Satelliittiradan häiriöt 40

Siirto radalta toiselle 41

Kuuradat 42

Pakonopeus 43

Siirtoradat planeetoille 44

4. AKTIO JA REAKTIO (Westman) 47

Kovat vaatimukset 47

Raketin periaate 48

Vaiheraketit 52

Kiihtyvyys 52

Raketin perhekuva 54

5. AVARUUSLENNON MOOTTORIT (Westman) 55

Ruutiraketit 56

Hybridiraketit 59

Nesteraketit 60

Rakettien ajoaineet 63

6. TULEVAISUUDEN RAKETIT (Westman) 65

Sähköiset ajojärjestelmät 66

Fotoniraketti 68

Aurinkopurje 69

Vuorovesi-ilmiö ja painovoimalinko 69

Ajojärjestelmien ominaisuudet 71

Avaruusalusten voimanlähteet 72

7. NÄKYMÄTÖN URA (Westman) 74

Luotainraketin ohjaus 74

Suurten avaruusalusten ohjaus 75

Inertiajärjestelmä – lähdön ohjaussysteemi 75

Avaruusmatkojen ohjausjärjestelmät 78

Miehitetyt alukset 78

Ohjauslaitteet 80

Asennonsäätöhäiriöt 84

8. JOKAMIEHEN BAIKONUR (Westman) 85

Pienoisraketit 85

Pienoisrakettimoottorit 86

Lähtöteline ja laukaisulaite 88

Vakavuus eli stabiliteetti 89

Seuranta 90

Kerho- ja kilpailutoiminta 92

9. KAKSI MINUUTTIA JONOSFÄÄRIIN (Westman) 94

Yksinkertaisia raketteja 94

Epäsuorat mittaukset 96

Telemetria 100

Seuranta 102

10. PUTOAMINEN MAAN YMPÄRI (Westman) 103

Maasta avaruuteen 103

Kantoraketit 104

Lähtölaskenta 105

Nousurata 107

Millainen rata valitaan 109

Satelliittien seuranta 110

Satelliitin rakenne 111

Paluu ilmakehään 112

11. KUVIA JA ÄÄNIÄ AVARUUDESTA (Westman) 114

Satelliitit pienten alueiden palvelijoina 116

Sääsatelliitit 117

Navigaationsatelliitit 118

Luonnonvarasatelliitit 119

Sotilaalliset satelliitit 121

Opetusohjelmia satelliiteista 121

Käyttösatelliittien tulevaisuus 122

12. PITKÄ KÄSIVARSI (Oja) 123

Kuuluotaimia 123

Planeettaluotaimia 126

Laukaisuikkunat 131

Luotainten suunnittelun ongelmia 133

13. MAAILMA PIENOISKOSSA (Westman) 138

Kiihtyvyydet 139

Painottomuus 140

Ohjaaja vai tutkija 142

Avaruuden vaarat 143

Avaruuslentäjän koulutus 145

Ilmaa ja ruokaa 146

Elossapitojärjestelmät 147

14. AVARUUDEN LAIVAT (Westman) 150

Vostok – ensimmäinen avaruuskapseli 150

Sojuz – yhteysalus ja avaruuslaboratorio 154

Apollo ja kilpajuoksu Kuuhun 158

Avaruusasemat 163

Avaruussukkulat 166

Planeettainväliset alukset 170

Siirtokuntia avaruudessa 170

15. KAUKAISET TÄHDET (Westman) 172

Toiset auringot 173

Toiset aurinkokunnat 175

Irti aurinkokunnasta 177

Sukupolvien matkat 178

Lähellä valon nopeutta 179

Kutistuva aika 180

Onko siellä ketään 181

Onko meillä käyty 183

AVARUUSSANASTOA 190

Alkusanat

Käsitykset maailmankaikkeudesta ovat viime vuosikymmenten aikana muuttuneet varsin paljon. Maailmankuvamme ei suinkaan vielä ole lopullinen; sitä on jatkuvasti tarkistettava tietojen lisääntyessä. Tietoja ovat omalta osaltaan kartuttaneet avaruuslennot, joiden ansiosta on alettu selvästi tiedostaa, että maapallo on rajallisin resurssein varustettu planeetta.

Avaruustutkimus on antanut tietoja aiemmin tuntemattomista ilmiöistä, jotka vaikuttavat elämän mahdollisuuksiin Maassa. Esimerkiksi van Allenin vyöt antavat aivan uuden kuvan Maan ja Auringon välisistä vuorovaikutuksista. Muiden planeettojen tutkiminen antaa yhä paremmat mahdollisuudet ymmärtää niitä lainalaisuuksia, jotka ovat säädelleet myös maapallon kehitystä.

Avaruustutkimuksen tekniikkaa sovelletaan jo nykyisin monissa toiminnoissa, jotka tarjoavat ihmiskunnalle uusia ulottuvuuksia. Tässä kehityksessä on kuitenkin otettu vasta ensimmäiset askeleet. Viestintä-, sää- ja luonnonvarasatelliittien avulla saamme maapallosta ja ihmisyhteisöstä kokonaiskuvan, joka ilman näitä apuvälineitä luultavasti jäisi saavuttamatta.

Avaruustutkimus kehittyy vauhdikkaasti. Siitä huolimatta sen on noudatettava työmenetelmissään ja tehtävänasettelussaan tiettyjä peruslakeja. Tässä kirjassa olemme pyrkineet esittelemään näiden peruslakien keskeisiä tekijöitä. Koska avaruustutkimuksessa saavutetut tulokset vanhenevat nopeasti, esittämämme esimerkit on valittu lähinnä siten että ne mahdollisimman hyvin havainnollistavat peruslakien käytännön sovellutuksia. Toivomme kirjamme olevan avuksi yhtä hyvin tulevien avaruustapahtumien ymmärtämiselle tähänastisen kehityksen jatkeena kuin jo historiaan kuuluvien tekojen oikealle tulkinnalle.

Juhani Westman

Heikki Oja

Maapallo Apollo-aluksesta valokuvattuna. Maa on avaruuslentojen lähtökohta, mutta samalla myös avaruustoiminnan tärkein tutkimuskohde.

1. Ilmakehän ulkopuolelle

»Ihminen ei ole ikuisesti sidottu maapallolle. Pyrkimys kohti valoa ja avaruutta vie hänet ilmakehän ulkopuolelle, ensin varovaisin askelin, mutta lopulta ihminen on rohkeasti valloittava koko aurinkokunnan.»

K. E. Tsiolkovski (1857–1935)

Astronautiikka ennen ja nyt

Astronautiikka merkitsee sanatarkkana käännöksenä tähtipurjehdusta, mutta vakiintuneen kielenkäytön mukaan sillä tarkoitetaan avaruustoi-
mintaa. Astronautiikan lähtökohtana oli halu tavoittaa muita taivaankap-
paleita sekä tämän toteuttamiseen tarvittavien keinojen pohdiskelu. Ny-
kyisin avaruustutkimus kuuluu jokapäiväiseen elämään. Avaruusalukset
ovat kuin lentokoneet tai valtamerilaivat: kaikki eivät ole niitä nähneet,
mutta silti kaikki tietävät, että niitä on olemassa. Ja jos niistä yhtäkkiä
luovuttaisiin, seuraukset näkyisivät pian myös arkielämässä.

Avaruuslennot olivat aluksi kirjailijoiden aihemateriaalia. Vasta myö-
häisantiikin aikana filosofia – joksi luonnontieteitä silloin sanottiin – oli
tullut siihen tulokseen, että ainakin Aurinko ja Kuu ovat taivaankappalei-
ta, toisia maailmoita. Lukianos Samosatalainen (Samosata on nykyisessä
Turkissa sijaitseva Samsat) kirjoitti ensimmäiset satiiriset kertomukset
avaruuslennoista noin 100 jKr. Jules Verne jatkoi parintuhannen vuoden
pituista perinnettä ivailemalla pohjoisamerikkalaista rynnimishenkeä
vuonna 1865 ilmestyneellä kirjallaan »Matka Kuuhun». Mutta tämän
jatkoksi ilmestyneessä kirjassa »Matka Kuun ympäri» sävy oli jo toinen.
Vernen kuumatkaajat olivatkin vakaita tiedemiehiä, joiden päämääränä
oli tehdä löytöretki avaruuteen. Juuri löytöretkeily ja tutkimustoiminta
onkin sittemmin antanut astronautiikalle vakaan perussäyn.

Jules Verne on yksi avaruustutkimuksen historian virikkeiden antajista.
Vernen kirjojen merkityksen alkusysäyksen antajana omille tutkimuksil-
leen ovat myöntäneet avaruustutkimuksen kolme suurinta teoreetikkoa:
venäläinen Konstantin E. Tsiolkovski, saksalainen Hermann Oberth ja
amerikkalainen Robert H. Goddard.

Kuva 1.1. Tsiolkovskin ehdotus rakettimootorin vauhdittamaksi avaruusaluksiksi. Tsiolkovskin luonnoksessa on useimmat avaruusaluksen olennaisimmista laitteista.

Avaruustutkimus on kaksikymmenluvun lopun alkuvaiheistaan 1970-luvulle saakka edennyt samansuuntaisesti usealla rintamalla. Raketti- ja ohjaustekniikkaa kehitettiin 1930- ja 1940-luvuilla, kunnes 1950-luvulla päästiin sitten niin pitkälle että avaruuteen lähetettiin ensimmäinen Maata kiertävä satelliitti, Sputnik-1, 4. lokakuuta 1957. Ensimmäisen miehitetyn avaruuslennon teki neuvostoliittolainen Juri Gagarin 12. huhtikuuta 1961. Vihdoin 21. heinäkuuta 1969 astuivat amerikkalaiset Neil Armstrong ja Edwin Aldrin Kuun pinnalle.

1970-luvun puoliväliin mennessä on miehittämättömillä avaruusluotaimilla tutkittu jo planeettoja Merkuriuksesta Jupiteriin. Avaruustutkimuksen saavutusten kannoilla on kehitetty myös sovellutuksia. Kuusikymmenluvulla avaruustutkimusta sävytti eräänlainen kilpajuoksu, mutta silti sovellutuksille on alun alkaen ollut ominaista kansainvälinen yhteistyö. Yhdysvaltain ja Neuvostoliiton yhteinen avaruuslento vuoden 1975 kesällä, suunnitelmat kansainvälisestä yhteistyöstä planeettatutkimuksissa samoin kuin jo arkipäivään kuuluva viestintäsatelliittien, sääsatelliittien ja luonnonvarasatelliittien yhteiskäyttö ovat osaltaan osoittaneet, että planeetta Maa todella on koko ihmiskunnan yhteinen asuinsija. Maa on sekä avaruuslentojen lähtöpiste että lopullinen kohde, jossa avaruustutkimuksen tulokset hyödynnetään.

hytti,
läpimitta 2,3 m

huolto-osasto

jarruraketit nopeuden
hidastamiseksi
laskeutumisen alkaessa

Kuva 1.2. Vostok-1, jolla Juri Aleksejevitš Gagarin lensi ensimmäisenä ihmisenä avaruudessa 12. huhtikuuta 1961. Gagarin lensi yhden kierroksen maapallon ympäri ja lento kesti 108 minuuttia. Alus on yleensä esitetty kiinnitettynä kantoraketin kolmanteen vaiheeseen. Kuvassa alus on kolmannen vaiheen irrottamisen jälkeen, kuten avaruuslennon aikana. Aluksen massa on 4725 kg, josta hytin osuus on noin 2100 kg.

Lähtökohtana Maa

Ihmiskunnan koti on Maa, Auringosta lukien kolmas planeetta. Maasta lähtevän avaruusaluksen on ensin voitettava Maan painovoima ja ilmakehän aiheuttama vastus. Sitä mukaa, kun opitaan paremmin tuntemaan muita taivaankappaleita, opitaan enemmän myös omasta planeetastamme ja siitä, miksi se on juuri sellainen jollaiseksi se on kehittynyt. Kymmenen

Kuva 1.3. Maapallon rakenne keskustasta lukien. Kiinteä ydin, säde 1 216 km. Rajakerros, paksuus 500 km. Nestemäinen ulompi ydin, paksuus 1 700 km. Kiinteä vaippa, paksuus 2 900 km. Maankuori, paksuus 10–40 km.

viime vuoden aikana maapallon tuntemus on edennyt suurin harppauksin ja nimenomaan avaruustutkimuksen ansiosta.

Maapallon rakenteen pääosat ovat *kuori*, *vaippa* ja *ydin* (kuva 1.3). Vaipassa esiintyy hitaita virtauksia, jotka aiheuttavat myös maankuoressa muutoksia. Ilmiötä sanotaan *mannerten liikkumiseksi*: mantereet ajelehtivat kuin suuret lautat. Kuva 1.4 osoittaa, miten ylöspäin suuntautuva virtaus työntää Afrikkaa ja Etelä-Amerikkaa poispäin toisistaan. Kun virtaukset reunoiltaan törmäävät yhteen ja syntyvät jännitykset äkkiä laukeavat, on seurauksena maanjäristys. Maanjäristyksissä syntyvien seismisten aaltojen etenemistä tutkimalla on voitu selvittää maapallon sisäosien rakenne, koska aaltojen etenemisnopeus riippuu niiden läpäisemän aineen ominaisuuksista. Samoin menetelmin on tutkittu myös Kuun sisäosien rakennet-

Kuva 1.4. Mannerten liikkuminen. Kuvassa on Etelä-Amerikan mannerlaatta. Lännessä se kohtaa eteläisen Tyynen meren laatan, joka työntyy Andien alle. Laattojen törmäyskohdassa esiintyy tulivuorenpurkauksia ja näillä alueilla on myös malmikerrostumia. Idässä on Atlantin selänne, missä ylöspäin suuntautuvat virtaukset luovat uutta merenpohjaa. Mantereen reunalle kerääntyvässä sedimentissä on suolakasautumia ja öljyä.

ta, joka näyttää poikkeavan Maan rakenteesta. Tällä tavoin tulevaisuudessa tutkitaan myös muita planeettoja.

Maapallon sula ydin on todennäköisesti raudan ja nikkelin seosta. Maapallon mukana sekin pyörii suhteellisen nopeasti ja aiheuttaa voimakkaan magneettikentän, jonka vaikutus ulottuu ympäröivään avaruuteen useiden Maan säteiden etäisyydelle.

Maan ilmakehä

Lähes kaikkia aurinkokunnan suurimpia taivaankappaleita ympäröi kaasujen muodostama ilmakehä, *atmosfääri*. Maapallolla on ilmakehän lisäksi myös vesikehä, *hydrosfääri*, johon kuuluvat valtameret ja muut vesistöt. Atmosfäärin ja hydrosfäärin olemassaolo riippuu siitä, miten etäällä taivaankappale on Auringosta, josta tulevan säteilyn voimakkuus ratkaisee taivaankappaleen lämpötilan. Maan pinnalla versonut elämä on osaltaan muuttanut ilmakehän koostumusta. Ilmakehän kaasuista on happea 21 prosenttia. Määrä pysyy jatkuvasti samana, koska merien levät ja maalla kasvavat viherkasvit tuottavat lisää happea, joka korvaa palamiseen ym. kuluneen hapen. Venuksen ja Marsin ilmakehässä on suhteellisen paljon

Kuva 1.5. Magnetosfääri. Aurinkotuulen törmäminen Maan magneettikenttään synnyttää sysäysaallon (1), jonka taakse muodostuu pyörteinen kerros (2). Magneto-
paussi (3) muodostaa magneettikentän rajan. Maan magneettikenttä vangitsee aurinkotuulen hiukkasia, jotka magneettikentässä liikkueessaan muodostavat säteilyvöitä (4). Auringosta poispäin olevalla yöpuolella aurinkotuuli venyttää Maan magneettikentän pitkäksi hännäksi (5), jonka avaruusalueet ovat todenneen ulottuvan miljoonan kilometrin etäisyydelle. Kuvan mitoista saa jonkinlaisen käsityksen muistamalla, että maapallon säde $R_E = 6\,370$ km.

hiilidioksidia. Valtaosa Maan ilmakehästä, 78 %, on kuitenkin typpeä, joka sekin on luultavasti peräisin maapallolla vallinneesta elämästä.

Maapallon ilmakehässä on useita kerroksia. *Troposfääri* ulottuu maanpinnalta noin 12 kilometrin korkeuteen, korkeusvälillä 12–65 kilometriä on *stratosfääri*, sen jälkeen tulee *jonosfääri* (65–400 km) ja viimeisenä 400 kilometristä ylöspäin *eksofääri*. Säätila ja säämuutokset riippuvat troposfäärin olosuhteista.

Stratosfäärissä on 30–45 kilometrin korkeudessa runsaasti otsonia, johon Auringosta tuleva ultraviolettisäteily imeytyy niin ettei siitä pääse kuin pieni osa maanpintaan saakka.

Jonosfäärin nimi johtuu jonisoituneista kerrostumista, joiden radioaaltoja heijastavat ominaisuudet mahdollistavat pitkän matkan radioyhteydet lyhyillä, keskipitkillä ja pitkällä aalloilla.

Pisimmälle avaruuteen ulottuu Maan magneettikentän muodostama *magnetosfääri*. Kuva 1.5 osoittaa miten Auringosta peräisin oleva hiukkas-

virta, aurinkotuuli, käyttäytyy Maan magneettikentässä. Maan magneettikenttä myös sieppaa osan näistä hiukkasista ja keskittää niitä Maata ympäröiviin säteilyvyöhykkeisiin. Maapallon Auringon puoleisella laidalla magnetosfäärin raja on 70 000 kilometrin etäisyydellä, kun taas pimeällä puolella se ulottuu lähes miljoonan kilometrin päähän. Tämä on myös suurin piirtein se osa Maata ympäröivästä avaruudesta, jota sanotaan *cislunaariseksi avaruudeksi*. Cislunaarinen avaruus tarkoittaa sananmukaisesti Kuun alista avaruutta.

Mistä avaruus alkaa

Kun Juri Gagarin teki ihmiskunnan historian ensimmäisen avaruuslennon, hän käväisi hieman yli 300 kilometrin korkeudessa. Jonkun fyysikon mielestä tämä on ehkä vasta ilmakehän kiintoisaa keskialuetta, ei vielä varsinaista avaruutta. Mutta Gagarin ei kuitenkaan olisi huomannut mitään täysin tyhjistä avaruudesta poikkeavaa, jos hän olisi avannut aluksensa luukun. Avaruuden alkamispaikkeen määrittely ei ole helppoa.

Jo 15 kilometrin korkeudessa ilmanpaine on niin pieni, että ihmisen veri alkaa kiehua. Tämäkin korkeus edellyttäisi jo avaruuspukua aivan samaan tapaan kuin kaukana avaruudessa.

Ympäröivän ilmakehän lämpötila ei vaikuta enää 70 kilometrin korkeudella aluksen lämpötilaan, ellei aluksen vauhti ole niin suuri, että kitka alkaa kuumentaa sitä. Muussa tapauksessa lämpötila riippuu ainoastaan siitä, miten paljon alukseen imeytyy säteilyä ja miten paljon se säteilee lämpöä pois. Tilanne on tässä mielessä aivan sama kuin tyhjässä avaruudessa. Tällä korkeudella ilma on myös niin ohutta, ettei se enää pysty kuljettamaan ääniaaltoja. Hiljaisuus on yhtä täydellinen kuin kaukana avaruudessa.

Valo ei enää siroa ilmakehässä 120 kilometrin korkeudella. Tästä johtuu, että taivas ei ole sininen vaan avaruusmaisen sysimusta. Ilmakehään syöksyvät avaruusalukset ja meteorit alkavat kuumentua hehkuviksi tällä korkeudella. Avaruusteknikot eivät ehkä osaa sanoa, mistä avaruus alkaa, mutta ainakin se loppuu 120 kilometrin korkeuteen.

Noin 180 kilometrin korkeudessa lentävä satelliitti pysyy Maata kiertävällä radalla muutamia päiviä. Lentoaika pitenee kymmeniin vuosiin siirryttäessä yli 300 kilometrin korkeuteen, missä ilmakehän jarrutus on jo hyvin vähäistä.

Jos avaruuden rajaksi otettaisiin Maan magneettikenttä, avaruus alkaisi

vasta kymmenien tuhansien kilometrien päässä. Maan painovoimakenttä ulottuu periaatteessa äärettömän pitkälle, mutta käytännössä sen vaikutusta Auringon painovoimakentän rinnalla ei havaita enää noin miljoonan kilometrin etäisyydellä. Vasta tätä pitemmälle mentäessä voidaan avaruusaluksen sanoa olevan *planeettainvälisessä* avaruudessa.

2. Näyttämö

Ennen kuin pystymme ymmärtämään maapallon aseman aurinkokunnassamme ja seuraamaan muiden planeettojen tutkimista avaruusluotaimilla, meidän on vilkaistava tapahtumien näyttämöä.

Aurinkokuntamme koostuu yhdestä valtavasta, hehkuvasta kaasupallostta, Auringosta ja yhdeksästä sitä kiertävästä planeetasta ja niiden kuista sekä lähes lukemattomista planeetoideista, komeetoista, meteoroideista ja pölyhiukkasista. Aurinkoa kiertävien kappaleiden välissä ja ulkopuolella leviää suunnaton, autio avaruus, jota risteilevät Auringosta tuleva säteily ja hiukkaset ja johon eksyy myös aurinkokuntamme ulkopuolelta tulevia atomeja ja molekyylejä.

Melkein kaikki aurinkokunnan massa on keskustähdessä, jonka rinnalla planeetat ovat jokseenkin mitättömiä kappaleita. Auringon hehkuvan pät-sin vastapainona ne kuitenkin muodostavat olosuhteiltaan kohtuullisen ympäristön, niin että ainakin yhden planeetan pinnalla on kehittynyt elämää.

Keskustähtemme *Aurinko* on 1,4 miljoonan kilometrin läpimittainen kaasupallo, joka koostuu lähes kokonaan keveimmistä alkuaineista, vedystä ja heliumista. Auringon keskuksessa, jossa vallitsee noin 10 miljoonan asteen lämpötila, tapahtuu jatkuvasti lämpöydinreaktioita: keveät alkuaineet yhtyvät raskaammiksi ja vapauttavat samalla energiaa. Tämä energia kulkeutuu Auringon pinnalle ja säteilee avaruuteen. Auringosta poispäin kiitävästä säteilystä maapallo sieppaa itselleen mitättömän pienen murto-osan, joka on kuitenkin tarpeeksi suuri pitämään yllä kaiken toiminnan Maan päällä. Ilman Auringon antamaa energiaa planeetat olisivat jäisiä, kuolleita taivaankappaleita.

Auringon pinnassa tapahtuu monenlaisia ilmiöitä, jotka auttavat tähtitieteilijää ymmärtämään Auringon ja muiden tähtien rakennetta ja historiaa. *Auringonpilkut* ovat vähän muuta pintaa kylmempiä alueita, jotka näyttävät tummilta täpliltä. Niiden runsaus samoin kuin Auringon muukin aktiivisuus vaihtelee 11 vuoden jaksoissa. Seuraava maksimikohta sattuu vuoden 1982 paikkeille.

Pilkkujen lisäksi Auringon pinnassa esiintyy mahtavia kaasupurkauksia, *protuberansseja*, sekä voimakkaita säteilypurkauksia, jotka ovat englannin kielen mukaan saaneet nimen *flare*. Niiden aikana avaruuteen sinkoutuu

Kuva 2.1. Aurinko röntgenvalossa. Kuvan otti Yhdysvaltain Skylab-avaruusasema v. 1973. Kirkkaat kohdat lähettävät voimakasta röntgensäteilyä, tummat ovat rauhallisia. (Kuva G. Vaiana, American Science and Engineering.)

röntgen-, ultravioletti- ja radiosäteilyn lisäksi nopeita elektroneja ja protoneja, jotka kaikki lyhyen ajan kuluttua havaitaan maapallollakin erilaisina häiriöinä.

Hetkellisten purkausten lisäksi Aurinko lähettää keskeytymättömänä virtana avaruuteen hiukkasia, pääasiassa elektroneja ja protoneja, joiden vuota sanotaan *aurinkotuuleksi*. Aurinkotuulen hiukkaset etenevät pitkin planeettainvälisen magneettikentän voimaviivoja, jotka lähtevät Auringosta ja etenevät spiraalimaisesti avaruuteen.

Ennen kuin siirrytään kuvaamaan planeettoja ja niiden kuita, tarkastellaan muita interplanetaarisen (planeettainvälisen) avaruuden kulkijoita.

Näistä suurimpia ovat *planetoidit*, joita sanotaan myös pikkuplaneetoiksi tai asteroideiksi. Ne ovat Aurinkoa kiertäviä erimuotoisia kallionlohkareita, joiden läpimitta vaihtelee muutamasta sadasta kilometristä alaspäin. Useimpien planetoidien rata on Marsin ja Jupiterin välissä sijaitsevalla vyöhykkeellä, mutta monet käyvät kierroksellaan Jupiterin takana tai Maan radan sisäpuolella.

Planetoideja pienempiä kivenlohkareita sanotaan *meteoroidiksi*. Jos meteoroidi osuu Maan ilmakehään, se nähdään *meteorina* eli tähdenlentonä. Jos kivenlohkare selviytyy Maan pinnalle asti ja otetaan talteen, sitä sanotaan *meteoritiksi*. Monta nimeä samalla kivenpalasella! Meteoroidia pienempiä hiekka- ja pölyhiukkasia sanotaan taas *mikrometeoroidiksi*. Avaruudessa on hyvin vähän suuria kallionjärkeitä, mutta sitä enemmän kiviä ja pölyhiukkasia, mitä pienempään kokoon mennään.

Pyrstötähdet eli komeetat ovat muutaman kilometrin läpimittaisia jääpallot, jossa seassa on hiekan- ja kivenpalasia. Komeetat ovat useimmiten hyvin pitkulaisilla ellipsiradoilla, joten ne tekevät vain pikavierailun Auringon lähelle ja poistuvat taas tuhansiksi vuosiksi kauas tähtienväliseen tyhjyyteen. Auringon lähellä säteily sulattaa komeetasta kaasuja ja irrottaa pölyä, jotka ajautuvat pitkäksi pyrstöksi.

	Keskimääräinen säde (km)	Massa (Maan = 1)	Tiheys (g/cm ³)	Pyörähdysaika	Päiväntasojen kaltevuus ratatasoon nähden (astetta)	Tunnettujen kuiten lukumäärä
Aurinko	696 000	333 000	1,41	25,4 vrk		
Kuu	1 735	0,0123	3,34	27,3 vrk		
Merkurius	2 440	0,055	5,4	58,7 vrk	0	0
Venus	6 050	0,805	5,2	243,0 vrk	178	0
Maa	6 370	1,000	5,52	23 t 56 min	23	1
Mars	3 385	0,106	3,9	24 t 37 min	25	2
Jupiter	69 500	314,0	1,3	9 t 55 min	3	14
Saturnus	56 750	94,0	0,7	10 t 14 min	27	10 + renk.
Uranus	24 000	14,5	1,5	10 t 50 min	98	5
Neptunus	24 000	17,0	1,7	15 t 50 min	29	2
Pluto	n. 3 200	n. 0,11	n. 5	6,4 vrk	> 50?	0

Taulukko 2.1. Aurinko, Kuu ja planeetat. Varsinkin ulkoplaneettoja koskevat arvot voivat olla epätarkkoja, koska planeettoja on suuren etäisyyden takia hyvin vaikea havainnoida Maasta.

	Keskietäisyys (au)	Kiertoaika (v)	Nopeus (km/s)	Eksentrisyys	Radan kaltevuus (astetta)
Merkurius	0,39	0,24	47,9	0,206	7,0
Venus	0,72	0,62	35,0	0,007	3,5
Maa	1,00	1,00	29,8	0,017	—
Mars	1,52	1,88	24,1	0,093	1,8
Jupiter	5,20	11,9	13,1	0,048	1,3
Saturnus	9,54	29,4	9,7	0,056	2,5
Uranus	19,2	84	6,8	0,047	0,8
Neptunus	30,1	165	5,4	0,009	1,8
Pluto	39,4	247	4,7	0,248	17,1

	Keskietäisyys (km)	Kiertoaika (vrk)	Nopeus (km/s)	Eksentrisyys	Radan kaltevuus ekliptikaa vasten
Kuu	384 400	27,3	1,0	0,055	5°

Taulukko 2.2. Planeettojen rata Auringon ympäri ja Kuun rata Maan ympäri. Planeettojen keskietäisyyden yksikkönä on Maan radan säde (1 au = 149,6 milj. km). Eksentrisyys tarkoittaa rataellipsin soikeutta. Se voidaan määrittellä esimerkiksi periheli- ja keskietäisyyden avulla: $\text{eksentrisyys} = 1 - (\text{perihelietäisyys} / \text{keskietäisyys})$.

Planeetat

Aurinkoa kiertää yhdeksän isoa taivaankappaletta, jotka ovat saaneet nimen *planeetta* eli kiertotähti. Niiden keskinäinen suuruus näkyy kuvasta 2.2 ja ratojen etäisyys Auringosta kuvasta 2.3. Vaikka sisimpien planeettojen välimatkat ovat jo kymmeniä miljoonia kilometrejä, ne ovat pieniä hyppäyksiä verrattuina etäisyyksiin ulkoplaneetoille.

[Planeettakunnan jäsenten tarkemmat mitat ja ratatiedot annetaan taulukoissa 2.1. ja 2.2.]

Planeetat jakautuvat ominaisuuksiltaan selvästi kahteen ryhmään. *Sisäplaneetat* ovat Maan kaltaisia, suhteellisen pieniä ja tiheitä. Niissä on runsaasti raskaita alkuaineita, selvä kiinteä pinta ja melko vaatimaton kaasukehä. Auringon läheisyydestä johtuen lämpötila pinnalla on melko korkea. *Ulkoplaneetat* ovat kooltaan paljon suurempia ja koostuvat keveistä alkuaineista. Niissä on mahtava kaasukehä ja ehkei kiinteää pintaa lainkaan. Uloin kiertotähti Pluto on mitoiltaan sisäplaneettojen kaltainen.

Useimmilla planeetoilla on yksi tai useampia *kuita*. Niistä suurimmat ovat Merkuriusta kookkaampia ja pienimmät ovat muutaman kymmenen

Kuva 2.2. Auringon ja planeettojen suhteellinen läpimitta.

kilometrin läpimittaisia kallionlohkareita. Ulkoplaneettojen ympärillä on luultavasti vieläkin pienempiä kuita, mutta niitä ei maapallolta ole pystytty näkemään. Kuten meidän Kuumme, kaikkien muidenkin planeettojen kiertolaiset näyttävät kääntävän aina saman puolen emäplaneettaansa kohti.

Kuva 2.3. Planeettojen keskitäisyys Auringosta.

Kuva 2.4. Merkuriuksen rokonarpista pintaa. Kuvan otti yhdysvaltain Mariner 10 -luotain v. 1974.

Aurinkoa lähinnä oleva planeetta on *Merkurius*, joka on pienin yhdeksästä kiertotähdessä. Se on läpimitaltaan Kuuta jonkin verran isompi, ja sen pinta on Kuun tavoin suurten ja pienten kraatterien peitossa. Merkurius pyörii hyvin hitaasti akselinsa ympäri (vuorokausi sen pinnalla kestää 117 Maan vuorokautta), ja siksi päivän puolella lämpötila nousee yli 500 Celsius-asteen. Kahdeksanviikkoisen yön aikana vallitsee taas 200 asteen pakkasen. Merkuriuksella on heikko magneettikenttä, joten sen sisus voi olla samantapainen kuin maapallon. Mainittavaa kaasukehää planeetalla ei ole.

Kuva 2.5. Venus ultraviolettivalossa. Kuvan otti Mariner 10 v. 1974. Pilviverhon virtaukset ovat selvästi näkyvissä.

Merkuriuksesta on hyvin vaikea tehdä havaintoja, koska se Maasta katsottuna on aina Auringon lähellä. Ensimmäiset lähimittaukset saatiin Mariner 10-luotaimen ohilennolla 1974.

Maata lähimmäksi tulee planeetoista *Venus*, aurinkokunnan toinen kiertotähti. Kooltaan ja massaltaan se on samansuuruinen kuin maapallo, mutta tähän yhtäläisyydet loppuvatkin. Venusta ympäröi tiheä, osittain rikkihappopisaroista muodostunut pilvikerros, joka estää pinnan näkymisen. Ensimmäiset tiedot pilvien alta saatiin Maasta tehdyillä tutkahavainnoilla 1960-luvun alussa, ja myöhemmin ovat tuloksia antaneet useat neuvostoliittolaiset laskeutumisalukset ja Yhdysvaltain ohilentoluotaimet.

Tutka paljasti ensinnäkin Venuksen pyörähdysajan, joka pilvien takia oli pysynyt salassa. Planeetta pyörii yllättäen päinvastaiseen suuntaan, kuin aurinkokunnassa kiertoliikkeet yleensä tapahtuvat, ja vielä hyvin hitaasti: se pyörähtää kerran akselinsa ympäri 243 vuorokaudessa. Siksi päivä ja yö Venuksen pinnalla kestävät kumpikin 88 Maan vuorokautta.

Tutkat ovat alkaneet myös kartoittaa Venuksen pintaa. Sieltä on löytenyt kraattereita samaan tapaan kuin Marsista tai Merkuriuksesta.

Olosuhteet planeetan pinnalla ovat hirvittävät. Lämpötila on kaikkialla noin 470 °C ja paine 90–100 baaria eli yhtä suuri kuin meressä kilometrin syvyydellä. Ei ihme että ensimmäiset Venera-alukset murskautuivat paineen alla jo ennen pinnan saavuttamista. Venuksen pinnalla yö on sysimusta ja päivälläkin mustuus vaihtuu paksujen pilvien takia vain haileaksi hämäräksi. Valoa on kuitenkin tarpeeksi, niin että laskeutumisalukset voivat tulevaisuudessa ottaa erikoislaitteilla valokuvia. Pinta on rosoista kiveä tai hiekkaa.

Venuksen korkea lämpötila johtuu kasvihuoneilmioista: Auringosta tuleva säteily pääsee kaasukehän läpi planeetan pinnalle, mutta pinnasta heijastunut säteily ei enää läpäise kaasukehää. Energia jää siten vangiksi ja lämmittää pinnan niin kuumaksi, että monet metallit ovat siellä sulassa muodossa.

Tiheä kaasukehä on koostunut pääasiassa hiilidioksidista. Pinnan lähellä kaasu on melkein seisovaa, mutta ylimpien pilvien korkeudella puhaltavat voimakkaat yhdensuuntaiset tuulet niin että pilvikerroksen yläosat kiertävät planeetan ympäri kerran neljässä Maan vuorokaudessa.

Venuksella ei ole havaittavaa magneettikenttää eikä siten myöskään säteilyvyöhykkeitä.

Maa ja Kuu muodostavat planeettaparin, joka on ainutlaatuinen aurinkokunnassamme. Kuun massa on noin 1/80 Maan massasta, kun kaikki muut kuut ovat emäplaneettansa rinnalla paljon pienempiä.

Tässä kerrotaan perustiedot vain Kuusta, koska maapallosta on kerrot-

tu jo ensimmäisessä luvussa.

Kuu on Maata lähinnä oleva taivaankappale, ja siksi sitä on tutkittu paljon tarkemmin kuin planeettoja. Kuu oli myös avaruusluotainten ensimmäinen kohde, ja Yhdysvaltain miehitetyt Apollosennot (1969–72) toivat sen ihmisen välittömän tutkimuksen piiriin.

Kuun näkyvin tunnusmerkki ovat kraatterit, joita on kaikkialla kiertolaisemme pinnalla. Ne ovat syntyneet meteoroidien iskuista: kun suurella nopeudella tuleva kappale työntyy pintaan, se hetkessä kaasuuntuu ja räjähtää synnyttäen kraatterin tyypillisine reunavalleineen. Kuun mare-alueet eli meret ovat luultavasti syntyneet planetoidien kokoisten kappaleiden iskusta.

Muita pinnan luonteenomaisia piirteitä ovat laavavirtojen syövyttämät »purot» ja kallioiden repeytymisessä syntyneet rotkot.

Kuun pinnassa on yleensä muutaman kymmenen metrin paksuinen kerros irtonaista maata, jonka alla on yhä tiiviimpää ja yhtenäisempää kalliota. Suurten merien kohdalla on parinkymmenen kilometrin paksuinen, raskaampaa basalttia oleva laatta. Nämä laatat ovat Lunar Orbiterien havaitsemia massakeskittymiä eli *maskoneita*. Ne ovat syntyneet 3–4 miljardia vuotta sitten laavan tihkuessa Kuun sisältä meteoroidien iske-miin kraattereihin.

Kuun *kuori* on vajaan 100 km:n paksuinen. Sen alla on tasa-aineinen *vaippa*, joka ulottuu noin 1 000 km:n syvyyteen. Tämän alapuolella on *astenosfääri*, Kuun sisus, joka voi olla osittain sulassa muodossa. Tiedot kiertolaisemme sisärakenteesta on saatu Apollo-lentojen viemillä seismometreillä, jotka jatkuvasti rekisteröivät Kuun vähäisiä järistyksiä.

Kuulla ei ole kaasukehää eikä yhtenäistä magneettikenttää. Pintakeroksen kivilajeissa on kuitenkin havaittu heikkoa jäännösmagnetismia.

Kuusta tuotuja näytteitä tutkittaessa on havaittu, että alkuaineiden runsaudet ovat erilaiset kuin Maan kivilajeissa. Niinpä Kuussa on enemmän alumiinia ja titaania, mutta vähemmän magnesiumia ja rautaa kuin Maassa.

Kuu on syntynyt samaan aikaan kuin maapallo (n. 4,6 miljardia vuotta sitten) joko Maan kiertoradalla olevista pienemmistä kuista tai lähempänä Aurinkoa, josta se on pian syntymänsä jälkeen joutunut Maata kiertämään. Kuu kehittyi suunnilleen nykyiseen muotoonsa melko nopeasti, ja viimeisten 3 miljardin vuoden ajan sen pintaa ovat muuttaneet enää pienten meteoroidien iskut.

Kuussa vallitsevat lämpötilat vaihtelevat keskipäivän 130 asteen helteestä yön 200 asteen pakkaseen.

Maapallosta seuraava planeetta on *Mars*, joka mitoiltaan on Maan ja

Kuva 2.6. Marsin kraattereita. Kuvan otti Neuvostoliiton Mars 5-luotain v. 1974.

Kuun välillä. Senkin pinta on suurelta osalta kraatterien peitossa, mutta lisäksi siellä on havaittu useita sammuneita tulivuoria ja ilmeisesti veden syövyttämiä rotkoja ja jokiuomia. Tulivuoret ovat osoituksena ainakin lähimenneisyydessä vallinneesta aktiivisuudesta, joka voi vieläkin muokata planeettaa. Jokiuomien läsnäolo on taas suuri arvoitus, koska planeetan kaasukehä on niin harva, että nykyisellään vettä ei voi juoksevassa muodossa esiintyä. On esitetty oletamus, että Marsin akselikaltevuuden vaihtelun mukaan 50 000 vuoden jaksoissa esiintyisi kuivia kausia, jollainen nyt on menossa, ja suotuisampia aikoja, jolloin kaasukehä olisi paksumpi ja pinnalla voisi olla vettä.

Marsin kaasukehä koostuu hiilidioksidista ja jalokaasuista. Paine pin-

Kuva 2.7. Jupiter lähikuvassa. Kuvan otti Pioneer 10-luotain v. 1973. Vaaleiden ja tummien pilvivöiden lisäksi näkyy suuri punainen pilkku (vasemmassa laidassa) ja yhden kuun, Ion, varjo.

nalla on keskimäärin 6 mb eli vain noin 1/200 Maan ilmanpaineesta. Kaasun ohuudesta huolimatta Marsissa vallitsee voimakkaita tuulia, jotka ajoittain nostavat maasta pölyä niin että koko planeetta peittyy keltaiseen pilveen.

Planeetan navoilla on napalakit, jotka talven aikana leviävät tuhansien kilometrien läpimittaisiksi, mutta supistuvat kesällä lähes olemattomiin. Ne koostuvat pinnaltaan hiilidioksidijäästä («kuivasta jäätä»), mutta syvemmällä voi olla paljonkin jäätynyttä vettä. Vuodenajat Marsissa vaihtelevat hitaammin kuin Maan päällä, koska Marsin vuosi kestää lähes kaksi meidän vuottamme.

Lämpötilat ovat melko epäsuotuisat elämän esiintymiselle, koska vain keskipäivällä päiväntasaajan seuduilla lämpötila nousee hetkeksi nollan yläpuolelle. Yöllä on satakunta astetta pakkasta, ja napaseuduilla lämpötila pysyy aina -100°C :n paikkeilla.

Marsia kiertää kaksi kuuta, Phobos ja Deimos, jotka ovat parinkymmenen kilometrin läpimittaisia kraatterien peittämiä kallionlohkareita.

Planetoidivyöhykkeen takana Aurinkoa kiertää Jupiter, jättiläisplaneetta. Sen massa on suurempi kuin kaikkien muiden kiertotähtien yhteensä ja noin 1/1000 itse Auringon massasta. Suuresta koosta huolimatta planeetta pyörii hyvin nopeasti, kertaalleen 10 tunnissa.

Kaukoputkella katsottuna Jupiterin pintaa peittävät päiväntasaajan suuntaisina kulkevat tummat ja vaaleat vyöt. Vaaleat vyöt koostuvat ammoniakkipilvistä, kun taas tummien raitojen kohdalla nähdään syvemmälle kaasukehään. Näkyvien pilvien alapuolella parinkymmenen kilometrin päässä on vesipisarapilviä. Näillä tienoin on lämpötila parikymmentä Celsius-astetta ja paine alle 10 baaria, joten Jupiterin pilvissä mahdollisesti leijuva elämä esiintyisi tällä korkeudella.

Syvemmälle mentäessä tulee vastaan yhä tiheämpää kaasua, sitten nestettä ja lopuksi sulaa metallia muistuttavaa nestemäistä vetyä. Kiinteää pintaa ei luultavasti ole. Planeetta koostuu suurimmaksi osaksi vedystä ja heliumista, kuten Aurinkokin, ja kaasukehän yläkerroksista on havaittu ammoniakkia ja metaania.

Jupiterin pilvikehän silmiinpistävin piirre on suuri punainen pilkku, joka päiväntasaajan eteläpuolella vaeltelee planeetan ympäri. Se on luultavasti erikoislaatuinen pysyvä pilvimuodostelma.

Jupiterin näkyvien pilvien kohdalla lämpötila on n. -140°C . Tämä on hieman korkeampi kuin odotettiin, ja siitä on voitu laskea, että Jupiter säteilee energiaa noin kaksi kertaa niin paljon kuin se Auringolta saa. Sillä on siis oltava sisäinen energianlähde, ja oletetaan, että ylijäämäenergia syntyy planeetan vähittäisestä kutistumisesta (vajaa mm/v).

Jupiterilla on noin kymmenen kertaa niin voimakas magneettikenttä kuin maapallolla ja mahtavat säteilyvyöhykkeet, jotka voivat olla vaarallisia lähelle tulevalle luotaimelle.

Jupiterilla on neljätoista kuuta, joista uloimmat ovat pieniä Jupiterin vangitsemia planeetoideja. Neljä suurinta kuuta, Io, Europa, Ganymede ja Callisto, ovat meidän Kuumme kokoisia tai vähän suurempia, ja ne ovat tulevaisuudessa avaruustutkimuksen tärkeitä kohteita.

Saturnus kiertää Aurinkoa lähes kaksi kertaa niin kaukana kuin Jupiter, ja siksi maapallolta saatavat tiedot siitä ovat jo huomattavasti epätarkemmat.

Saturnus on massaltaan noin kolmasosa Jupiterista. Sen sisärenne on ehkä samantapainen, ja senkin on havaittu säteilevän enemmän energiaa kuin Aurinko sille antaa. Pinnan vyöt ja raidat eivät ole yhtä silmiinpistäviä kuin Jupiterilla. Planeetan magneettikenttä löydettiin v. 1975.

Saturnuksen tunnusomaisin piirre ovat renkaat, jotka päiväntasaajan tasossa kiertävät planeettaa. Ne ovat muodostuneet pienistä hiekkajyväsistä tai vähän suuremmistakin kappaleista, joissa on ainakin pinnalla jäätä. Renkaiden sisäreuna miltei koskettaa planeettaa, ja ulkoreuna yltää n. 2,3 planeetan säteen päähän. Saturnuksen sisin kuu, v. 1966 löydetty Janus, on kohta renkaiden ulkopuolella. Renkaiden paksuus on muutama kilometri.

Saturnuksella on renkaiden lisäksi kymmenen kuuta, joista seitsemän sisintä muodostavat hyvin säännöllisen kiertolaisjärjestelmän. Mielenkiintoisin kuu on Titan, Merkuriuksen kokoinen mutta kevyempi kappale, jolla on paksu kaasukehä.

Uranus ja *Neptunus* ovat jälleen paljon kauempana Auringosta kuin Saturnus, ja tietomme niistä vastaavasti vähäisemmät. Esimerkiksi niiden massa, säde ja pyörähdysaika (kts. taulukko) ovat toistaiseksi melko epätarkkoja. Molemmat planeetat näyttävät kaukoputkessa vihertäviltä, mikä väri tulee niiden kaasukehässä olevasta metaanista. Kaasukehän ja planeettojen pääosa on vetyä.

Uranus on siitä erikoinen planeetta, että sen akseli on suunnilleen ratatasossa: planeetta pyörii kyljellään, kun muut kiertotähdet ovat pystyasennossa. Välillä, viimeksi v. 1966, aurinko paistoi Uranukseen sivulta päin ja kaikki seudut saivat lämpöä. Kun planeetta liikkuu eteenpäin radallaan, tulee v. 1985 sellainen tilanne, että planeetan pohjoisnapa osoittaa suoraan Aurinkoon, kun taas eteläinen pallonpuolisko on vuosikausia täydessä pimeydessä. »Vuodenajat» (Uranuksen vuosi kestää 84 Maan vuotta) ovat planeetalla tavattoman vaihtelevat!

Uranuksen viisi tunnettua kuuta, jotka ovat kaikki melko pieniä, muodostavat ekvaattoritasossa kiertävän, hyvin säännöllisen järjestelmän. Sitä vastoin Neptunuksen kaksi kuuta ovat kaikkea muuta kuin säännölliset: Sisempi kuu Triton on melkein kaksi kertaa meidän Kuumme kokoinen, tiheä kappale, joka kiertää Neptunusta takaperoiseen suuntaan. Se on hyvin lähellä planeettaa ja lähestyy sitä hiljakseen, niin että muutaman kymmenen miljoonan vuoden kuluttua se voi tuhoutua Neptunuksen kaasukehässä. Ulompi kuu on taas hyvin pieni ja kiertää soikealla radalla planeetan ympäri kerran yhdessä Maan vuodessa.

On esitetty oletamus, että aurinkokunnan uloin planeetta *Pluto* olisi joskus ollut Neptunuksen kuu, joka on irronnut omalle radalleen. Planeetan koko, väri ja heijastusominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin Neptunusta kiertävän Tritonin, mutta viimeaikaiset laskut näyttävät osoittavan, että Pluto ei ole koskaan ollut Neptunuksen lähellä.

Pluto löydettiin 1930 kymmeniä vuosia kestäneiden etsintöjen jälkeen. Sen rata on hyvin soikea, niin että periheliissä (Aurinkoa lähinnä olevassa pisteessä) planeetta on Neptunuksen radan sisäpuolella. Pluto tulee periheliinsa 1989, ja koko ensi vuosikymmenen ajan aurinkokunnan uloin planeetta ei olekaan Pluto vaan Neptunus!

Pluton pyörähdysaika, 6,4 vuorokautta, saatiin selville tutkimalla planeetan kirkkauden vaihteluja. Viimeaikaisten mittausten perusteella arvelaan, että planeetta makaa kyljellään samoin kuin Uranus. Planeetan mahdollinen kaasukehä on luultavasti jäänytynyt pinnalle. Aurinko näkyy mustalla taivaalla vain kirkkaana pisteenä, mutta jaksaa sentään lämmitää päivänpuolen ehkä 50 kelviniin (−220 Celsius-asteeseen); yöpuolella lämpötila on lähellä absoluuttista nollapistettä.

Tähdet

Pluton takana leviää ääretön tähtienvälinen avaruus. Siellä täällä tyhjyyden keskellä on pieni valopiste, meidän Aurinkomme kaltainen *tähti*. Lähin kiintotähti, Proxima Centauri, on noin 6 000 kertaa kauempana Auringosta kuin Pluto. Aurinko ja miljoona miljoonaa muuta tähteä muodostavat valtavan kiekkomaisen järjestelmän, *Linnunradan*. Ja Linnunradan kaltaisia *galakseja* voidaan suurilla kaukoputkilla erottaa miljoonittain maailmanavaruuden äärettömyydessä.

Meidän on paras hypätä takaisin pieneen aurinkokuntaamme. Tähdet

ja galaksit liittyvät astronautiikkaan toistaiseksi vain Maan kiertoradalla olevien tähtitieteellisten satelliittien tutkimuskohteina. Myöhemmin voi kuitenkin tulla aika, jolloin luotaimia lähetetään matkalle lähimpiin tähtiin; tähtienvälisten matkojen vaikeuksia pohditaan luvussa 15.

3. Pelin säännöt

Avaruuspelin kulkusäännöt ovat selvemmät kuin maanpäällisessä liikenteessä. Kaikkea liikettä hallitsevat satoja vuosia sitten opitut luonnonlait: *yleinen vetovoimalaki ja vaikutuksen ja vastavaikutuksen laki*. Tässä luvussa käsitellään yleistä vetovoimalakia ja avaruusalusten liikettä sen alaisena Maan ympärillä ja muualla aurinkokunnassa.

Yleinen vetovoimalaki, jonka englantilainen Newton esitti 1600-luvun lopulla, sanoo yksinkertaisesti sen, että *kaksi avaruudessa olevaa kappaletta vetää toisiaan puoleensa* voimalla, joka on sitä suurempi, mitä raskaampia kappaleet ovat, ja myös sitä suurempi, mitä lähempänä kappaleet ovat toisiaan. Niinpä Maa vetää puoleensa esim. Kuuta ja jokaista Maata kiertävää satelliittia.

Yleinen vetovoima, jota sanotaan myös *painovoimaksi* tai *gravitaatioksi*, voidaan ilmaista matemaattisena kaavana

$$(3.1.) \quad F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

missä F on voima, G on gravitaatiovakio, m_1 ja m_2 ovat kappaleiden massat ja r on niiden välinen etäisyys.

Yleensä toinen kappaleista (esim. satelliitti) on paljon pienempi kuin toinen (esim. Maa), ja siksi pienemmän vaikutus ei lainkaan tunnu ison kappaleen liikkeessä. Sen sijaan ison keskuskappaleen vetovoima määrää täydellisesti satelliitin liikkeen.

Keskuskappaletta kiertävän satelliitin liike noudattaa *Keplerin lakeja*, jotka ovat suora seuraus Newtonin vetovoimalaista. Kepler tutki 1600-luvun alussa Aurinkoa kiertävän planeetan liikettä ja huomasi siinä selviä lainalaisuuksia. Maata kiertävään tekokuuhun sovellettuna voidaan lausua

Keplerin 1. laki: Satelliitti kiertää Maata pitkin ellipsiä, jonka toisessa polttopisteessä on Maan keskipiste.

Ellipsi on matematiikasta tuttu soikea käyrä. Se määritellään niiden pisteiden urana, joiden etäisyyksien summa kahdesta polttopisteestä on vakio. Ellipsi voidaan ajatella myös viivana, joka heijastaa yhdestä polttopisteestä lähetetyt valonsäteet täsmälleen toiseen polttopisteeseen. – Ellipsin suurinta halkaisijaa sanotaan *isoksiakseliksi*. Maata kiertävän satelliitin tapauksessa ellipsin alin piste on nimeltään *perigeum* ja ylin piste

Kuva 3.1. Satelliitti kiertää Maata pitkin ellipsiä.

Kuva 3.2. Satelliittiradan muoto riippuu siitä nopeudesta, joka tekokuulle lähdössä annetaan sivusuuntaan.

apogeum. Aurinkoa kiertävällä radalla vastaavat nimet ovat *periheli* ja *apheli*, ja muita planeettoja ja muita kiertävillä radoilla voidaan lähintä ja kaukaisinta pistettä sanoa nimillä *periapsis* ja *apoapsis*.

Miksi satelliitti ei vetovoiman takia putoa suoraan Maahan, vaan kiertää maapalloa? Jos satelliitti olisi aluksi paikallaan Maapallon lähellä, se putoaisi kyllä suoraan alas. Raketti kuitenkin antaa lähdössä tekokuulle tietyn nopeuden sivusuunnassa, niin että tekokuu sitten alaspäin pudotessaan liikkuu samalla sivullepäin ja putoaa jatkuvasti Maan ohi, so. kiertää Maata. Satelliittiin vaikuttaa vetovoiman lisäksi täsmälleen yhtä suuri keskipakoisvoima, joka vastakkaissuuntaisena kumoaa vetovoiman vaikutuksen ja pitää satelliitin radallaan.

Ellipsi on vain yksi mahdollinen käyrä, jota pitkin satelliitit voivat kulkea. Kuten viereisestä kuviosta näkyy, tietyllä alkunopeudella lähetetty tekokuu voi kiertää pitkin *ympyrää*, joka on ellipsin erikoistapaus. Jos sivusuunnassa annettu nopeus on hyvin suuri, satelliitti voi joutua *parabeli-* tai *hyperbeliradalle*, jolloin se irtaantuu Maan kiertoradalta ja siirtyy Aurinkoa kiertävälle radalle.

Myös Aurinkoa kiertävät kappaleet kuten planeetat, planetoidit, monet komeetat, meteoroidit ja avaruuden pölyhiukkaset kulkevat pitkin ellipsirataa, jonka toisessa polttopisteessä on Aurinko. Kuten edellisessä luvussa todettiin, komeettojen radoista on löytynyt myös paraabeleja ja hyperbelejä.

Kuva 3.3. Keplerin toinen laki: Aika jossa satelliitti kulkee a:sta b:hen on yhtä suuri kuin matkaan c:stä d:hen kuluva aika ja pinta-alat A_1 ja A_2 ovat yhtäsuuret.

Satelliitin nopeus

Planeettojen liikettä tutkiessaan Kepler huomasi ominaisuuden, joka Maata kiertävälle tekokuulle voidaan sanoa seuraavasti:

Keplerin 2. laki: Satelliitista Maan keskipisteeseen vedetty viiva pyyhkii yhtä suuressa ajassa aina yhtä suuren pinta-alan.

Tämä merkitsee sitä, että satelliitti kulkee sitä nopeammin, mitä lähempänä Maata se on. Tekokuun nopeus on suurimmillaan perigeumissa ja pienimmillään apogeumissa. Samoin esim. Aurinkoa kiertävistä planeetoista sisin liikkuu paljon suuremmalla nopeudella kuin uloisimmat. Tämä on luonnollista, koska vetovoima on suurimmillaan lähellä keskuskappalletta, ja satelliitin täytyy liikkua nopeammin pysyäksensä radalla.

Tekokuun nopeuden laskeminen ympyräradan tapauksessa on helppoa. Nopeus v saadaan kaavasta

$$(3.2.) \quad v = \sqrt{\frac{G_{\text{Maa}}}{r}}$$

missä Maan gravitaatiovakio G_{Maa} on arvo $399\,000 \text{ km}^3/\text{s}^2$ (G_{Maa} on gravitaatiovakio G ja maan massan tulo.) ja r on etäisyys Maan keskipisteestä. Kun käytetään Maan säteelle arvoa 6370 km , voidaan laskea esim. 200 km :n korkeudella kiertävän satelliitin nopeudeksi $7,8 \text{ km/s}$.

Ellipsiradalla satelliitin nopeus vaihtelee radan eri pisteissä. Se on suurimmillaan perigeumissa, missä nopeus voidaan laskea kaavasta

$$(3.3.) \quad v_{\text{per}} = \sqrt{G_{\text{Maa}} \left(\frac{2}{r_{\text{per}}} - \frac{1}{a} \right)}$$

r_{per} on perigeumin etäisyys Maan keskipisteestä ja a on satelliitin keskietäisyys samasta pisteestä. Perigeumietäisyys saadaan tietysti Maan säteen (6370 km) ja perigeumkorkeuden summana, ja keskietäisyys $a = \text{rataelipsin isonakselin puolikas} = \frac{1}{2}(r_{\text{per}} + r_{\text{ap}})$. Esimerkiksi Molnija-tietoliikennesatelliitit kiertävät Maata radalla, jonka alin piste on 500 km ja ylin piste $39\,500 \text{ km}$:n korkeudessa. Radan perigeumietäisyys r_{per} on siis $6\,370 \text{ km} + 500 \text{ km} = 6\,870 \text{ km}$, apogeumietäisyys $r_{\text{ap}} = 6\,370 \text{ km} + 39\,500 \text{ km} = 45\,870 \text{ km}$ ja $a = \frac{1}{2}(6\,870 + 45\,870) \text{ km} = 26\,370 \text{ km}$. Ylläolevasta kaavasta saadaan nopeudeksi perigeumissa

$$(3.4.) \quad v_{\text{per}} = \sqrt{399000 \frac{\text{km}^3}{\text{s}^2} \left(\frac{2}{6870 \text{ km}} - \frac{1}{26370 \text{ km}} \right)} = 10,1 \text{ km/s}.$$

Apogeumnopeus saadaan lasketuksi samasta kaavasta, kunhan r_{per} korvataan arvolla r_{ap} . Esimerkiksi Molnija-tekokuilla on nopeus apogeumissa vain $1,5 \text{ km/s}$.

Satelliitin kiertoaika

Ehkä tärkeämpää kuin satelliitin nopeuden laskeminen on tietää tekokuun kiertoaika. Kiertoaika on se aika, jossa satelliitti kertaalleen kulkee maapallon ympäri. Tämä on myös helpompi laskea kuin nopeudet, koska sama kaava pätee sekä ympyrä- että ellipsiradalla. Kiertoaika P riippuu ainoastaan keskietäisyydestä a , mikä ympyräradalla on radan säde ja ellipsiradalla ison akselin puolikas. Maapalloa kiertävällä tekokuulla on kiertoaika

$$(3.5.) \quad P = \sqrt{\frac{39,5}{G_{\text{Maa}}}} \cdot a^3.$$

Esimerkiksi 200 km :n korkeudella kiertävällä satelliitilla $a = 6570 \text{ km}$, joten $P = 5300 \text{ s} = 88,3 \text{ minuuttia}$. Molnija-satelliitin kiertoaikaksi taas saadaan noin 12 tuntia .

Tuo 88 minuuttia on suunnilleen lyhin kiertoaika, joka satelliitilla voi olla. Hyvin kaukana Maasta kiertävillä tekokuilla voi taas yksi kierros kestää useita päiviä tai viikkojakin. Mielenkiintoinen korkeus on $35\,800 \text{ km}$, sillä kun lasketaan sitä vastaava kiertoaika, saadaan tulokseksi 24 tuntia . Tekokuu kiertää siis maapallon ympäri tasan vuorokaudessa, ja koska maapallokin pyörii ympäri samaan suuntaan tasan vuorokaudessa, tekokuu näyttää pysyttelevän saman kohdan yläpuolella. Tällaista *geosynkronista* rataa käytetään mm. Intelsat-tietoliikennetekokuilla.

Kuun ja toisten planeettojen satelliiteille voidaan käyttää samaa nopeuden ja kiertoaajan kaavaa kuin Maan tekokuille, kunhan Maan gravitaatiovakio korvataan Kuun tai planeetan gravitaatiovakioilla. Mitä pienempi kappale on, sitä pienempi on sen gravitaatiovakio. Koska Kuun massa on $1/81,3$ Maan massasta, myös Kuun gravitaatiovakio on arvo $G_{\text{Kuu}} = G_{\text{Maa}}/81,3$. Vastaavasti Marsin vakio on $G_{\text{Mars}} = 0,106 \cdot G_{\text{Maa}}$. Näitä arvoja käyttämällä voidaan laskea 200 km :n korkeudessa Kuuta kiertävälle satelliitille kiertoaikaksi 108 min ja samalla korkeudella Marsia kiertävälle satelliitille 109 min . Laskuissa tarvitaan myös Kuun ja Marsin sädettä, jotka saadaan edellisen luvun taulukosta.

Aurinkoa kiertävien kappaleiden kiertoaika on helpointa laskea Keplerin 3. laista. Marsin liikettä tutkiessaan Kepler havaitsi seuraavan lain,

jonka huomattiin pätevän muillekin planeetoille.

Keplerin 3. laki: Aurinkoa kiertävien kappaleiden kiertoaajan neliöt ovat verrannollisia ratojen isonakselin kuutioihin.

Vertailukohdaksi otetaan Maan radan isoakseli, jonka pituus on 1 au = 150 milj. km, ja Maan kiertoaika = 1 v. Tällöin muiden Aurinkoa kiertävien kappaleiden kiertoaika saadaan kaavasta

$$(3.6) \quad P = \sqrt{a^3}.$$

Esimerkiksi Pioneer 4-luotaimen radan isonakselin puolikas on 1,06 au, joten aluksen kiertoaika Auringon ympäri on 1,09 v.

Keplerin kolmas laki on tietysti voimassa myös Maan tekokuille, kuten voi laskemalla todeta.

Satelliittiradan häiriöt

Maata kiertävien satelliittien radat eivät käytännössä ole aivan puhtaita ellipsejä, koska niihin vaikuttaa monenlaisia häiriöitä. Muiden taivaankappaleiden veto voima, Maan litistyneisyys, ilmanvastus ja Auringon säteilypaine ovat esimerkkejä pienistä, mutta usein hyvin tärkeistä häiriötekijöistä.

Lähellä Maata kiertäviin satelliitteihin vaikuttaa voimakkaasti Maan litistyneisyys. Jos maapallo olisi täsmälleen pallon muotoinen, Keplerin lakeja voisi sellaisenaan soveltaa tekokuidenkin liikkeisiin. Maa on kuitenkin litistynyt, niin että läpimitta napojen kohdalla on kymmeniä kilometrejä pienempi kuin päiväntasaajan kohdalla. Tämä aiheuttaa ratatason kiertymää. Satelliitin rata pysyisi ilman häiriöitä aina samassa tasossa avaruudessa, mutta maapallon litistyneisyys kiertää ratatasoa länteen päin jopa useita asteita vuorokaudessa.

Mitä lähempänä Maata tekokuu kiertää, sitä suurempi on myös ilmanvastus. Vaikka ilma muutaman sadan kilometrin korkeudessa on jo hyvin harvaa, se kuitenkin saa tekokuun menettämään energiaansa ja ajautumaan vähitellen lähemmäksi Maan pintaa. Esimerkiksi 200 km:n korkuiselle ympyräradalle asetettu tekokuu tuhoutuu jo muutaman vuorokauden jälkeen ilmakehässä. Siksi tekokuut täytyy yleensä kohottaa turvallisen korkealle. Lähimmäksi Maan pintaa, n. 120 km:n korkeuteen, sukeltavat eräät ilmakehää tutkivat Explorer satelliitit, mutta niille täytyy antaa vähän väliä lisänopeutta, etteivät ne suistuisi radaltaan alas.

Kauempana Maan pinnasta, tuhansien tai kymmenientuhansien kilomet-

rien korkeudella kiertäviin satelliitteihin vaikuttavat huomattavasti *Kuun ja Auringon vetovoima*. Ne molemmat aiheuttavat hitaasti liikkuvien tekokuiden ratoihin monenlaisia muutoksia, joiden suuruus riippuu Kuun ja Auringon kulloisestakin asemasta.

Maapallon kaukaisten satelliittien samoin kuin Aurinkoa kiertävien luotainten rataa häiritsevät myös Auringon *säteilypaine* sekä *aurinkotuuli*. Niiden vaikutus on yleensä kuitenkin pieni.

Siirto radalta toiselle

Satelliitteja joudutaan usein siirtämään radalta toiselle. Raketti vie tekokuun tavallisesti ensin matalalle n. 200 km:n korkeudella olevalle paikoitusradalle, josta se siirretään esim. hyvin soikealle ellipsiradalle tai korkealla olevalle ympyräradalle.

Nykyajan rakettitekniikalla siirrot tehdään lyhyiden *nopeusimpulssien* avulla, joiden väliaikoina tekokuu kiertää Maata Keplerin lakien mukaisessa vapaassa putoamisliikkeessä. Esimerkiksi siirto matalalta paikoitusradalta korkeammalla olevalle ympyräradalle tehdään kahdella nopeusimpulssilla. Ensin satelliitille annetaan sen liikesuunnassa sopiva lisänopeus, niin että satelliitti joutuu ellipsiradalle, jonka apogeum on halutun ympyräradan etäisyydellä. Apogeumissa tekokuulle annetaan taas pieni

Kuva 3.4. Siirtyminen matalalta ympyräradalta korkeammalle kahden nopeusimpulssin avulla (vas.) ja jatkuvalla työnnöllä (oik.).

potkaisu eteenpäin, niin että se siirtyy ellipsiltä ympyrälle. Nopeudet eri radoilla ja siten myös tarvittavat nopeusimpulssit voidaan laskea luvun alkupuoella esitetyillä satelliittien nopeuskaavoilla.

Tällainen ellipsimäinen siirtorata kahden samassa tasossa olevan ympyräradan välillä on nimeltään *Hohmannin puoliellipsi*. Sille on ominaista, että se sivuaa perigeumissaan matalaa rataa ja apogeumissaan korkeaa rataa. Voidaan osoittaa, että Hohmannin puoliellipsi kuluttaa vähemmän ajoainetta kuin millään muulla tavalla suoritettu siirtyminen.

Tulevaisuudessa voidaan siirto radalta toiselle tehdä myös *jatkuvatyöntösillä* rakettimoottoreilla, joista kerrotaan luvussa 6. Tällöin moottori työntää satelliittia pienellä voimalla yhtämittaisesti. Tekokuu kulkee pitkin spiraalimaista rataa ulospäin. Kun työntö lopetetaan, satelliitti jää tällä korkeudella olevalle ympyräradalle.

Jatkuvalla työllä suoritettu siirto kuluttaa ajoainetta vähän enemmän kuin Hohmannin rata ja siirtoaika on melko pitkä. Se voi kuitenkin joskus tulla kyseeseen, koska siinä ei tarvita epämiellyttäviä nopeita kiihtyvyyksiä ja ohjaus on helpompi kuin impulssiradoilla.

Kuuradat

Ensimmäiset kuuraketit 50-luvun lopussa yritettiin lähettää suoralla nousulla kohti Kuuta. Nykyään luotaimet kuitenkin kohotetaan ensin Maata kiertävälle matalalle paikoitusradalle, jossa niiden kunto tarkistetaan, ja laukaistaan sitten siirtoellipsille. Edullisin ellipsi on taas sellainen, jonka apogeum sivuaa Kuun rataa; matka-aika on silloin 5 vrk. Neuvostoliiton uuden sarjan Luna-alukset käyttivät suunnilleen tällaisia ratoja. Miehitetyt lennot, joilla matkan kesto aika halutaan mahdollisimman pieneksi, lähetetään suuremmalla nopeudella korkeammalle ulottuvalle ellipsille, ja niillä hypätään jo ennen apogeumin saavuttamista siirtoellipsiltä Kuuta kiertävälle radalle.

Lähtö täytyy tietysti suorittaa sellaisella hetkellä, että kun luotain saapuu Kuun radan kohdalle, myös Kuu on juuri tässä pisteessä. (Tai oikeastaan vähän tämän pisteen vieressä, ellei haluta yhteentörmäystä.) Jos Kuun lähellä ei suoriteta jarrutusta, alus jatkaa pitkin siirtoellipsiä takaisin Maan lähelle. Kuun oma vetovoima tietysti muuttaa rataa jonkin verran.

Kuusta katsottuna lähestyvä luotain saapuu pitkin hyperbelirataa, ja siksi Kuuta lähinnä olevassa pisteessä täytyy suorittaa jarrutus, jotta alus saadaan Kuuta kiertävälle radalle.

Kuva 3.5. Lento Kuuhun suoritetaan paikoitusradalta pitkin siirtoellipsiä. Jos lähtönopeus on hyvin suuri, siirtorata voi olla hyperbeli. Tällöin alus joutuisi Aurinkoa kiertävälle radalle ellei se jarruttaisi Kuun lähellä.

Kuun kiertoradalta alus voidaan ohjata pinnalle pitkin siirtoellipsiä, joka leikkaa Kuun pinnan, ja pinnan lähellä suoritetaan tarvittava jarrutus. Paluu tapahtuu joko ensin Kuun kiertoradalle, josta lähdetään kohti maata (kuten Apollo-alukset), tai suoraan pinnalta lyhyellä nopeusimpulssilla (kuten Luna-näytteiden noutajat). Maapallon lähellä ei siirrytä paikoitusradalle, koska se vaatisi hyvin paljon ajoainetta, vaan hidastetaan vauhti jarrukilven avulla ilmakehässä.

Pakonopeus

Kuinka suuri nopeus luotaimelle on annettava, jotta se pääsee irti maapallon kiertoradalta ja joutuu Aurinkoa kiertävälle omalle radalleen? Tälle *pakonopeudelle* voidaan johtaa kaava

$$(3.7) \quad v = \sqrt{\frac{2G_{\text{Maa}}}{r}},$$

missä r on luotaimen etäisyys Maan keskipisteestä. Jos luotain on Maan pinnalla, $r = 6\,370$ km ja pakonopeus on tällöin 11,2 km/s. Käytännössä luotaimia ei kuitenkaan lähetetä Maan pinnalta, vaan paikoitusradalta. Esimerkiksi 200 km:n korkeudessa olevan kiertoradan säde on 6 570 km, jolloin pakonopeus tältä korkeudelta on 11,0 km/s.

Paikoitusradalla olevalla luotaimella on jo kiertonopeutta maapallon

ympäri 7,8 km/s. ja siten viimeisen rakettivaiheen on annettava luotaimelle vain 3,2 km/s:n suuruinen nopeusimpulssi.

Mainitulla 11 km/s:n pakonopeudella luotain pääsee juuri ja juuri eroon maapallon vaikutuspiiristä ja jää kiertämään Aurinkoa hyvin lähellä Maan rataa. Jos luotain halutaan lähettää esim. Venuksen tai Marsin lähelle, lähtönopeuden on oltava vähän suurempi.

Pakonopeus *Kuun pinnalta* voidaan myös laskea ylläolevasta kaavasta, kunhan G_{Maa} korvataan kertoimella $G_{\text{Kuu}} = G_{\text{Maa}}/81,3$ ja r :n paikalle sijoitetaan Kuun säde (1730 km). Pakonopeudeksi saadaan 2,4 km/s. Tämän nopeuden saavutti lähdössä esim. Luna 16:n paluuraketti, joka irtosi Kuusta ja palasi suoraan Maahan. – Marsin pinnalta pakonopeus on 5,0 km/s, joten sieltäkin on paljon helpompi lähteä avaruuteen kuin Maasta. Kuun ja Marsin pieni pakonopeus johtuu tietysti niiden pienestä mas-
sasta.

Siirtoradat planeetoille

Millaista rataa liikkuvat luotaimet, jotka lähetetään tutkimaan toisia planeettoja? Aurinkoa kiertävien ympyrä ratojen välillä siirrot suoritetaan pitkin ellipsejä aivan samoin kuin Maan ympärillä olevien satelliittiratojen tapauksessa. Jos luotain halutaan Maan läheltä siirtää Marsin lähelle, sille täytyy antaa nopeusimpulssi, niin että se joutuu Aurinkoa kiertävälle siirtoellipsille. Energialtaan edullisin siirtorata on jälleen Hohmannin puoliellipsi. Ellipsi sivuaa perihelissään Maan rataa ja aphelissaan Marsin rataa. Vastaavasti Venus-luotaimen edullisin siirtorata sivuaa aphelissaan Maan rataa ja perihelissään Venuksen.

Hohmannin radat ovat kuitenkin vain ihannetapaus kahden samassa tasossa olevan ympyrä radan välillä. Planeettojen radat aurinkokunnassa eivät ole tarkalleen ympyröitä eivätkä edes samassa tasossa. Siksi siirtoradatkin poikkeavat todellisuudessa jonkin verran Hohmannin radoista.

Lähetysnopeudet eri planeetoille näkyvät oheisesta taulukosta. Helpointa on lähettää luotaimia maapalloa lähinnä kiertäville planeetoille. Mars-luotaimille täytyy antaa nopeusimpulssi maapallon kiertonopeuden suuntaan, niin että alussa alkaa kulkea maapallosta ulospäin. Venus-luotaimille taas annetaan impulssi päinvastaiseen suuntaan, niin että aluksen vauhti hidastuu ja se alkaa pudota kohti aurinkokunnan sisäosia. Vaikeinta on lähettää aluksia aivan Auringon lähelle tai hyvin kauaksi Auringosta. Siksi vain Venus-, Mars- ja Jupiter-luotainten lähettämiseen käytetään yleensä

Kuva 3.6. Edullisin siirtorata, Hohmannin puoliellipsi, Maasta Venukseen ja Maasta Marsiin.

Kohde	Lähtönopeus (km/s) pitkin		Lentoaika (v) pitkin	
	Hohmannin ellipsiä	linkorataa	Hohmannin ellipsiä	linkorataa
Merkurius	13,4	12,0	0,3	0,4
Venus	11,3		0,4	
Mars	11,4		0,7	
Jupiter	14,1		2,7	
Saturnus	15,0	15,0	6,0	3,6
Uranus	15,7	15,3	16	6
Neptunus	16,0	15,6	31	8
Pluto	16,1	15,8	45	8

Taulukko 3.1. Planeettaluotainten lähtönopeudet Maan kiertoradalta ja lentoajat eri planeetoille. Merkuriukseen ja Jupiterin taakse annetaan arvot myös Venuksen tai Jupiterin kautta kulkevaa linkorataa pitkin. Näiden ratojen edullisuus varsinkin lentoajan lyhenemisessä uloimmille planeetoille on selvästi nähtävissä. — Taulukon nopeudet ja ajat ovat ihannearvoja. Todellisuudessa käytetään yleensä vähän suurempia lähtönopeuksia, jolloin lentoajat ovat vähän lyhyempiä.

siirtoellipsejä. Muille planeetoille alukset lähetetään pitkin »linkoratoja», joista puhutaan alempana.

Lentoajat pitkin siirtoratoja saadaan lasketuksi Keplerin kolmannesta laista. Esimerkiksi Marsiin lähetetyn luotaimen radalla isonakselin puolikas on pituudeltaan 1,26 au. Koko kierrokseen kuluu aikaa 1,41 v, joten puoleen kierrokseen eli Maasta Marsiin kuluu 0,7 v (n. 8 kk).

Tyypilliset lentoajat eri planeetoille näkyvät oheisesta taulukosta. Usein luotaimelle annetaan lähdössä sen verran suurempi nopeus, että lentoaika jää lyhyemmäksi. Esimerkiksi Pioneer 11:n matka Maasta Jupiteriin kesti vain 20 kk. Joskus joudutaan taas esim. Marsiin käyttämään sellaisia siirtoratoja, joilla luotain kulkee enemmän kuin puolikkaan ellipsistä. Näin on laita vuoden 1975 Viking-aluksilla, joilla lento kestää yli 10 kk.

Mielenkiintoisimpia planeettaratoja ovat erilaiset »linkoradat». Niillä käytetään hyväksi jonkin planeetan vetovoimaa, joka muuttaa ohilentävän luotaimen radan uuteen suuntaan. Niinpä Jupiterin vetovoima heitti Pioneer 10:n radalle, joka vie sen kokonaan ulos aurinkokunnasta, ja Venuksen vetovoima ohjasi Mariner 10:n Merkuriuksen ohi vievälle radalle. Tulevaisuudessa Jupiterin mahtavaa vetovoimaa käytetään usein avuksi ja lingotaan sitä kautta aluksia aurinkokunnan uloimmille planeetoille; esimerkiksi Pioneer 11 lentää Jupiter-ohituksen jälkeen Saturnukseen.

Jupiter tarjoaa edullisimman mahdollisuuden jopa aurinkoluotaimen lähettämiseen. Koska maapallo liikkuu radallaan 30 km/s, ei nykyisten raketien työntövoima riitä tämän nopeuden kumoamiseen eikä siis voida lähettää aluksia putoamaan suoraan kohti Aurinkoa. Sen sijaan Jupiteriin asti saadaan luotain kyllä lähetetyksi, ja jättiläisplaneetan vetovoima pysyy heittämään tarkasti ohjatun luotaimen suoraan Aurinkoon. Sen matka-aika maapallolta keskustähtemme muodostuu kylläkin melko pitkäksi (n. 3 v), eikä tällaista alusta ole vielä vakavissaan suunniteltu.

Tilanne planeettalennossa muuttuu jonkin verran, kun tämän vuosisadan lopulla saadaan käyttöön jatkuvatyöntöiset moottorit. Niiden avulla päästään nopeista kiihtyvyyksistä ja voidaan rakentaa kevytrakenteisempia aluksia. Matka-ajat lähiplaneetoille eivät juuri lyhene, mutta lennot tulevat halvemmiksi.

4. Aktio ja reaktio

»Onnistumisen ensimmäinen edellytys on luotettava ja tehokas rakettimoottori. Siksi kaikki voimat on keskitettävä rakettimoottorin kehittämiseen.»

S. P. Korolev (1906–65)

Korolevin lausuma tiivistää avaruuslentojen pääongelman pähkinänkuoreen. Korolev itse oli Neuvostoliiton etevimpiä avaruustutkimuksen kehittäjiä. Avaruuslennot ovat pelkkää haavetta niin kauan kuin alusten vauhditusongelmaa ei ole ratkaistu. Omin voimin, ilman ympäristön apua toimiva rakettimoottori on avaruudessa ainoa mahdollinen vauhdin antaja. Avaruuslentojen kehitys on kulkenut käsi kädessä raketiteknikan kehityksen kanssa. Avaruuslennoilla alkoi olla vakavasti otettavia toteutumismahdollisuuksia vasta sen jälkeen, kun ensimmäiset uranuurtajat selvittivät miten raketti toimii ja miten se voitaisiin rakentaa. Kuulennot olivat mahdollisia vasta, kun Yhdysvallat oli valmistanut mahtavan kantoraketin, eikä tähän saakka ainutkertaisista avaruuskäynneistä päästä todelliseen avaruusliikenteeseen ennen kuin 1970-luvun lopulla saadaan valmiiksi ensimmäiset moneen kertaan käytettävät kantoraketit, avaruussukkulat.

Kovat vaatimukset

Mitä kaikkea avaruusalusten vauhditusmoottoreilta sitten vaaditaan? Ensimmäinen ja tärkein vaatimus on se, että moottori pystyy antamaan alukselle riittävän suuren nopeuden. Maata kiertävälle radalle pääsemiseksi loppunopeuden on oltava alimmalla satelliittiradalla noin 8 km/s ja Maan painovoimakentästä irtoamiseen vaaditaan 11,2 km/s. Lisäksi moottoreiden on hoidettava matkan varrella tehtävät radanmuutokset, mahdollisen laskeutumisen edellyttämä jarrutus ja vieraalta taivaankappaleelta aloitettavan paluumatkan tarvitsema uusi alkuvauhditus. Lennon aikana tarvittavia nopeuden muutoksia sanotaan *ajotarpeiksi* tai vauhditustar-

peeksi ja aluksen kykyä suoriutua nopeuden muutoksista *ajokykyksi* tai vauhdituskyvyksi.

Yksinkertaisimmassa tapauksessa alus lähetetään Maata kiertävälle satelliittiradalle, jolla loppuvauhdin tulee olla 8 km/s. Tämän lisäksi alus on nostettava maanpinnalta ratakorkeudelle. Televisiosta tai elokuvista lienee jokainen nähnyt, miten kantoraketti nousee aluksi hyvin verkkaista vauhtia. Kantoraketin moottorit nostavat alusta Maan painovoimakenttää vastaan. Painovoiman voittaminen haukkaa osan raketin ajokyvystä. Kuvassa 4.1 on esitetty rakettiin lähtöhetkellä vaikuttavat voimat. Ylimääräistä ajokykyä tarvitaan myös ilmanvastuksen voittamiseen. Pienillä raketeilla suurin osa ajokyvystä kuluu ilmanvastukseen, kun taas jonkinlaisena peukalosääntönä voidaan sanoa, että ilmanvastus voidaan jättää suuruusluokkalaskuissa huomiotta jos lähdössä kantoraketin ja aluksen yhteinen massa on yli sata tonnia.

Joka tapauksessa ilmanvastus ja painovoima verottavat osansa raketin vauhdituskyvystä. Esimerkiksi satelliittia lähetettäessä ajotarve voisi olla seuraavanlainen:

Kiertoratanopeus	8 km/s
Painovoiman voittaminen	1 km/s
Ilmanvastus	0,5 km/s
<hr/>	
Koko ajotarve	9,5 km/s

Kuulenkoilla ajotarve on kaikkiaan hieman yli 17 km/s. Näin suurta nopeutta alus ei tietenkään saavuta missään lennon vaiheessa, sillä ajotarpeeseen kuuluu myös vauhdin *hidastaminen* Kuuhun laskeuduttaessa. Joka tapauksessa lennon onnistumisen kannalta on välttämätöntä, että aluksen ajokyky vastaa vähintään suunnitellun lennon ajotarvetta.

Raketin periaate

Raketilla synnytetään työntövoima suihkuttamalla ainetta päinvastaiseen suuntaan kuin nopeutta halutaan muuttaa. Newtonin kolmannen lain mukaan voima synnyttää yhtä suuren mutta vastakkaisuuntaisen vastavoiman: aktio aiheuttaa reaktion.

Jos raketimoottorista tulee massavirta $\dot{m}$, jonka nopeus on v_s , saadaan työntövoima näiden tulona

$$(4.1) \quad F = \dot{m}v_s$$

Kuva 4.1. Työntövoima ja painohäviö. Raketin noustessa lähdössä pystysuoraan merkittävä osa työntövoimasta kuluu rakettiin vaikuttavan painovoiman voittamiseen. Työntövoima tulee kokonaan vauhdituksen osalle vasta, kun raketin lento-rata on vaakasuora. Kuvassa on Atlas-Agena, jota käytetään kantorakettina lähetettäessä aluksia Marsiin ja Venukseen.

Kun massavirta ilmoitetaan kilogrammoina sekunnissa (kg/s) ja nopeus metreinä sekunnissa (m/s), työntövoima saadaan newtoneina ($N = \text{kg m/s}^2$). Maan pinnalla painovoima vaikuttaa yhden kilogramman massaan noin 9,8 newtonin voimalla.

Kaavasta (4.1) voidaan välittömästi päätellä, että suurennettaessa moottorista suihkuavien palokaasujen nopeutta myös työntövoima kasvaa. Palokaasujen suihkutusnopeutta sanotaan tavallisesti *ominaisimpulssiksi*. Ominaisimpulssiltaan tehokkaimmat tiedossa olevat raketimoottorit tullaan asentamaan Yhdysvaltain rakentamaan avaruussukkulaan. Näiden moottoreiden ominaisimpulssi on 4 400 m/s ja niitä käytetään avaruussukulan kolmena päämoottorina. Tällainen raketimoottori kuluttaa nestemäistä vetyä ja nestemäistä happea yhteensä 452 kiloa sekunnissa. Näin työntövoimaksi voidaan laskea $F = 4\,400 \times 452 \text{ N} = 2\,090\,000 \text{ N} = 2\,090 \text{ kN}$. Vanhan tavan mukaan ilmaisten se vastaisi 205 tonnin työntövoimaa.

Ominaisimpulssin lisäksi raketin ajokykyyn vaikuttaa myös se, miten paljon siinä on ajoainetta (polttoaine + hapetin) tyhjäpainoon verrattuna. Käytännöllisempää on kuitenkin laskea tämä suhde vertaamalla lähtövalmiin raketin massaa ilman ajoainetta olevaan rakettiin, jolloin saadaan raketin massasuhte (kuva 4.2). Kun raketin lähtömassaa merkitään m_0 :lla ja massaa ajoaineen loputtua m_1 :llä, raketin ajokyvyksi (v) saadaan

$$(4.2) \quad v_i = v_s \cdot \ln(m_0/m_1)$$

jossa $\ln$ merkitsee luonnollista logaritmia. Kääntäen tästä saadaan myös massasuhte, kun ominaisimpulssi ja haluttu vauhdituskyky tunnetaan

$$(4.3) \quad m_0/m_1 = e^{(v_i/v_s)}$$

Kuva 4.2. Massasuhte. Kuvassa lähtövalmis raketti painaa yhtä paljon kuin kolme samanlaista rakettia ilman ajoainetta. Massasuhte on 3:1.

Kuva 4.3. Massasuhteen ja ajokyvyn (vauhdituskyvyn) välinen yhteys. v_i = ajokyky, v_s = palokaasujen nopeus, m_0/m_1 = massasuhte.

jossa e on luonnollisten logaritmien kantaluku eli noin 2,72. Kuvassa 4.3 on käyrä, joka kuvaa massasuhteen ja ajokyvyn/ominaisimpulssin välistä yhteyttä. Käyrästä nähdään, että ajokyky on yhtä suuri kuin ominaisimpulssi kun massasuhte on 2,72:1 eli lähtövalmis raketti painaa 2,72 kertaa niin paljon kuin raketti ilman ajoainetta. Koko ajokyky saadaan käytetyksi raketin vauhdin lisäämiseen vain avaruudessa, missä ei ole ilmanvastusta eikä rakettia tarvitse välttämättä suunnata niin että sen on nouseva painovoimaa vastaan. Käyrästä nähdään myös, että massasuhteella 7,4:1 ajokyky on kaksi kertaa ominaisimpulssi. Jos voitaisiin rakentaa raketti, jonka massasuhte olisi 20:1, ajokyky olisi jo kolme kertaa ominaisimpulssi. Käyrää voitaisiin jatkaa loputtomiin, mutta rakenteelliset syyt estävät raketin massasuhteen kasvattamisen miten suureksi tahansa. Ajoainesäiliöt, moottorit, ohjausjärjestelmät ja hyötykuorma vievät niin suuren osan raketin tyhjäpainosta ettei yksinkertaisesti ole mahdollista valmistaa rakettia, jonka massasuhte olisi yhtä hyvä kuin luonnon omassa tehopakkausessa – kananmunassa. Massasuhteen pitäisi kuitenkin olla kananmunan sisällys/kuori -luokkaa, jos mieli päästä yhdellä raketilla satelliittiradalle. Mutta on olemassa toinenkin keino.

Vaiheraketit

Kun raketin kärkeen pannaan hyötykuorman asemesta toinen pienempi raketti, on kyseessä vaiheraketti. Järjestelmän kokonaisajokyky on kummankin vaiheen ajokykyjen summa. Samaa rakenneperiaatetta voidaan jatkaa: toisen vaiheen kärkeen pannaan hyötykuorman tilalle kolmas vaihe, sen kärkeen neljäs... Tällä tavoin saadaan mahtavia ajokykyjä.

Otetaan esimerkiksi kolmivaiheraketti, jonka vaiheiden ajokyvyt ovat 2 500 m/s, 3 000 m/s ja 3 500 m/s. Tällöin koko järjestelmän ajokyvyksi tulee $2\,500 + 3\,000 + 3\,500 = 9\,000$ m/s. Varsinaisen hyötykuorman suhde ensimmäiseen vaiheeseen on tietenkin hyvin pieni. Kuvassa 4.4 on kuuraketti Saturn-V, joka on toistaiseksi suurin kertakäyttöraketti.

Kiihtyvyys

Kuualus Saturn-V:n hyötykuorma, Apollo-alus, on kantoraketin kolmantena vaiheena olevan S IV-B -raketin kärjessä. Irtautuessaan kantoraketin toisesta vaiheesta kolmannen vaiheen lähtöpaino on 165 tonnia. Sen moottoreiden työntövoima on 890 kN. Olisiko kolmas vaihe yksinään voinut lähteä maanpinnalta? Se voidaan laskea massan ja työntövoiman perusteella. Kiihtyvyys a saadaan kaavasta

$$(4.4) \quad a = F/m_0 - (\dot{m} \cdot t)$$

jossa t on lähtöhetkestä laskettu aika. Aluksen ollessa lähtöalustallaan moottorien sytytyshetkellä aika $t = 0$ ja kaava pelkistyy muotoon $a = F/m_0$. SIV-B:n kiihtyvyydeksi tulee siten $a = 890\,000 \text{ N} / 165\,000 \text{ kg} = 5,4 \text{ m/s}^2$. Mutta vastakkaiseen suuntaan vaikuttava Maan painovoimasta johtuva kiihtyvyys on $9,8 \text{ m/s}^2$, eikä S IV-B siten hievahtaisikaan lähtöalustalta. Saturn-V:n kaksi aikaisempaa vaihetta ovat kuitenkin jo nostaneet S-IV B:n yli sadan kilometrin korkeuteen ja ohjanneet sen radalle, joka on miltei vaakasuora. Esimerkki osoittaa, että jo matkaan saatettu raketti ei tarvitse massaansa verrattuna kovinkaan suurta työntövoimaa.

Avaruuslääkärit ovat kiinnostuneempia kiihtyvyyden vaikutuksista kuin varsinaisesta nopeudesta. Käytännön syistä avaruuslääketieteessä ei käytetä kiihtyvyyden yksikkönä m/s^2 , joka suoraan ilmaisee aikayksikössä tapahtuvan nopeuden muutoksen, vaan yksikköä g . Se määritellään lausekkeella.

$$(4.5) \quad g = a/g_0$$

HYÖTYKUORMA	
Komentomoduli CM	4,5 t
Pelastustorni LES, joka irrotetaan nousun aikana	3,0 t
Huolto-osa SM	26,1 t
Laskeutumisalus LM	14,4 t
Väliosa SLA	1,8 t
Hyötykuorma lähdössä	49,8 t
Kojeisto-osa IU	1,0 t
Kolmas vaihe	
S-IV B	9,9 t
Ajoaine	114,0 t
S-IV B yhteensä	174,7 t
Toinen vaihe	
S-II	36 t
Ajoaine	422 t
S-II yhteensä n.	633 t
Ensimmäinen vaihe	
S-I C	135 t
Ajoaine	2 100 t
Saturn-V:n kokonaispaino lähdössä noin	2 860 t

Kuva 4.4. Monivaiheraketti. Saturnus-V -kuuraketti on tiettävästi suurin koskaan rakennettu kertakäyttöraketti. Lähtöpaino on 2 860 tonnia, mutta kuumatkalta Maahan palaa vain 4,5 tonnin komentomoduli. Toinen vaihe on suurin piirtein ensimmäisen vaiheen kokoinen, mutta kevyemmän ajoaineen takia se painaa huomattavasti vähemmän.

missä g_0 on painovoimakiihtyvyys maanpinnalla. Astronautit eivät tietenkään tunne kiihtyvyyden vaikutusta fysikaalisen tarkasti ja siksi avaruustieteessä voidaan g aivan hyvin pyöristää sopivaan tarkkaa arvoa lähellä olevaan lukuun. Samoin g_0 on pyöreästi 10 m/s^2 . Kun S IV-B:n kiihtyvyys on alussa $5,4 \text{ m/s}^2$ ja palojen lopussa $17,5 \text{ m/s}^2$, vastaavat g -arvot ovat pyöristettyinä $0,5 g$ ja $1,8 g$, mikä ei tunnu kovin rasittavalta.

Raketin perhekuva

Kuvassa 4.5 on erilaisia raketteja. Perustyyppinä on kolme: *termiset raketit*, *sähköraketit* ja *fotoniraketit*. Termisissä raketeissa suuttimesta virtaavat kuumat palokaasut synnyttävät massavirrallaan tarvittavan työntövoiman. Sähköraketeissa massavirta synnytetään ja vauhditetaan sähköisin menetelmin. Fotoniraketeissa työntövoima saadaan aikaan raketista lähtevällä voimakkaalla valonsäteellä tai muulla sähkömagneettisella säteilyllä. Ratkaisematta vielä on miten tämä käytännössä toteutetaan, mutta ilman fotonirakettia matkat muihin tähtiin eivät ole mahdollisia.

Kuva 4.5. Raketin perhekuva.

5. Avaruuslennon moottorit

Autonmoottoreissa sylinterissä vapautuva lämpöenergia muutetaan männän ja kiertokangen avulla liike-energiaksi. Termisissä rakettimoottoreissa kuumien palokaasujen energia muutetaan välittömästi energiaksi antamalla niiden virrata *suuttimesta*.

Kuvassa 5.1 on suutin. Säännöttömästi virtailevat kaasut tulevat vasemmalta. Suuttimen kapenevassa osassa kaasujen nopeudet ovat vielä pienemmät kuin äänennopeus siinä lämpötilassa ja paineessa. Kaasut saavuttavat äänen nopeuden vasta suuttimen kurkussa eli suuttimen *kriittisellä alueella* (kuvassa A_k). Kurkun jälkeen suutin alkaa laajeta ja laajenevien kaasujen nopeus ylittää äänen nopeuden. Kuvan käyrästä osoittaa, miten kaasujen nopeuden kasvaessa niiden lämpötila samalla laskee: lämpöenergia muuttuu liike-energiaksi. Suuttimen pituus suunnitellaan ulkoisen paineen mukaan, sillä palokaasujen paineen pitäisi suuttimen suuaukossa olla sama kuin ulkoinen paine. Tyhjässä avaruudessa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, koska tällöin suuttimesta tulisi äärettömän pitkä. Teoriassa avaruudessa käytettävä suutin voisi olla niin pitkä, että kaasut ovat suuaukkoon tullessaan jäähtyneet nesteytymislämpötilaansa, mutta

Kuva 5.1. Termisen rakettimoottorin suutin. A_k on kriittinen alue ja A_m suuttimen suuaukko. Käyrät kuvaavat lämpötilaa (T) ja kaasujen nopeutta (V) suuttimen eri kohdissa.

Kuva 5.2. Kemiallisen raketin perhekuva pääkohdittain. Kemiallisia raketteja voidaan valmistaa myös erilaisina yhdistelminä.

käytännössä suuttimet rakennetaan kuitenkin huomattavasti lyhyemmiksi. Yksi suuttimen rakennetta kuvaava mitta on *laajennussuhde* eli suuttimen suuaukon pinta-alan suhde kurkun pinta-alaan (A_m/A_k). Nykyaikaisissa avaruussuuttimissa laajennussuhde on 30:n ja 60:n välillä.

Tällä hetkellä käytössä olevat raketit saavat työntövoimansa kemiallisissa reaktioissa syntyvistä palokaasuista. Kemiallisia raketteja on monta eri tyyppiä kuten kuva 5.2 osoittaa. Kaasut voitaisiin periaatteessa kuumentaa myös ydinreaktorilla, auringon säteilyllä tai sähköllä, mutta näisäkin tapauksissa kaasujen lämpöenergia muutettaisiin liike-energiaksi suuttimessa.

Ruutiraketit

Kiinteää ajoainetta käyttäviä raketteja sanotaan usein ruutiraketeiksi ja vastaavasti niiden ajoainetta rakettiruudiksi. Kuvassa 5.3 on nykyaikainen ruutiraketti. Hylsyn muotoiseen *palokammioon* valetun ajoaineen muodostaa polttoaine ja hapetin. Oikealla on suutin ja palokammion toisessa päässä sytytin, jolla polttoaine lähtöhetkellä sytytetään. Palokammion seinämää peittää suojakerros.

Nykyaikaisten ruutirakettien hapetin on tavallisesti jauhemaista ammoniumperkloraattia ja litiumperkloraattia. Polttoaine toimii samalla sidosaineena, joka sitoo hapettimen ja polttoaineen seoksen yhtenäiseksi massaksi. Polttoaine on useimmiten muovintapaista hiilivetyä. Se on aluksi juoksevaa, mutta kun siihen sekoitetaan hapetin jauhe sekä kovetusaine, se polymeroituessaan kovettuu samaan tapaan kuin esimerkiksi Plastic Padding.

Kuva 5.3. Ruutiraketin periaate. Nykyaikaisessa ruutiraketissa ulkokuoren ja ajoaineen välissä on suojakerros.

Kuva 5.4. Aksiaalinen palaminen ja säteittäinen palaminen. Joskus käytetään myös näiden peruspanostustapojen sekamuotoja.

Kuvassa 5.4 on ruutirakettien panostuksen kaksi rakenteellista perustyyppiä. *Aksiaalipanoksessa* ajoaine palaa raketin pituusakselin suunnassa – hieman samaan tapaan kuin sikaari palaa, minkä takia sitä joskus sanotaan myös sikaaripanokseksi. *Radiaalipanoksessa* taas ajoaine palaa säteittäisesti keskiakselilta kohti reunoja. Ruutirakettien ajoaine palaa aina tasaisesti ja palamisnopeus ilmoitetaan yleensä senttimetreinä sekunnissa. Palamisnopeuden tasaisuudesta, joka on riippumaton raketin koosta, johtuu, että suurissa ruutiraketeissa on aina radiaalipanokset.

Kuva 5.5 osoittaa, miten radiaalipanoksen ontelon muotoilulla voidaan säädellä työntövoiman ja siten myös kiihtyvyyden muuttumista palamisen edistyessä. Palopinta-alan kasvaessa myös työntövoima kasvaa, koska palokaasuja syntyy enemmän.

Kuva 5.5. Ajoaineen muotoilu ja työntövoiman muuttuminen palamisen edistyessä. Työntövoiman muuttumista ajoaineen palamisen aikana voidaan säädellä muotoilemalla ajoaineen keskellä oleva ontelo sopivasti. F = työntövoima, t = aika.

Kuva 5.6. Osista koottu segmenttiraketti. Segmenttien välillä on suojakerros. Työntövoima pysyy tasaisena, koska ajoaine palaa sekä säteittäisesti että aksiaalisesti.

Suuri raketti voidaan jakaa osiin kuvan 5.6 mukaan. Tästä on se etu, että kokonaisuena satoja tonneja painava raketti voidaan kuljettaa lähtöpaikalle vain joitakin kymmeniä tonneja painavina kappaleina. Esimerkiksi Titan III-C -kantoraketissa on kaksi lähtövaihetta, joista kumpikin painaa 250 tonnia. Ne kootaan lähtöalustalla 50 tonnia painavista osista.

Kuvassa 5.7 on Yhdysvaltain avaruussukkula. Sen lähtövaiheena käytetään kahta 508 tonnia painavaa kiinteällä ajoaineella toimivaa rakettia. Lähtövaiheet on rakennettu yhdestä osasta ja ajoaineen loputtua ne leijailivat laskuvarjojen varassa alas uudelleen käytettäväksi.

Malliraketeilla kokeilijat käyttävät ruutiraketteja. Raketeista kiinnostu-

Kuva 5.7. Yhdysvaltain avaruussukkula. Kertakäyttöiset kantoraketit korvataan tulevaisuudessa tällaisilla aluksilla, joista suurin osa voidaan käyttää uudelleen. Avaruussukkulan lähtömassa on 1 847 tonnia. Se on kuin lentokone, ellei oteta huomioon sen kahta lähtörakettia ja valtavaa ajoainesäiliötä. Lähtöraketit käytetään uudelleen, mutta ajoainesäiliö on kertakäyttöinen. Avaruussukkulalla saadaan matalalle kiertoradalle 28 tonnin hyötykuorma. Tehtävänsä suoritettuaan avaruussukkula laskeutuu lentokoneen tapaan.

neiden harrastelijoiden on syytä käyttää vain tehdasvalmisteisia malliraketteja; missään tapauksessa rakettimoottoria ei pidä yrittää rakentaa itse. Rakettien valmistaminen on ammattilaisten työtä. Keittiö tai kellari ei ole rakettiverstas.

Hybridiraketit

Kuvassa 5.8 on hybridiraketti. Hybridiraketissa on kiinteä polttoaine valuttu sopivaan muotoon palokammioon, minne nestemäinen hapetin suihkutetaan kovalla paineella. Kuvan mukaisessa menetelmässä hapettimen paine synnytetään polttamalla erillisessä kammiossa ruutia. Hybridiraketteja on kehitetty Ruotsissa ja Ranskassa, mutta eräistä eduistaan huolimatta nämä raketit ovat joutuneet alakynteen nestemäistä ajoainetta käyttävien rakettien ja ruutirakettien kanssa kilpaillessaan.

Kuva 5.8. Hybridiraketin periaate. Ruutiraketin tapaan palaa hybridiraketinkin polttoaine vakionopeudella. Polttoaine muotoillaan siten, että palopinta pysyy koko ajan samansuuruisena.

Nesteraketit

Poltettaessa nestemäistä polttoainetta erityisessä palokammiossa voidaan rakettimoottorin työntövoimaa säädellä melko suurissa rajoissa. Nesteraketilla voidaan haluttaessa »painaa kaasu pohjaan» tai ajaa välillä pienemmällä teholla. Moottori voidaan myös välillä sammuttaa ja käynnistää uudelleen. Eräissä rakettimoottoreissa käytetään kemialliselta koostumukseltaan yhtenäistä ajoainetta, *yksiajoainetta*, joka katalysaattorin vaikutuksesta hajoaa palokammiossa. Tällaista menetelmää käytetään varsinkin avaruusalusten ohjausraketeissa. Yleisin menettely on kuitenkin se, että hapetin ja polttoaine ovat eri säiliöissä ja pääsevät toistensa kanssa kosketuksiin vasta palokammiossa. Jos hapettimen ja polttoaineen seos syntyy itsestään, on kysymyksessä *hypergolinen* rakettimoottori.

Kuva 5.9. Painesyöttöinen nesteraketti. Painesyöttöä käytettäessä päästään hyvin yksinkertaiseen konstruktion. Apollo-kuualuksessa painekaasumoottori oli jonkin verran mutkikkaampi, koska siinä käytettiin kaksinkertaista venttiilijärjestelmää.

Kuvassa 5.9 on painesyöttöllä toimiva nesterakettimoottori. Se on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, mutta haittapuolena on se että syöttöpaineen on oltava suurempi kuin palokammiossa syntyvä paine. Apollo-kuualuksen kaikki rakettimoottorit olivat painesyöttöllä toimivia hypergolisia moottoreita, minkä takia ne olivat yksinkertaisia ja samalla toimintavaroja. Palokammion paine on yleensä 2 000–3 000 kPa (20–30 ilmakehää), mikä vaatii 2 500–3 500 kPa:n syöttöpaineen. Edellisessä luvussa todettiin, että raketin tyhjäpaino olisi saatava mahdollisimman pieneksi ajoaineen määrään verrattuna. Tätä suhdetta voidaan parantaa korvaamalla syöttökaasun säiliöt polttoainepumpuilla.

Kuvassa 5.10 on kaksi periaatteellista ratkaisua ajoaineen pumppaamiseksi palokammioon. Vasemmalla pumput saavat käyttövoimansa erillisestä polttoaineesta ja oikealla taas pumppuja käyttää raketin varsinainen

Kuva 5.10. Pumppusyöttöinen nesteraketti. Kuvaan ei ole piirretty ohjauseliimiä, venttiilien pneumatiikkaa jne. Pumppusyöttöinen rakettimoottori on mutkikkaampi kuin painesyöttöinen, mutta se sopii paremmin suuriin raketteihin koska siinä ei tarvita raskaita painesäiliöitä.

ajoine. Varsinaista ajoainetta käytettäessä noin kaksi prosenttia kokonaistyöntövoimasta menetetään pumppujen kuluttamana ajoineena. Avaruussukkulan päämoottoreissa käytetään järjestelmää, joka poikkeaa kummastakin edellä esitetystä. Siinä on palokammion edellä eräänlainen esikammio, jossa ajoaine palaa osittain ennen siirtymistään varsinaiseen palokammioon. Pumput saavat käyttövoimansa esikammioista. Tällä tavoin ajoainetta ei kulu hukkaan.

Nestepolttoaineella toimiva rakettimoottori on kuvassa 5.11.

Kuva 5.11. Nesterakettimoottori. Nykykäsessa nesterakettimoottorissa on kaksinkertainen jäähdytysvaippa. Jäähdytykseen käytetään tavallisesti polttoainetta, joka kiertää ulommasta jäähdytysvaipasta sisemmän vaipan kautta palokammioon. Hapetin tulee suoraan palokammioon. Hapetin suihkutetaan palokammioon yläosassa olevan rei'itetyn levyn kautta läpi ja polttoaine tulee säteittäin poratuista rei'istä. Suuttimen suuaukon puoleista päätä ei jäähdytetä. Tämän tyyppisiä moottoreita käytetään sekä Yhdysvalloissa että Neuvostoliitossa.

Rakettien ajoaineet

Joitakin nykyisin käytössä olevia ajoaineita on taulukossa 5.1. Varastoitavat ajoaineet voidaan säilyttää normaalisti huoneenlämmössä. Apollo-aluksissa käytettiin tyypitetetroksidin ja hydratsiinin seosta. Kryogeenisillä ajoaineilla joko hapetin tai polttoaine tai molemmat kaasuuntuvat huoneenlämmössä ja siksi ne on jäähdytettävä alle nesteytymislämpötilan. Happi on nesteyttämistä varten jäähdytettävä $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$:een ja vety peräti $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Avaruudessa lämpötila on helposti säädettävissä ja siksi kryogeenisiä ajoaineita sanotaan usein myös avaruusajoineiksi.

Taulukossa 5.1. olevaa ominaisimpulssin saraketta ei pidä tulkita liian kirjaimellisesti. Avaruudessa ominaisimpulssi on noin 15 % suurempi kuin maanpinnalla suuttimen pituudesta riippumatta. Avaruussukkulassa moottoreiden suuttimien pituutta voidaan muuttaa niin että ominaisimpulssi on maanpinnalla $3\,900\text{ m/s}$ ja ilmatomassa avaruudessa $4\,400\text{ m/s}$.

Taulukko 5.1. Ajoaineyhdistelmiä

Ajoaineyhdistelmä hapetin / polttoaine	Nimitys (USA:n käytäntö)	Ominais- impulssi	Tiheys (vesi = 1)
Kiinteät			
ammoniumperkloraaatti / polymeeri litiumperkloraaatti		2 800 m/s	1,80
Hybridi			
typpihappo / polymeeri		2 600 m/s	1,25
Varastoitavat			
typpihappo / hydratsiini	IRFNA/Aerozene 50	2 700 m/s	1,26
typpitetroksidi / hydratsiini	N204/Aerozene 50	2 800 m/s	1,19
Yksiajoaineet			
hydratsiini	Hydyne	2 500 m/s	1,20
Kryogeeniset			
Nestemäinen happi / fotogeeni	LOX/RP-1	2 750 m/s	0,98
Nestemäinen happi / nestemäinen vety	LOX/LH2	4 200 m/s	0,26

Kuva 5.12. Atlas-raketin moottori, jonka pituus on noin 3 m, ajoaine LOX/RP1 ja työntövoima noin 800 kN.

6. Tulevaisuuden raketit

Työntövoima voidaan saada aikaan muillakin menetelmillä kuin polttamalla ajoainetta palokammiossa. Uusista menetelmistä luultavasti lähinnä toteutumistaan on ydinreaktori, jonka kuumentama kaasu johdetaan rakettimootorin suuttimeen.

Kuva 6.1. Terminen ydinrakettimoottori.

Kuvassa 6.1. on tällainen *terminen ydinrakettimoottori*. Yhdysvaltain 1960-luvulla tekemissä kokeissa todettiin, että käyttämällä ajoaineena vetyä voitaisiin saavuttaa ominaisimpulssi 8 500 m/s. Yhdysvallat aikoi rakentaa NERVA:ksi nimetyn ydinrakettimoottorin, jonka pituus olisi ollut seitsemän metriä, paino säteilysuojauksineen kymmenen tonnia ja työntövoima 350 kN. Suunnitelmasta kuitenkin luovuttiin. Ydinrakettimoottoria rasittavat samat haitat kuin ydinvoimaloitakin: se on radioaktiivinen, sen säätö on hankalaa ja onnettomuuden sattuessa radioaktiivisuutta saattaisi levitä laajalle ympäristöön.

Kuvassa 6.2 on *aurinkoterminen rakettimoottori*. Auringonsäteily kohdistetaan peilien avulla lämpökammioon, missä se kuumentaa vetykaasua. Kammion seinämien ei välttämättä tarvitse kuumentua kovinkaan paljon, vaikka vetykaasun lämpötila kohoaisikin korkeaksi. Tällä järjestelyllä päästäisiin ehkä ominaisimpulssiin 10 000 m/s, mutta työntövoima olisi kuitenkin moottorin painoon nähden verrattain pieni. Aurinkotermitiset raketit, jos niitä joskus rakennetaan, ovat käyttökelpoisia vain avaruudessa.

Sähköiset ajojärjestelmät

Vauhditettaessa ajoaine sähköisin menetelmin päästään ominaisimpulssihin, jotka ovat aivan eri suuruusluokkaa kuin termisillä raketeilla (niis-

Kuva 6.2. Aurinkoterminen rakettimoottori.

Kuva 6.3. Kaarisuihkumoottori.

sähän liike-energia saadaan kaasujen lämpöenergiasta). Jon yksinkertaisimmalla sähköisellä rakettimoottorilla, *kaarisuihkumoottorilla*, saadaan vetyä käytettäessä ominaisimpulssiksi 30 000 m/s ja vettä tai ammoniakia käytettäessä 10 000 m/s.

Kuvassa 6.3 on esitetty kaarisuihkumoottorin periaate. Ajoaine kulkee sähköllä synnytetyn valokaaren läpi. Valokaari on sauvamaisen katodin ja suuttimen ympärillä olevan anodin välillä. Sähköisten ajojärjestelmien tapaan myös kaarisuihkumoottorin haittapuolena on se, että koko järjestelmä painaa paljon. Itse moottori ei sinänsä ole suuri eikä raskas, hankaluudet ovat sähköntuotannossa. Tämän luvun lopussa näitä voimanlähteitä tarkastellaan lähemmin.

Kuvassa 6.4. on eräs *jonimoottori*, ns. kosketusjonisaatiomoottori. Ajoaineena käytettävä cesium- tai rubidiummetallihöyry jonisoituu joutuessaan kosketuksiin kuuman wolframhilan kanssa. Ohjauselektrodi keskittää metallijonit suihkuksi, jonka vauhti kasvaa voimakkaasti kiihdytys elektrodien välisessä sähkökentässä. Viimeisessä vaiheessa jonisuihkusta poistetaan sen positiivinen sähkövaraus sekoittamalla siihen hehkukatodeilta sinkoavia elektroneita.

Jonimoottorilla voidaan päästä ominaisimpulssiin 100 000 m/s. Avaruudessa on kokeiltu jonimoottoria, jonka ominaisimpulssi oli 90 000 m/s. Laite painoi 6,35 kg ja kulutti 610 wattia sähkövirtaa, mutta sen työntövoima oli vain 0,007 N.

Eräät jonimoottorityypit käyttävät ajoaineena elohopeaa. Elohopeahöyry jonisoidaan *duoplasmatronissa* valokaarella tai *pommitusjonimoottorissa* elektronisuihkulla. Pommitusjonimoottoria on jo kokeiltu avaruudessa: laite painoi 4,2 kg, kulutti sähköä 1 400 W ja kehitti 0,003 N työntövoiman.

Kuva 6.4. Kosketusjonisaatiomoottori.

Moottorin ominaisimpulssi oli 50 000 m/s.

Tämän kokeilun jälkeen pommitusjonimoottoreita on kehitetty varsinakin Yhdysvalloissa. Suunnittelijansa mukaan Kaufmann-moottoriksi nimettyä pommitusjonimoottoria on tarkoitus käyttää jo 1980-luvun alkupuolella keveillä aurinkoparistoilla varustetuissa avaruusluotaimissa. Tämän moottorijärjestelmän nimi on lyhennettynä SEPS, joka tulee sanoista Solar Electric Propulsion System eli Aurinkosähköinen vauhditusmenetelmä.

Fotoniraketti

Yksi kiehtovimmista vaihtoehdoista on käyttää valoa ajoaineena. Valolla vauhditettaessa ominaisimpulssi on sama kuin valon nopeus eli 300 000 000 m/s. Massavirralla 0,33 g/s päästäisiin 100 kN työntövoimaan. Tämä kuitenkin edellyttää, että koko tämä massa voidaan muuttaa suunnatuksi säteilysuihkuksi Einsteinin kaavan $E = m \cdot c^2$ mukaan.

Tunnetut ydinreaktiot muuttavat ainetta energiaksi melko vaatimattomalla hyötysuhteella. Tavallisella uraaniytimien halkeamiseen perustuvalla fissioreaktorilla – samantyyppisellä kuin Loviisan ydinvoimalan reaktori – päästäisiin ominaisimpulssiin 250 000 m/s. Tämä johtuu siitä, että fissiofotoniraketissa suurin osa ajoaineesta menisi hukkaan. Keveitä ato-

miytimiä yhteen liittämällä fuusioreaktorilla, »kesyllä vetypommilla», päästäisiin ehkä ominaisimpulssiin 1 000 000 m/s. Fissio- ja fuusioreaktorien tehokkain käyttötapa olisi todennäköisesti se, että ne antaisivat energiansa koko ajoainemäärälle. Tällaisia vauhditusjärjestelmiä käsitellään lähemmin luvussa 15 kaukaisiin tähtiin tehtävien matkojen yhteydessä.

Aurinkopurje

Auringon säteilypainne on maapallon radan etäisyydellä $4,6 \cdot 10^{-8}$ N/m². Tätä painetta on ehdotettu käytettäväksi avaruusalusten vauhdittamiseen. Itse asiassa sen käyttöä on jo kokeiltukin asennon säädössä: kolme kertaa Merkuriuksen ohi lentänyttä amerikkalaista Mariner-10 -avaruusluotainta ohjattiin aika ajoin »aurinkopurjehduksella» kääntämällä sen aurinkopaneelit ja antennit sopivaan asentoon.

Aurinkopurjetta voidaan siis käyttää avaruudessa pitkään toimivien alusten asennonsäätöön. Alumiinilla päällystetystä muovikalvosta valmistettu muutaman kymmenen neliömetrin aurinkopurje riittäisi hyvin aluksen »ajoankkuriksi». Auringon säteilypainne on kuitenkin hieman liian heikko todelliseen avaruusalusten vauhdittamiseen. Neliökilometri alumiinipäällysteistä muovikalvoa painaisi noin 500 kg. Jos 90 % avaruusaluksen koko massasta olisi purjetta, päästäisiin Maan radan etäisyydellä kiihtyvyyteen joka lisäisi aluksen nopeutta 50 m/s vuorokaudessa. Marsin radan etäisyydellä vuorokautinen nopeuden lisäys olisi enää 23 m/s. Tällaisella »Sunjammerilla» ei ehkä ole paljoakaan käytännön merkitystä.

Vuorovesi-ilmiö ja painovoimalinko

Kuu kääntää aina saman puolen kohti Maata. Kuun painopiste kulkee Maan vetovoiman edellyttämällä nopeudella, mutta vetovoima vaikuttaa eri suuruksena Kuun eri osiin. Painopisteestä Maan puolella olevat osat pyrkivät kulkemaan nopeammin ja vastaavasti painopistettä etäämpänä olevat osat hitaammin. Kuu on kuitenkin yhtenäinen kappale ja siksi Kuun etupuoli kulkee »liian hitaasti» ja takapuoli »liian nopeasti». Maa-Kuu -järjestelmä kiertää yhteistä painopistettä ja Kuun vetovoiman vaikutuksesta toinen puoli Maasta kulkee liian hitaasti ja toinen liian nopeasti. Maa ei ole kuitenkaan täysin kiinteä: merien vesi pääsee liikku-

Kuva 6.5. Painovoimalinko. Avaruusaluksen liike planeetan painovoimakentässä verrattuna pöytätennispallon lyömiseen. Jos maila on paikoillaan, pallo kimmahdtaa siitä samalla nopeudella kuin se mailaan tulikin, vain suunta muuttuu. Kun maila on liikkeessä, pallo saa samalla lisävauhtia. Taivaankappaleen painovoimakenttä toimii mailan tapaan ja muuttaa avaruusaluksen nopeutta. Alusten ratoja voidaan tällä tavoin muuttaa käyttämättä lainkaan ajoainetta: uloimmat planeetat saavutetaan käyttämällä Jupiteria painovoimalinkona ja Merkuriukseen päästään käyttämällä hyväksi Venusta.

maan jossain määrin vapaasti ja nopeusero ilmenee vuorovetenä. Vuorovesivaikutus kääntää Kuusta aina saman puolen kohti Maata. Sama ilmiö on havaittavissa myös pitkänomaisissa satelliiteissa. Ohjaamattomina ne pyrkivät asettumaan niin että niiden pituusakseli on kohti Maata. Kun Yhdysvaltain Skylab-avaruusaseman kolmas ja viimeinen miehistö lähti paluumatkalle, avaruusasema käännettiin pystysuoraan asentoon. »Vuorovesistabilointi» pitää sen jatkuvasti tässä asennossa, toinen pää kohti Maata. Menetelmää on jossain määrin käytetty hyväksi satelliittien asennonsäädössä.

Painovoimaa voidaan käyttää myös avaruusalusten vauhdittamiseen. Avaruusalus ohittaa planeetan kuvan 6.5 osoittamalla tavalla. Planeetasta katsoen alus jatkaa ohituksen jälkeen matkaansa samalla vauhdilla kuin se planeettaa lähestyi, sen suunta vain on muuttunut. Planeetan oma liike kuitenkin aiheuttaa sen, että sivusta katsoen alus on saanut lisää vauhtia – aivan kuin lyötäessä pöytätennispalloa mailalla. Tätä menetelmää on käytetty jo moneen kertaan. Ensimmäisen kerran sitä sovellettiin neuvostoliittolaisen Luna-3:n kuvatessa Kuun takapuolen vuonna 1959. Kuun painovoimakenttä kiepautti aluksen takaisin kohti Maata. Amerikkalainen planeettaluotain Mariner-10 kulki vuonna 1974 läheltä Venusta, joka sinkosi sen uudelle radalle kohti Merkuriusta. Merkuriuksen vetovoima muutti luotaimen radan sellaiseksi, että luotain ohitti Merkuriuksen puolen vuoden kuluttua toisen kerran ja jälleen puolen vuoden kuluttua vielä kolmannenkin kerran. Jupiter antoi Pioneer-10 -luotaimelle niin paljon lisävauhtia, että luotain lentää ulos aurinkokunnasta. Pioneer-10 on

nyt matkalla kohti Härän tähdistöä, jonka se saavuttaa joskus yhdentoista miljoonan vuoden kuluttua. Jupiter heitti myös Pioneer-11:n uudelle radalle, joka vie luotaimen Saturnuksen lähetyville vuonna 1979.

Tällaista painovoimalinkoa on käytetty jopa hengenpelastuksessa. Hap-
pisäiliön räjähtäessä Apollo-13 -kuualuksessa vuonna 1970 miehistö – Lovell, Haise ja Swigert – palasi Maahan kierrettyään Kuun, joka painovoimallaan ohjasi aluksen oikealle paluuradalle.

Ajojärjestelmien ominaisuudet

Ajojärjestelmät voidaan toimintatarkoituksensa mukaan jakaa kahteen ryhmään. *Primaariset* ajojärjestelmät pitävät huolen lentoradalle nousun ja radanmuutosten vaatimasta ajotarpeesta. *Sekundaarisilla* ajojärjestelmillä taas säädetään aluksen asento vapaan lennon aikana. Taulukkoon 6.1. on kerätty viitteenomaisesti joitakin erityyppisten ajojärjestelmien ominaisuuksia.

Taulukko 6.1. Ajojärjestelmien ominaisuuksia

	Ruutiraketti	Nesteraketti	Terminen ydinraketti	Sähköraketti	Painekaasu-raketti
Ominais-impulssi	2 800 m/s	3 000 m/s	8 000 m/s	80 000 m/s	100 m/s
Kiihtyvyys	50 m/s ²	10 m/s ²	1 m/s ²	0,001 m/s ²	0,01 m/s ²
Toiminta-aika	minuutteja	minuutteja	tunteja	kuukausia	kuukausia
Ajokyky	5 km/s	5 km/s	10 km/s	50 km/s	—
Käyttö	lähinnä primaari	primaari ja sekundaari	primaari	primaari ja sekundaari	sekundaari
Tilanne v. 1975	käytössä	käytössä	tutkitaan	kehitetään	käytössä
Käyttöalue	maa/avaruus	maa/avaruus	avaruus	avaruus	avaruus

Painekaasun käyttö on yksinkertaisinta: ajojärjestelmässä tarvitaan vain kaasusäiliö, hana ja suutin. Tällaisia järjestelmiä käytetään yleensä kaikkien avaruusalusten asennonsäätöön pienistä satelliiteista aina suuriin avaruusasemiin.

Avaruusalusten voimanlähteet

Kaikissa avaruusaluksissa tarvitaan sähkövirtaa ja varsinkin sähkörake-teissa sähköntuotanto on keskeisessä asemassa. Taulukossa 6.2 on joitakin avaruusalusten sähkövoimanlähteitä. Eräs voimanlähteen ominaisuuksia kuvaava suure on *ominaisteho* eli voimanlähteestä saatavan sähkövirran tehon suhde painoon.

Taulukko 6.2. Avaruuden voimanlähteitä

Järjestelmä	Energianlähde	Hyötysuhde	Ominaisteho	Tilanne 1975
Aurinkokennot	Auringon säteily	10—15 %	5—20 W/kg	käytössä
Keveät aurinko-paneelit	Auringon säteily	10—15 %	250—1 000 W/kg	kehitteillä
Aurinko-generaattori	Auringon säteily	20—30 %	12—20 W/kg	tutkitaan
Radionuklidiparisto, lämpö-sähköinen sähköntuotto	ydinenergia	1—5 %	1,5—5 W/kg	käytössä
RN-paristo, termioninen diodi	ydinenergia	30—40 %	20—100 W/kg	käytössä
Ydinreaktori, termioninen diodi	ydinenergia	1—5 %	20—100 W/kg	tutkitaan
Ydinreaktori, turbogeneraattori	ydinenergia	5—10 %	1,5—3 W/kg	tutkitaan
Polttokennot	kemiallinen energia	15—75 %	70—100 W/kg	käytössä

Auringonsäteilyä käyttävien menetelmien tehokas käyttöalue ulottuu jonnekin Marsin radan etäisyydelle. Etäämmäksi Auringosta mentäessä on turvauduttava ydinreaktioihin perustuviin menetelmiin. Sähköisillä energianlähteillä on pieni ominaisteho, minkä vuoksi niillä saavutetaan ajojärjestelmissä varsin vaatimattomia kiihtyvyyksiä. Sen sijaan avaruusaluksen muiden järjestelmien tarvitseman sähkövirran ne pystyvät kyllä tyydyttämään. Kaikki avaruusalukset tarvitsevat sähköä mm. mittalaitteidensa toimintaan sekä aluksen ja Maan välillä tapahtuvaan viestintään.

7. Näkymätön ura

Jotkut pahansuovat ihmiset ovat sanoneet, etteivät nykyaikaiset raketit ole muuta kuin yhteen kasattu läjä säiliöitä tulenlieska perässään. Raketin kärjessä voidaan aavistaa olevan hyötykuorma, joka on kuitenkin karkikarttion suojassa. Mutta se mikä ei lainkaan näy katseltaessa raketin lähtöä televisiosta tai elokuvista on raketin ohjausjärjestelmä. Kuvassa näkyy vain miten raketti kohoaa ensin suoraan ylös ja alkaa pian kaartaa hieman loivemmalle radalle aivan kuin se seuraisi näkymätöntä uraa. Tämän saa aikaan raketin ohjausjärjestelmä.

Luotainraketin ohjaus

Luotainraketit ovat yksinkertaisia raketteja, joita käytetään kohottamaan mittalaitteet muutaman kymmenen tai ehkä muutaman sadan kilometrin korkeuteen. Tällaisilla lennoilla ei tarvita kovinkaan mutkikkaita ohjausjärjestelmiä. Luotainraketit yksinkertaisesti lentävät korkealle ja putoavat sitten takaisin maahan. Pyrkimyksenä on, että ne putoaisivat vahinkoa aiheuttamatta ennalta määrätulle alueelle. Lennon kannalta luotainrakettia voidaan verrata ylöspäin ammuttuun nuoleen, sillä periaatteessa sitä ohjataan samalla tavalla. Nuolen perässä olevilla sulilla ja raketin siivekkeillä pidetään kärki kohti menosuuntaa. Pyrstösiivekkeiden ohi virtaava ilma aiheuttaa paine-eron, joka palauttaa raketin oikeaan suuntaan jos jokin häiriö pyrkii kääntämään sitä.

Pyrstösiivekkeet voivat täyttää tehtävänsä tietenkin vasta sitten, kun raketilla on riittävä vauhti. Tämän takia luotainraketteja laukaistaessa käytetään erityistä lähtötelinettä, jossa raketti kulkee alkuvaiheen pitkin oikean suunnan antavia kiskoja. Raketin irtautuessa lähtötelinestä sillä on jo niin suuri nopeus, että siivekkeet pystyvät pitämään sen oikeassa suunnassa. Keskiajalla alettiin varsijousilla ammuttavissa lyhyissä nuolissa käyttää nuolen nähden hieman viistoon sijoitettuja sulkia, joiden ansiosta nuoli lensi entistä vakaammin halki ilman. Nykyaikaisissa luotainraketeissa käytetään joskus samaa menetelmää. Raketin pituusakselin kanssa pienen kulman muodostavat siivekkeet saavat raketin pyörimään ja pysymään siten paremmin oikeassa suunnassa. Pyöriminen voidaan syn-

nyttää myös pienillä ohjausraketeilla.

Lähtöteline suunnataan kohti suunniteltua laskeutumisaluetta. Telineen kallistuskulma riippuu lähtöhetkellä vallitsevasta tuulesta. Hyvänä saavutuksena voidaan pitää sitä, jos raketti tulee maahan edes muutaman kilometrin päähän lasketusta alastulopisteestä.

Suurten avaruusalusten ohjaus

Raketin ohjaaminen on paljon ongelmallisempaa, kun tavoitteena on satelliitin lähettäminen Maata kiertävälle radalle tai luotaimen lähettäminen kohti muita planeettoja. Tiheimpien ilmakerrosten läpi kuljettuaan raketti ohjataan vaakasuoralle radalle, jotta painovoimaa vastaan kulkeminen ei enää kuluttaisi raketin ajokykyä. Pääosa vauhdituksesta tapahtuu vaakasuorassa suunnassa riippumatta siitä, ohjataanko alus satelliittiradalle vai kohti muita taivaankappaleita.

Nykyaikaiset ohjausmenetelmät ovat erittäin tarkkoja: noin kahdeksan kilometrin sekuntinopeuteen vauhditetun aluksen nopeudessa virhe on alle metri sekunnissa ja poikkeama tavoitellusta lentosuunnasta on korkeintaan joitakin kulmasekunteja. Jo kuusikymmenluvun puolivälissä kuulotain pystyttiin lähettämään matkaan niin tarkasti, että se osui juuri siihen Kuun kraatteriin mihin se oli tarkoitettukin.

Ohjausjärjestelmän on pystyttävä toimimaan vaikka siihen vaikuttaa ulkopuolisia häiriöitä ja sen on kestävä raketin kiihtyvyyssvaihtelut.

Ohjausjärjestelmään kuuluu *navigointikeskus*, jolla on koko ajan tiedossa missä alus on, mikä on sen nopeus ja mihin suuntaan se lentää. Näitä tietoja verrataan etukäteen laadittuun *lento-ohjelmaan*. *Komentokeskus* välittää navigointikeskuksen ohjauskäskyt raketin *ohjauselimille*.

Inertiajärjestelmä – lähdön ohjaussysteemi

Ohjausjärjestelmän perusideana on mitata raketin kiihtyvyydet, joiden perusteella voidaan laskea sen todellinen lentorata.

Kuvassa 7.1 on kiihtyvyydsmittarin periaate. Jousen varassa oleva massa venyttää joustaa sen mukaan, miten suuri on jousen suuntainen kiihtyvyys. Käytännössä laitteisto on mutkikkaampi, mutta itse perusajatus on kuitenkin sama. Kiihtyvyydet on mitattava kolmessa suunnassa – esimerkiksi

Kuva 7.1. Kiihtyvyyssmittarin periaate. Kahden jousen varaan ripustettu paino venyttää ja puristaa kokoon jousia aluksen nopeuden muuttuessa. Painon siirtymän suuruus mitataan sähköisesti potentiometrillä, jonka lukemasta voidaan laskea kiihtyvyys a . Laite mittaa kiihtyvyyden vain jousien suunnassa ja mitattaessa aluksen kiihtyvyydet kaikkiin suuntiin tarvitaan vähintään kolme kiihtyvyyssmittaria.

lentosuunnassa, sivusuunnassa ja pystysuunnassa – ja sen takia kiihtyvyyssmittareita tarvitaan kolme kappaletta. Kiihtyvyyssmittarit asennetaan gyroskoopeilla vakautetulle *inertiatasolle*, joka pysyy aina saman suuntaisena riippumatta siitä miten alus kääntyy tai muuttaa lentosuuntaansa. Tällainen kolmen gyroskooppihyrrän vakauttama inertiataso muodostaa vertailukohdan, jonka suhteen kaikki ohjauksessa tarvittavat suureet mitataan.

Kuva 7.2 esittää järjestelmän rakenteen. Aluksen liikkeet lentoradan suunnassa, sivusuunnassa ja pystysuunnassa mitataan kiihtyvyyssmittareilla ja tiedot välitetään laskimelle, joka laskee aluksen senhetkisen paikan. Lento-ohjelma taas antaa tiedot siitä, missä aluksen sillä hetkellä pitäisi olla. Laskin saa tiedot myös aluksen asennosta ja kaikkien näiden tietojen perusteella se voi laskea, paljonko rata poikkeaa ohjelman mukaisesta radasta ja miten poikkeama voidaan korjata. Poikkeaman korjaamiseen tarvittavat ohjauskomennot välitetään ohjauselimille ja rakettimootoreille.

Inertiajärjestelmä painaa vain joitakin kymmeniä kiloja, mutta se voi kuitenkin maksaa yhtä paljon kuin kaikki muu satojen tonnien raketissa yhteensä.

Inertiajärjestelmä ohjaa aluksen maanpinnalta lopulliselle radalleen avaruuteen. Laskelmissa on otettava huomioon, että maapallon pyöreyden takia vaakasuora suunta muuttuu jatkuvasti lennon edetessä. Mutta sen jälkeen kun raketin moottorit on sammutettu, kiihtyvyyksiä ei enää esiinny

Kuva 7.2. Inertiajärjestelmän periaate. Gyroskoopeilla tasapainotetulla inertiatasolla olevista kiihtyvyyssmittareista X, Y, ja Z saatavat kiihtyvyystiedot ohjataan integraattoreihin, jotka laskevat aluksen nopeudet v_x , v_y ja v_z ja aluksen senhetkisen paikan koordinaatit x , y ja z . Lentoradan laskija ilmoittaa, mikä on aluksen todellinen lentorata, ja verrattuaan tätä lento-ohjelmassa edellytettyyn rataan komentolaskija antaa alukselle oikeat ohjauskomennot. Painovoimakentän tarkistuslaskija vähentää mitatuista kiihtyvyysoimista painovoiman vaikutuksen, niin että lopputuloksena saadaan todellinen kiihtyvyys.

ja inertiajärjestelmä on hyödytön. Vapaan lennon aikana on käytettävä muita menetelmiä.

Aluksen liikkeet Maan suhteen mitataan erilaisin suuntimalaittein. Tällainen on esimerkiksi horisonttietsin, joka tarkkailee aluksesta näkyvää maapallon horisonttia. Suuntimamenetelmiä voidaan käyttää myös lennettäessä aurinkokunnan muille planeetoille.

Avaruusmatkojen ohjausjärjestelmät

Lähdön aikana avaruusaluksen ohjausjärjestelmän oikeaa toimintaa seurataan maassa olevista seuranta-asemista. Vapaan lennon aikana seuranta-asemat pysyvät jatkuvasti ajan tasalla aluksen olinpaikasta ja ovat valmiita tarvittaessa antamaan ohjausjärjestelmälle tiedot ratakorjauksista. Seuranta-asemat selvittävät aluksen paikan ja nopeuden, aluksen inertiajärjestelmä yhdessä horisontti- aurinko- ja tähtietsimien kanssa taas pitää huolen aluksen asennosta. Oikea asento on tärkeä, koska esimerkiksi aluksen aurinkopaneelit on suunnattava kohti Aurinkoa ja yhteysantenni kohti Maata. Kaukana avaruudessa suuntimat otetaan tavallisesti Aurinkoon ja joihinkin tähtiin, koska Maa ei ehkä ole enää hyvin näkyvissä.

Kun aluksen rataa on muutettava – se saattaa vaikkapa jäädä kiertämään jotain planeettaa tai laskeutua Kuuhun – tarvittava lento-ohjelma lähetetään etukäteen alukselle, joka tallentaa sen tietokoneensa muistiin.

Kuvassa 7.3 on eräs tällainen ohjausjärjestelmä. Tavalliselle kielelle käännettynä lento-ohjelma voi olla vaikkapa seuraavanlainen: »Aloita toiminnot 200 tuntia (Maasta) lähdön jälkeen. Kierrä pituusaksella 35,5 astetta ja käännä pystyaksella 62 astetta. Sytytä rakettimoottori 200 tuntia 30 minuuttia lähdön jälkeen ja sammuta moottori, kun nopeudenmuutos on 35 m/s. Palaa sen jälkeen samaan asentoon kuin ennen toimintoja.»

Lento-ohjelma voidaan lähettää alukselle jo useita vuorokausia etukäteen, jolloin maa-asemalla on hyvää aikaa tarkistaa että alus on todella saanut ohjelman oikeassa muodossa. Vasta kun kaikki on kunnossa, alukselle annetaan lupa toteuttaa ohjelma aiottuna hetkenä. Ohjelman ajoituksen hoitaa kellokoneisto, joka mittaa ajan lähtöhetkestä (Ground Elapsed Time eli GET). Ajoaikana ohjaus hoidetaan inertiajärjestelmällä ja mahdollisten poikkeamien jälkihoito toteutetaan annettujen uusien ohjeiden mukaan. Suoraa ohjausta Maasta käsin ei voida ajatella silloin, kun alus on niin kaukana avaruudessa että radiosignaalien matka alukselle ja takaisin kestää useita minuutteja tai jopa tunteja. Edellä esitettyä etukäteiskauko-ohjausmenetelmää käytetäänkin jo rutiininomaisesti.

Miehitetyt alukset

Miehitetyillä aluksilla miehistö on osa ohjausjärjestelmää. Miehistö voi itse hoitaa osan lento-ohjelman mukaisista päätöksistä ja toiminnoista. Ohjeet annetaan selväkielellä ja miehistö syöttää tiedot aluksen ohjausjär-

Kuva 7.3. Komentovastaanottimella varustettu tähtiohjausjärjestelmä. Kauko-ohjausta käytettäessä ohjauskomennot lähetetään komentovastaanottimeen, joka tallentoi ne komentomuistiin. Kellokoneisto ilmoittaa sen ajankohdan, jolloin komentoja on ryhdyttävä toteuttamaan. Toteuttamishetki on lähetetty yhdessä ohjauskomentojen kanssa. Tällaista menetelmää käytetään etäälle maapallosta suuntautuvilla lennoilla.

jestelmään. Miehistö myös varmistaa, että ohjausjärjestelmä on saanut tiedot oikein ja antaa sille sitten luvan toimia.

Ohjausjärjestelmällä on tilanne hallinnassa koko ajan silloinkin, kun miehistö tekee ohjausliikkeitä omien arviointiensä mukaan. Ohjaussauvojen välityksellä miehistö ilmoittaa, miten aluksen tulee muuttaa asentoaan tai nopeuttaan. Samanlaista »fly-by-wire» -menetelmää käytetään myös nykyaikaisissa lentokoneissa. Kahden aluksen telakoinnin loppuvaiheessa – jota vaikeusasteeltaan voidaan verrata auton peruuttamiseen talliin – ohjausjärjestelmä antaa ohjauselimille säätösauvan välityksellä saamansa toimintakäskyt. Tällä tavoin tapahtui myös astronauttien laskeutuminen Kuuhun.

Neuvostoliiton Sojuz-aluksissa on useita erillisiä ohjausohjelmia, joista voidaan valita kussakin tilanteessa sopivin. Yksi ohjelmista on tarkoitettu nimenomaan telakointiin. Aluksen ohjausjärjestelmä hoitaa tutkan avulla automaattisen lähestymisen noin sadan metrin päähän ja vasta tässä vaiheessa kosmonautit siirtyvät käsiohjaukseen. Tätä menetelmää voidaan periaatteessa käyttää myös kahden miehittämättömän aluksen telakoinnissa.

Sojuzin miehistön ei tarvitse antaa ohjausjärjestelmälle uusia ohjeita,

koska Sojuzit lentävät jo totunnaisilla Maata kiertävillä radoilla. Amerikkalaisten Apollo-kuualuksessa oli paljon monipuolisempi ohjausjärjestelmä, joka voitiin lennon aikana ohjelmoida uudelleen. Ohjelmoinnin suorittivat joko astronautit itse tai sitten maa-asema tietokoneidensa avulla.

Kuuhun laskeutumisen loppuvaiheessa ohjaimissa ollut astronautti antoi ohjaussauvalla alukselle liikkumiskäskyt ja sääti vielä erillisellä sauvalla moottorin toimintaa. Ohjausjärjestelmä auttoi osaltaan laskeutumisessa pitämällä aluksen koko ajan pystysuorassa, välittämällä ohjauskäskyt, mittaamalla etäisyyden Kuun pintaan, ilmoittamalla nopeuden pysty- ja sivusuunnassa ja lopulta sammuttamalla laskeutumismoottorin kun kosketuspiikit koskettivat Kuun pintaa.

Ohjauslaitteet

Vapaan lennon aikana aluksen lentorataa voidaan muuttaa *suunnantarkistuksella*, jolla alusta vauhditetaan sopivaan suuntaan. Paljon vähäisemmin toimenpitein selvittää, jos kyseessä on pelkästään aluksen *asennon* muuttaminen. Maasta lähtevä alus voidaan vakauttaa nuolen tapaan ohjaussii-vekkeillä niin kauan kuin raketti lentää riittävän tiheissä ilmakerroksissa. Ilma ohenee kuitenkin aika pian korkeuden kasvaessa ja sen jälkeen ohjaus on hoidettava ajojärjestelmän tapaisilla laitteilla, joiden toiminta on ympäristöstä riippumaton.

Avaruusaluksen asento ilmoitetaan sen *ohjausakseleiden* suhteen samaan tapaan kuin lentokoneilla. Kuvassa 7.4 on amerikkalainen avaruussukku-la, joka Maahan palatessaan laskeutuu lentokoneen tapaan kiitoradalle. Pituusakselin ympäri tapahtuvaa kiertymistä sanotaan *pituuskierteeksi* (roll), vaakasuoraan poikittaisakselin ympäri tapahtuu *pystykierre* (pitch) ja pystysuoran poikittaisakselin ympäri tapahtuu *vaakakierre* (yaw).

Avaruusaluksessa on yhdentekevää, miten akselit määritellään. Eräässä Mariner-aluksessa aluksen päämoottorin työntösuunta on valittu pysty-kierreakseliksi. Tavallisesti kuitenkin päämoottorin työntösuunta pidetään pituuskierreakselina.

Siivekkeillä ei avaruusaluksissa ole mitään käyttöä. Sen sijaan raketti-moottorin suuttimen suuaukkoon asetetuilla suihkusiivekkeillä voidaan palokaasusuihkun suuntaa muuttaa ja siten ohjata alusta rakettimoottorin ollessa käynnissä. Tällaisia suihkusiivekkeitä ei enää juuri käytetä paitsi joskus kiinteästi asennetuissa radankorjausmoottoreissa.

Kuva 7.4. Avaruusaluksen ohjausakselit. Ohjausakselin määrittelystä on valittu esimerkiksi amerikkalainen avaruussukku-la. Akseleiden nimitykset ovat samat kuin lentokoneissa.

Kantoraketeissa käytetään yleensä *käänneltävää päämoottoria*. Moottori on kiinnitetty niin että sitä voidaan kääntää joka suuntaan kahden akselin ympäri. Kuvassa 7.5 on kaksi tapaa kiinnittää moottori kantorakettiin. Pelkästään yhtä moottoria käytettäessä pituuskierre on hoidettava erillisillä ohjausmoottoreilla. Kahdella tai useammalla päämoottorilla selvittää myös pituuskierteestä.

Kuvassa 7.6 on menetelmä, jolla ohjaus voidaan hoitaa kiinteästi asennetulla päämoottorilla. Menetelmää käytetään mm. suurissa ruutiraketeissa. Tälläkin tavalla pituuskierre saadaan aikaan vain, jos suuttimia on enemmän kuin yksi. Keskikokoisissa ja pienissä ruutiraketeissa suuttimet voidaan tehdä käänneltäviksi; näin esimerkiksi Polaris- ja Minuteman-ohjuksissa.

Kuvassa 7.7 on Apollo-aluksen kiinteästi asennettujen ohjausmoottoreiden sijainti. Apollon päämoottori on käänneltävä ja ajovaiheen aikana ohjausraketteja käytetään vain pituuskierteen aikaansaamiseksi. Ohjausraketteja on lukumääräisesti eniten neuvostoliittolaisissa Vostok-alusten ja sen seuraajien Sojuz-alusten kantoraketin ensimmäisessä vaiheessa, jossa pituus-, pysty- ja vaakakierre hoidetaan kuudellatoista ohjausmoottorilla.

KARDAANIRIPUSTUS

Kuva 7.5. Käännettävän rakettimoottorin kiinnitys. Vasemmalla kardaaniripustus ja oikealla pisteripustus. Pisteripustus on nykyisin yleisempi, koska sen rakenne on yksinkertaisempi ja paino pienempi kuin kardaaniripustuksen. Pumppusyöttöissä raketeissa pumput kiinnitetään palokammioon, kuvaan niitä ei ole piirretty.

PISTERIPUSTUS

Kuva 7.6. Sekundaarisuihkutus. Työntövoiman suuntaa voidaan säädellä myös kiinteää ajoainetta käyttävissä raketeissa suihkuttamalla suuttimeen jotain sekundaariainetta, yleensä vettä tai tyypitetetroksidia. Ruutiraketeissahan on hyvin hankala käyttää käännettävää suutinta. Ohjausvaikutus syntyy osittain palokaasu-suihkun suunnan muuttumisesta ja osittain siitä, että palokaasut törmäävät sekundaariaineeseen.

Kuva 7.7. Apollo-aluksen ohjausraketit. Kuvassa on pituuskierrettä hoitelevat ohjausmoottorit. Ohjausmoottoreita käytetään parittain, niin että aluksen vastakkaisilla puolilla olevat moottorit toimivat samanaikaisesti siten että niiden suihkut suuntautuvat vastakkaisiin suuntiin. Kun suihkut suunnataan samaan suuntaan, alus saadaan siirtymään eteen, taakse, ylös, alas, oikealle tai vasemmalle. Tällaisia liikkeitä tarvitaan telakoitumisen loppuvaiheissa.

Ohjausmoottorit saavat ajoaineensa päämoottorin pumppujen välityksellä.

Yksinkertaisin ohjausmoottori toimii painekaasulla. Kaasu on säiliössä, josta se johdetaan venttiilien säätelynä sopiviin kohtiin sijoitettuihin suuttimiin. Satojen kilojen planeettaluotaimissa ohjauskaasua tarvitaan muutamia kiloja, sillä vapaan lennon aikana aluksen asennon muuttamiseen ei tarvita suuria voimia.

Avaruusaluksen asentoa voidaan muuttaa myös *vauhtipyörän* tai *hyrrän* avulla. Kun aluksessa oleva vauhtipyörä pannaan pyörimään, alus alkaa kiertyä vastakkaiseen suuntaan. Kolmella vauhtipyörällä, joiden akselit ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa, saadaan alus kääntymään mihin suuntaan tahansa. Hollantilaisessa tähtitieteellisessä ANS-satelliitissa käytetään asennonsäätöön pelkästään vauhtipyöriä. Yhdysvaltain ATS-6 viestintäsatelliitissa käytetään sekä vauhtipyöriä että painekaasua.

Kuvassa 7.8 on menetelmä, jolla vauhtipyörällä hoidettavaa asennonsäätöä voidaan tehostaa. Aluksessa on gyroskooppihyrrä, joka pyöriessään pitää akselin suunnan jatkuvasti samana ja alusta kierretään tämän akselin suhteen. Skylab-avaruusasemalla oli kolme tällaista gyroskooppia, joiden lisäksi käytettiin myös painekaasumoottoreita.

Gyroskoopit soveltuvat suuriin avaruusaluksiin, kun taas vauhtipyöriä käytetään massaltaan korkeintaan muutaman tonnin satelliiteissa.

Kuva 7.8. Asennonsäätö vauhtipyörällä. Aluksen asento voidaan vakauttaa vauhtipyörällä. Aluksen gyroskoopin pyörimisakseli pysyy jatkuvasti samansuuntaisena. Aluksen asentoa voidaan muuttaa kardaaniripustuksella kiinnitetyn gyroskoopin suhteen. Skylab-avaruusasemalla oli kolme gyroskooppihyrrää, joita käytettiin asennon hienosäätöön.

Gyroskoopin pyörimisnopeutta muutettaessa syntyy vääntömomenttia voidaan käyttää aluksen asennon muuttamiseen, jos gyroskoopin massa on suhteellisen suuri aluksen massa verrattuna. Tällöin gyroskooppi ja muu osa alusta kiertyvät toistensa suhteen vastakkaisiin suuntiin.

Asennonsäätöhäiriöt

Avaruusaluksen asennon häiriintyminen voi johtua esimerkiksi siitä, että aluksesta päästetään avaruuteen nestemäisessä muodossa olevia lentäjien jätteitä. Samanlaisia häiriöitä voi tulla mm. varoventtiilien avautumisesta tai jäähdytysveden päästämisestä avaruuteen.

Ennalta arvaamattomia asentohäiriöitä syntyy avaruuskävelyn aikana. Aluksen ulkopuolella työskentelevä avaruusmies muuttaa liikkuessaan aluksen asentoa jatkuvasti, mikä kuluttaa ohjausrakettien ajoainetta.

Asennonsäätöhäiriöt voivat johtua sellaisestakin seikasta, että aluksesta irtautuneet jätteet saavat auringonvaloa heijastaessaan tähtietsimen menettämään suunnan kohdetähteensä. Etsin alkaa vahingossa seurata jotain kirkkaasti loistavaa jätehiukkasta. Jätteet ja saaste ovat ongelma avaruudessa yhtä lailla kuin Maassakin.

8. Jokamiehen Baikonur

Avaruusprojektiin osallistuminen on varmaankin monen lukijan haave. Mahdollisuus tähän on harvalla, mutta jokainen voi kuitenkin toteuttaa pieniä rakettiprojekteja hyvinkin alhaisin kustannuksin.

Parasta varoittaa heti esittelyssä: Älkää ryhtykö rakettimoottoreiden valmistukseen ominpäin! Moni aloitteleva tutkija unohtaa, että kotitekoinen raketti on yhtä vaarallinen kuin kotitekoinen pommi, joka saattaa räjähtää jo valmistusvaiheessa. Seurauksena on nuori tutkija ilman silmiä, sormia tai muita tärkeitä ruumiinosia.

Pienoisraketit

Harrastajien iloksi ovat markkinoille ilmestyneet pienoisrakettien rakennussarjat. Niillä ja annoksella varovaisuutta – muistettaneen, että varovaisuus on pelin sääntö myöskin todellisessa avaruustutkimuksessa – avautuu tuntuma rakettitoimintaan. Pienoisrakettien suunnittelu, rakentaminen ja lennättäminen on avaruusajan uusi harrastus, joka on vähintään yhtä antoisa ja vaativa kuin lennokkien tai pienoisrautatien rakentaminen.

Pienoisraketti on rakettilaitte, joka saa käyttövoimansa tehdasrakenteesta kiintoajoinemoottorista. Se on pienikokoinen, 20...60 cm pitkä, mutta saavuttaa jopa satojen metrien lentokorkeuden. Lennon jälkeen raketti palaa maahan laskuvarjolla. Kun uusi moottori on vaihdettu rakettiin, se on valmis uutta lentoa varten.

Jos halutaan saavuttaa suuria korkeuksia voidaan käyttää kaksi- ja jopa kolmivaiheraketteja. On kuitenkin muistettava, että mitä korkeammalle raketti lentää, sitä vaikeampi se on löytää laskeutumisen jälkeen.

Turvallisuus on pienoisrakettien kohdalla asetettu etusijalle, ja siksi niiden rakentamiseen ei käytetä lainkaan metallia, vaan ainoastaan paperia, balsaa ja muovia. Näiden aineiden etuna on lisäksi helppo käsiteltävyys ja halpa hinta. Varsinaiset moottorit ovat tehdasvalmisteisia, tarkan laadunvalvonnan alaisia kertakäyttömoottoreita, jotka sytytetään sähköisesti kuten rakettimoottori tuleekin sytyttää. Olkoon sytytyslanka yhtä ankarasti kielletty kuin kotivalmistemoottorikin! Turvallisuutta lisää seuraavien turvallisuusohjeiden tiukka noudattaminen.

PIENISRAKETTIHARRASTAJAN TURVALLISUUSOHJEET

1. Käytän vain tehdasvalmisteisia, valmiiksi panostettuja raketti-moottoreita, jotka eivät vaadi kemikalioiden sekoittamista.
2. Valmistan pienoISRakettini paperista, puusta, muovista ja muista ei-metallisista aineista.
3. Käytän aina pelastusjärjestelmää pienoISRaketissani. Pelastusjärjestelmän on palautettava raketti turvallisesti maan pinnalle uudelleenkäyttöä varten.
4. PienoISRakettini massa on korkeintaan 500 grammaa ja sen moottorit sisältävät enintään 113 grammaa ajoainetta.
5. PienoISRakettini ei sisällä minkäänlaisia räjähtäviä panoksia.
6. Lennätän pienoISRakettini avoimella paikalla riittävän etäällä asumuksista ja korkeajännitejohdoista.
7. En koskaan käy irrottamaan sähköjohtoihin tai vastaavaan vaaralliseen paikkaan tarttunutta rakettiani.
8. Tarkastan pienoISRakettini vakavuuden ennen lennättämistä sekä ilman moottoria että moottorilla varustettuna.
9. Käytän sähköistä laukaisujärjestelmää joka on erillään laukaisutelineestä.
10. Käytän lähtötelineettä, jonka kallistuma on enintään 30 astetta pystysuorasta.
11. Lähtöteline on sellainen, että raketin suihku ei osu suoraan maahan. Ohjaussauvan on oltava riittävän pitkä, jotta raketti saavuttaa vakaan nopeuden.
12. Lennätän pienoISRakettiani ainoastaan hyvissä sääolosuhteissa päiväsaikaan.
13. En koskaan käytä pienoISRakettia ammuksena maalia kohti.
14. Tiedän, että pienoISRakettini jakaa ilmatilan muiden lentävien esineiden kanssa ja että en saa aiheuttaa vaaraa niille.
15. Laukaisun aikana ei kukaan saa oleskella 5 metriä lähempänä lähtötelineettä. Ilmoitan kuuluvasti edessä olevasta lähdöstä ja suoritan lähtölaskentaa vähintään viidestä alkaen.

PienoISRakettimoottorit

PienoISRaketin rakenne on esitetty kuvassa 8.1 ja moottorin rakenne kuvassa 8.2. Varsinaisen raketin voi ostaa rakennussarjana tai valmistaa itse. Aloittelijan on paras turvautua sarjaan mutta kokemusten karttuessa oman raketin suunnittelu tulee varmasti ajankohtaiseksi. Joka tapauksessa on syytä pitää kiinni samoista periaatteista: valmiin raketin tulee lentää vakaasti sekä täydellä moottorilla että ilman sitä, se lähetetään lähtöalustalta sauvaohjauksella ja sen pelastusjärjestelmä palauttaa sen maahan uudelleenpanostamista ja lennätystä varten.

Kuva 8.1. PienoISRaketin rakenne. 1. Kärkikartio 2. Hyötykuormatila (useimmiten tyhjä) 3. Laskuvarjo 4. Laskuvarjon ulostyöntötulppa, tulenkestävää vanua 5. Raketin ohjausputki. Raketti pujotetaan ohjaussauvaan putkesta 6. Evä 7. Moottori 8. Moottorin kiinnitys-jousi 9. Lähtötelineen ohjaussauva.

1 2 3 4

Kuva 8.2. Pienoisraketin moottori. 1. Keraaminen suutin 2. Ajopanos 3. Viivästyspanos 4. Laskuvarjon laukaisupanos.

Moottorit ovat standardoituja siten että niiden halkaisija on vakio. Näinollen samaa rakettia voidaan lennättää eri moottorivoimakkuudella.

Moottorin kylkeen on merkitty moottorin ominaisuudet: esimerkiksi A8-3. Ensimmäinen kirjain tarkoittaa kokonaisimpulssiluokkaa. Luokat ovat:

A: 1,26 ... 2,50 Nsek (Newtonsekuntia)

B: 2,56 ... 5,00 Nsek

C: 5,01 ... 10,00 Nsek

Seuraava numero antaa moottorin keskityöntövoiman pondeissa (1 pound = 4,2 N = 0,45 kp). Ja viivan jälkeinen numero kertoo miten monen sekunnin viive on hidastuspanoksella. Siten moottori A8-3 on luokkaa 1,26 ... 2,50 Nsek, keskimääräinen työntövoima on 8 poundia eli 33,6 N (3,6 kp) ja kolme sekuntia ajopanosen loputtua poksahuttaa hidastuspanos ja irrottaa rakettin karkikartion samalla kun se työntää laskuvarjon ulos. Pienoisrakettimoottorin työntövoima on alussa suurin, mikä takaa nopean kiihtyvyyden lähtötelineen ohjaussauvaa pitkin ja siten vakaan lennon.

Lähtöteline ja laukaisulaite

On jo käynyt ilmi, että pienoisraketti lähetetään laukaisualustalta. Alustan tulee olla sellainen etteivät rakettikaasut osu suoraan maahan, jolloin voivat singota hiekkaa ja pieniä kiviä melkoisella voimalla. Alustan ei kuitenkaan tarvitse olla kovin monimutkainen. Vanha suurenpuoleinen kahvipurkki, johon on kiinnitetty ohjaussauva riittää. Jos purkin täyttää hiekalla, se pysyy maassa tukevammin. Ohjaussauva on noin 3 mm läpimittainen ja 70 ... 100 cm pitkä metallitanko, jonka tehtävä on pitää

Kuva 8.3. Yksinkertainen laukaisulaite. Johtoa oltava vähintään 5 metriä rakettin ja laukaisijan välillä.

Kuva 8.4. Virtalukolla ja varoituslampulla varustettu laukaisin. Katso että laukaisualue on tyhjä ennen kuin väännät virta-avainta.

kiihtyvää rakettia suunnassa kunnes se on saavuttanut vakaan nopeuden.

Lähtötelineen voi ostaa valmiinakin mutta se on, kuten edellä kerrottiin, erittäin helppo valmistaa itse.

Laukaisu tapahtuu sähkövirran avulla. Laukaisulaitteeseen tarvitaan virtalähteenä kuivaparisto tai akku, joka antaa 6 ... 12 voltin jännitteen. Tavalliset litteät taskulampun paristot on syytä kytkeä rinnan jotta virran voimakkuus olisi tarvittavan suuri.

Yksinkertaisin laukaisija rakennetaan palautuvasta painonapista sekä tarvittavista johdoista (kuva 8.3). Mutta mielenkiintoisempi on tietenkin laite, jota kaavion kuva 8.4 esittää. Tässä laitteessa on virtalukko tahattomien laukaisujen estämiseksi, sekä tarkistuslamppu, joka ilmaisee, milloin sytytyspanos saa virtaa. Tarkistuslamppu saa olla enintään 0,3 A. On myös otettava huomioon että lampun on kestävä virtalähteen antama virta.

Vakavuus eli stabiilitetti

Jotta pienoisraketti lentäisi suoraan sen on oltava stabiili eli vakaa. Muuten se käyttäytyy kuin noitapilli, lentää mihin sattuu, on vaaraksi lähettä-

jälleen ja katsojille ja murskautuu käyttökelvottomaksi esteisiin.

Kaupan olevat rakennussarjat on suunniteltu siten, että ne ovat vakaita. Omatekoisten rakettien stabiliteetin voi varmistaa helpolla kokeella. Lanka kiinnitetään raketin rungon ympäri kohtaan, jossa raketti riippuestaan langan varassa on tasapainossa. Lanka on syytä kiinnittää paikalleen teipinpalasella. Tämän jälkeen rakettia pyöritetään langan varassa ympäri. Raketti ei tällöin saa tehdä voltteja tai temmeltää, vaan sen on lennettävä vakaasti kärki lentosuunnassa. Jos se ei ole vakaa, on joko suurennettava sen eviä tai pidennettävä runkoa tai molempia. Hyvä apukeino on lisätä painoa nokkaan. Epävakaita raketteja ei saa lennättää!

Seuranta

Melko aikaisessa vaiheessa, viimeistään koti – Baikonurin ensimmäisen laukaisun jälkeen, rakettilennättäjää askarruttaa kysymys raketin saavut-

Kuva 8.5. Raketin lentokorkeus on mitatun kulman tangenti kertaa perusetäisyys. Jos perusetäisyys a on sata metriä ja kulma A 35 astetta, on kulman tangenti $0,70$ ja korkeus $0,70 \times 100$ m eli 70 m.

tamasta korkeudesta. Kuinka korkealle se nousi, ja missä korkeudessa laskuvarjo avautui? Tietenkin on mukavaa tietää myöskin milloin laskuvarjo avautui, tapahtuiko tämä paljonkin lakikorkeuden jälkeen tai – oi vahinko – jo sitä ennen? Tuliko valituksi liian pitkä tai liian lyhyt viive moottorissa? Raketin lentokorkeuden voi mitata melko yksinkertaisella laitteella.

Mittaus tapahtuu kolmiomittauksella. Tilanne on kuvattu kuvassa 8.5. Kun tarkkailija tietää etäisyyden raketin lähtöpaikalle (a) ja mittaa kulman A mittalaitteellaan, saadaan laskemalla tietää raketin korkeus (h). Kulman A :n tangentilla kerrotaan sivun a pituus ja saadaan korkeus h . Kannattaa valita sivun a pituudeksi tietenkin jokin tasaluku, näin pääsee vähemmällä laskemisella. Sata metriä on juuri sopiva. Kulman tangentin saa selville trigonometrisistä taulukoista tai laskutikusta. Muistettava on myös, että mittapiste on sijoitettava kohtisuoraan raketin lentosuuntaa vastaan. Tarkimman tuloksen saa, kun käyttää kahta mittapistettä, ja asettaa ne kohtisuoraan vallitsevaa tuulen suuntaa vastaan. Mitta-arvoista otetaan keskiarvo. Raketti nimittäin kääntyy aina tuulen suuntaa vastaan.

Kuva 8.6. Seurantalaite yksinkertaisimmassa muodossa. Se vaatii kahta käyttäjää, seuraajaa ja lukijaa. Jos rima kiinnitetään alustaan on paras että pystykierto-akseli kulkee astemittarin keskuspuolesta. Luotilangan on oltava tarpeeksi pitkä, mieluummin käytetään jäykkää heiluria. Huom! Jollei asteikkoa vaihdeta oikea mittatuloks on 180° — näytetty mittatulos.

Itse mittalaite on esitetty kuvassa 8.6. Valmistus on helppoa: rima, johon kiinnitetään vanha astemittari ja langanpätkä jonka päässä paino. Jos laitetta kiinnitetään jalustaan sitä on helpompi käsitellä.

Kerho- ja kilpailutoiminta

Tietenkin pienoisoraketteja voi rakentaa ja lennättää yksin. Kuitenkin harrastustoiminta on mukavampaa kerhomuodossa. Yksinomaan se tosiseikka, että tarvitaan useampi henkilö, jotta lennätys, mittaus ym. onnistuisivat, puhuu kerhotoiminnan puolesta. Kerhon voi hyvin perustaa esim. koulun puitteissa, ja silloin voi käyttää fysiikan opettajaa asiantuntijajäsenenä. Ja – mitä useampi jäsen, sen useammin raketti lentää!

Missä kerho, siinä kilpa. Pienoisrakettikilpailuja on monenlaisia. Luonnollisin on korkeuskilpailu. Jotta järjestys säilyisi raketit on jaettu kilpailusarjoihin. Kansainvälisten sääntöjen mukaan moottoriluokka muodostaa sarjan. Toisena sääntönä on, että moottorin paino *ei* saa olla suurempi kuin raketin paino ilman moottoria. Korkeuskilpailuissa on mittaaminen tärkeää ja sen tulisi aina tapahtua kahdella mittarilla. Mikäli mitta-arvot poikkeavat enemmän kuin 10 % toisistaan mittausta ei hyväksytä. Jokaisesta lennosta on pidettävä pöytäkirjaa, pöytäkirjasta selviää sitten onnellinen voittaja.

Korkeuskilpailun yhteydessä voidaan järjestää suunnittelukilpailu. Siinä kiinnitetään huomio raketin lento-ominaisuuksiin, sekä lennon korkeuteen että vakavuuteen. Tietenkin pelastusjärjestelmän toiminta on ensiluokkaisena tärkeä. Raketti, jonka pelastusjärjestelmä ei toimi, on vaarallinen. Sellaisen lento hylätään.

Mielenkiintoinen kilpailu on tarkkuuslaskeutuminen. Huomattava on, että rakettia ei saa ampua ammuksena. Lähtöteline saa kallistua enintään 30° pystysuunnasta.

Harrastajan tulee sijoittaa Baikonurinsa aina avoimelle paikalle. Talvella järven jää on mainio paikka, kesällä urheilukenttä, pakettipelto tm. vastaava aukio. Pääasia on että paikka on niin avara, että rakettia voi tarkkailla koko sen lennon aikana. Avointa tilaa on oltava ainakin sata metriä. Harrastaja, kerro avoimesti pienoisorakettiharrastuksestasi! Salailu on pommintekijöiden puuhaa. Mutta heillähän onkin pelättävää. Pienoisrakettiharrastaja sensijaan voi kutsua katsojia Baikonuriinsa.

Kansainvälisesti pienoisoraketit ovat herättäneet suurta huomiota. Kansainvälisen Astronautiikan Federaation (IAF) piirissä nähdään pienoisorak-

ketit astronautiikan opetusmuotona ja keinona herättää mielenkiintoa avaruustutkimuksen ongelmiin. IAF:n järjestämissä kansainvälisissä konferensseissa varataan yleensä päivä nuorisotoimintaa varten jolloin pienoisorakettitoimintakin käsitellään. Mm. USA:ssa monet koulut ovat ottaneet pienoisorakettilennätyksen toimintaohjelmaansa. Pienoisraketin lennossa kuvastuu elävästi painovoiman vaikutus, aktio ja reaktio, ilman vastus ja aerodynaaminen vakavuus ja jopa trigonometrian käyttö. Floridassa tehty huomiota herättävä koe osoitti, että jopa apukoululaisille voidaan uskoa pienoisorakettien laukaiseminen. On myöskin todettu, että oppilaiden oppimismotivaatio kasvaa jos opetettua sovelletaan käytäntöön juuri esimerkiksi pienoisorakettilennätyksin. Oma Baikonur voi siten muodostua antoisammaksi kuin pelkästään harrastukseksi.

Kuva 8.7. Pienoisraketti lähtöalustallaan. (Suomen Avaruustutkimusseuran pienoisorakettiryhmän arkistosta.)

9. Kaksi minuuttia jonosfääriin

Muutaman kymmenen kilometrin korkeuteen on helppo päästä, mutta siellä pysyminen on vaikeaa. Lentokoneet ja ilmapallot voivat pysytellä 30–40 kilometrin korkeudessa ja yli 150 kilometrin korkeudessa Maata kiertävä satelliitti pysyy radallaan muutamia vuorokausia ennen kuin ilmakehän rippeet hidastavat sen vauhtia niin paljon, että se syöksyy maahan. Mutta tähän väliin jää alue, jossa ilma on liian ohutta kannattamaan lentokonetta tai ilmapalloa ja kuitenkin liian tiheää nopeasti kiitävälle satelliitille.

Tähän 40 ja 150 kilometrin välillä olevaan ilmakehän osaan on helppo lähettää mittalaitteita. Yksinkertainen ruutiraketti saavuttaa jo muutaman kymmenen kilometrin korkeuden, jos sen ajokyky on 1 000 m/s. Tällöin puhutaan matalaluotainraketeista. Ajokyvyllä 2 000 m/s päästään yli sadan kilometrin korkeuteen siitä huolimatta, että suurin osa ajokyvystä menee ilmanvastuksen voittamiseen. Tällaisia ovat keskiluotainraketit. Korkealuotainraketin ajokyky on luokkaa 3 000 m/s, millä päästään jo satelliittiratojen korkeuksiin.

Usean kymmenen kilon hyötykuorman lähettäminen muutaman kymmenen tai runsaan sadan kilometrin korkeuteen on melko vaivatonta: parin minuutin kuluttua lähdöstä mittalaitteet ovat perillä. Mutta ne eivät pysy siellä. Vauhdin loputtua alkaa putoaminen ja neljä tai viisi minuuttia lähdön jälkeen raketti hyötykuormineen on jälleen maaemon sylissä.

Lento ilmakehän yläosiin ei ole hankala, mutta mittaustulosten saaminen vaatii – kuten tulemme näkemään – melkoista nokkeluutta.

Luotainraketit ovat historiallisessa mielessä ensimmäisiä avaruusaluksia ja ne ovat olleet sekä satelliittien että planeettaluotainten edeltäjiä.

Yksinkertaisia raketteja

Luotainraketit eivät lentonsa aikana etene kovinkaan pitkälle, niiden pitää ainoastaan nousta pystysuoraan ylös käyttäen mahdollisimman vähän ajokykyä. Ihannetapauksessa luotainraketti lentää aivan pystysuoraan ja putoaa sitten jonnekin lähtöpaikan lähetyville. Käytännössä alastulopaikka voidaan kuitenkin määrätä etukäteen tarkemmin, kun luotain

Kuva 9.1. Luotainraketit Centaure ja Skylark.

Centaure II B
Lähtövaihe: "Venus"
Paino 146,5 kg
Ajoaika 6 s
Ajoainemäärä 94 kg
Varsinainen ajovaihe: "Vega"
Paino 315 kg
Ajoaika 25,5 s
Ajoainemäärä 229,5 kg
Hyötykuorma 30 kg/160 km
Nousuaika 3 min 25 s
Laskeutumisaika 6 min 40 s

Skylark
Lähtövaihe: "Cuckoo"
Paino 242 kg
Ajoaika 4 s
Ajoainemäärä 181 kg
Varsinainen ajovaihe: "Raven VIII"
Paino 1 060 kg
Ajoaika 30 s
Ajoainemäärä 835 kg
Hyötykuorma 140 kg/220 km
Nousuaika 4 min
Laskeutumisaika 7 min 30 s

Mainitut numerotiedot ovat vain esimerkkejä. Käytännössä hyötykuorma ja laski-
korkeus vaihtelevat lennon tutkimustavoitteiden mukaan.

suunnataan lähtötelinettä hieman kallistamalla pitkulaisen ellipsin muotoiselle radalle. Tästä elliptisestä lentoradasta raketti käyttää kuitenkin vain pienen osan sen toisesta päästä: ajateltu rata ulottuisi maapallon sisuksiin niin että sen toinen pää olisi suhteellisen lähellä Maan keskipeitettä. Luvussa 7 tuli jo esille, että haluttaessa luotainraketti tietylle laskeutumisalueelle on lähtötelineen suuntauksessa otettava huomioon myös tuulen suunta ja voimakkuus. Sadan kilometrin korkeuteen lähetetty luotainraketti putoaa yleensä noin 30–40 kilometrin päähän lähtöpaikasta.

Luotainraketit vakautetaan joko ohjaussiivekkeillä tai saattamalla ne pyörimään pituusakselinsa ympäri. Niissä käytetään myös yksinkertaisinta ajomenetelmää, ruutirakettia. Koska luotainraketin on heti lähdössä saatava suuri alkunopeus, siinä käytetään erityistä lähtövaihetta joka antaa raketille kiihtyvyyden $200\text{--}300\text{ m/s}^2$ (20–30 g). Lähtövaihe palaa vain sekunnin verran ja sen jälkeen vauhdituksesta huolehtii itse luotainraketti, jonka osalle tulee myös suurin osa ajokyvystä. Tämän toisen vaiheen kiihtyvyys on $50\text{--}100\text{ m/s}^2$ (5–10 g).

Kuvassa 9.1 on Euroopan avaruustutkimusjärjestön ESAn käyttämät Centaure- ja Skylark-luotainraketit. Tällaisia raketteja laukaistaan mm. Kiirunasta Pohjois-Ruotsista. Koska raketin alastuloalueella asuu pääasiassa suomenkielistä väestöä, on raketin siivekkeisiin kirjoitettu »VA-ROTUS! RÄJÄHTUSAINE!»

Tällaisen maahan pudonneen luotainraketin saattaa satunnainen kulki- ja löytää joitakin kymmeniä kilometrejä Kiirunasta pohjoiseen, mutta siinä vaiheessa »räjähdysaine» on kyllä jo palanut loppuun.

Ranskalainen Centaure on hieman yli kuusi metriä pitkä ja sen läpimitta on 30 senttiä. Skylark-luotainraketit valmistetaan Englannissa. Skylarkin pituus on 7,5 m ja läpimitta 45 cm. Skylark laukaistaan betonibunkkerista esiin pistävää rataa pitkin, kun taas Centaure lähtee vapaasti aseteltavalta lähtötelineeltä. Ruutiraketin ajoaineen palonopeus riippuu sen lämpötilasta. Kovilla pakkasilla Skylarkin betonibunkkeri voidaan lämmittää. Centaure kääritään sähkölämmitteisiin vällyihin, jotka pitävät sen laukaisu- hetkeen saakka lämpimänä kolmenkymmenen asteen pakkasessakin.

Epäsuorat mittaukset

Luotainrakettien hyötykuormat ovat periaatteessa samanlaisia kuin satelliittien ja planeettaluotainten hyötykuormat. Kuvassa 9.2. on Skylarkin eri laitteiden paikat kärkikartiossa. Ajoajan päätyttyä hyötykuorma irtoaa

Kuva 9.2. Skylarkin kärkikartio. 1. Pystykerresuutin 2. Ohjaussuuttimen kaasusäiliö 3. Pituuskerresuuttimet 4. Paristot 5. Horisonttitsimet, ohjauselektroniikka 6. Laukaisulaitteet, "napanuora" 7. Mittauslaitteet 8. Kärkiosan laskuvarjot 9. Kantoraketin pituuskierteen säätö 10. Moottorin sytytinliitäntä.

vauhdittavasta raketista ja jatkaa lentoaan erillisenä aluksena. Asennon vakauttamista varten Skylarkin kärkikartiossa on mm. painekaasulla toimiva asennonsäätöjärjestelmä.

Nousun ja laskun aikana tehtävät mittaukset välitetään maa-asemalle radiolla. Koska luotaimessa ei yleensä ole mittaustulosten tallennuslaitteita, ei sitä sen takia tarvitse maahan tulon jälkeen enää ottaa talteen.

Kuva 9.3. Ilman lämpötilan mittaaminen yliaänimenetelmällä. Liikuteltava anturi tuntee paineaaltorintaman etäisyyden raketin rungosta. Kun raketin nopeus tunnetaan, saadaan paineaallon perusteella lasketuksi äänen nopeus ilmassa ja sen avulla ilman lämpötila. Tasapainon vuoksi anturit ovat raketin kummallakin puolella.

Mittauksia hankaloittaa se, että luotainraketti lentää käytännöllisesti katsoen koko ajan ääntä nopeammin ja siksi tulokset on välitettävä nopeasti. Mittaustavoista voidaan tarkastella lähemmin lämpötilan mittausta lennon aikana.

Kuvassa 9.3 on menetelmä, jossa lämpötilan mittausta perustuu siihen että äänen nopeus muuttuu ilman lämpötilan muuttuessa. Yliaäninopeudella lentävän raketin kärki aiheuttaa voimakkaan paineaallon, joka leviää kartiomaisena rintamana. Paineaaltorintaman kärkikulma riippuu sekä raketin että äänen nopeudesta; kun raketin nopeus tunnetaan voidaan paineaaltorintaman muodon perusteella laskea äänennopeus ja sitä tietä ilman lämpötila.

Kuvassa 9.4 käytetään samaa periaatetta toisella tavalla. Äänen nopeus eri korkeuksilla saadaan selville mittaamalla äänen kulkemiseen kuluva aika. Jälleen voidaan mitatusta äänennopeudesta laskea ilman lämpötila. Raketti kuljettaa mukanaan paukkupanoksia, joiden räjähtäessä syntyvä leimahdus ilmoittaa räjähdysketken ja hetken kuluttua kuuluva pamaus

Kuva 9.4. Ilman lämpötilan mittaaminen paukkupanoksilla. Havaittujen valo- ja äänisignaalien aikaeroista voidaan laskea äänen nopeus kullakin korkeudella. Räjähdyspaikat selvitetään raketin seurantamenetelmillä. Käytännössä paukkupanoksia on yhdellä lennolla parikymmentä ja lämpötila saadaan muutaman sadan metrin välein.

rekisteröidään mikrofoneilla. Centauressa näitä paukkupanoksia on kolmekymmentä kappaletta.

Tällaista menetelmää voidaan käyttää noin sadan kilometrin korkeuteen saakka, mutta siitä ylemmäksi mentäessä on turvauduttava muihin keinoihin. Sähkövarausten ohella saadaan myös ilman paine ja tuulen suunta mitatuksi päästämällä raketista sähköä johtava kaasupilvi. Termiittilataus saa natriumin, bariumin tai jonkin muun metallin kaasuuntumaan. Tällainen hehkuva pilvi on vaikuttavan näköinen ja koska se

synnytetään korkealla, se näkyy kauaksi. Alle sadan kilometrin korkeudella pilvi muodostaa pitkiä kiehkuroita, jotka tuulen otteissa kiemurrellen muuttavat muotoaan. Yli sadan kilometrin korkeudessa kaasupilvi laajenee yhtenäisenä. Monet Pohjois-Suomesta tulleet UFO-havainnot ovat itse asiassa vain Kiirunasta tai Norjan puolelta Andöjasta lähetettyjen luotainrakettien bariumpilvien peruja.

Telemetria

Jotta luotainraketille voitaisiin lähettää lennon aikana ohjeita ja alus voisi vuorostaan välittää Maahan mittaustuloksia, käytetään viestintämenetelmää jota sanotaan telemetriaksi. Telemetria on sananmukaisesti kaukomittausta. Myös kaikilla avaruuslennoilla tiedot välitetään telemetrisesti ja siksi sitä on syytä käsitellä tässä lähemmin.

Kuvassa 9.5 on telemetrisen järjestelmän periaatekaavio. *Anturit* muuttavat mitattavat suurensa sähköisiksi signaaleiksi, esimerkiksi sähkövirraksi, jännitteeksi, kapasitanssiksi jne. *Kanavanvalitsin* (kommutaattori) valitsee kunkin anturin mittaustuloksen vuorollaan ja johtaa sen *kooderiin*, joka muuttaa sen *radiolähtettime* sopivaan muotoon. Mittaustulosten koodaamiseen on olemassa monia eri tapoja.

Lähetimestä tuleva radioaalto otetaan vastaan *maa-asemalla*, missä signaali *vahvistetaan*. Radioaallostaa *suodatetaan* kanta-aalto pois ja jäljelle jäävä varsinainen informaatio kulkee *dekooderin* ja vastaanottimen *kanavanvalitsimen* (dekommutaattori) kautta *näyttölaitteisiin*. Myöhempää tutkimista varten tämä informaatio myös tallennetaan. Kaikissa vaiheissa informaation mukana kulkevat myös tiedot mittaushetkestä ja luotainraketin senhetkisestä paikasta.

Telemetria ei rajoitu pelkästään mittaustulosten välittämiseen. Myös raketin ja hyötykuorman toimintoja valvotaan telemetrisesti. Radiosignaalit ovat usein ainoa keino yrittää selvittää, miksi laitteissa on jokin mennyt vikaan. Kantorakettiahan ei nykyisillä menetelmillä oteta talteen ja siksi tiedot sen toiminnasta on etsittävä telemetrisesti välitetyistä tiedoista. Saturn-V -kantoraketin telemetrisessä laitteistossa oli toistatuhatta kanavaa. Vikatapauksissa telemetrisistä tiedoista kaivetaan esiin vian syy, niin että sama vika voitaisiin seuraavissa laukaisuissa välttää. Tämä on usein todellista salapoliisityötä: maassa yritetään jäljitellä telemetrinen signaalien kuvailemia olosuhteita ja samalla yritetään selvittää, mikä aiheutti vian juuri sillä hetkellä. Asiantuntijoiden mukaan tämä hipoo jo taidetta.

Kuva 9.5. Telemetrisen järjestelmän periaate. Anturien mittaustulokset muutetaan sähkösignaaleiksi, joista kommutaattori (kanavanvalitsin) valitsee kunkin vuorollaan käsiteltäväksi. Kooderi muuttaa signaalit radiolähtetykseen sopivaan muotoon ja vahvistimen ja lähetimen välityksellä tieto viestitetään maa-asemalle. Diskriminaattori suodattaa kanta-aallon pois ja dekooderissa signaali muutetaan jälleen mittaussuureeksi. Dekommutaattori (kanavanvalitsin) jakaa mittaustiedot omiin ryhmiinsä ja siirtää ne taltiointiin tai tarvittaessa myös välittömään käyttöön. Kanavia tarvitaan yleensä kymmeniä tai satoja.

Miehitettyjäkin aluksia valvotaan telemetrisesti ja usein sattuu, että maa-asema keksii vian ja ehtii sen ehkä korjatakin ennen kuin miehistö on sitä edes huomannut.

Aikaisemmin rakettia seurattiin optisin näköhavainnoin, joiden perusteella sen täsmällinen paikka voitiin joka hetki määrätä. Lähtö otetaan edelleenkin filminauhalle. Tärkein seurantakeino on nykyisin kuitenkin tutka. Raketissa on tavallisesti tutkaheijastin, joka heijastaa tutkasignaalin voimakkaana takaisin. Doppler-ilmiöön perustuvat tutkat mittaavat raketin paikan lisäksi myös sen nopeuden. Ellei raketissa ole tutkaheijastimia, käytetään tavallista tutkakaikua joka ei kuitenkaan anna niin tarkkoja tuloksia kuin heijastinta käytettäessä. Tutkaseurantaa käytettäessä luotainraketit voidaan lähettää matkaan millä säällä tahansa, ellei sitten jokin mittausta – esimerkiksi bariumpilven havainnointi – edellytä suoria näköhavaintoja. Kovilla myrskyillä luotainraketteja ei kuitenkaan kannata lähettää.

Luotainrakettien voimanlähteinä käytetään kemiallisia sähköparistoja. Paristoista saadaan riittävästi sähkövirtaa, koska luotainraketin toiminta-aika on vain joitakin minuutteja.

Luotainrakettia ei oteta yleensä talteen lennon jälkeen. Se etsitään käsiin vain siinä tapauksessa, että luotaimessa on ilmakehuuslaitteet, näytteenottolaitteita tai siihen on pantu joitain koe-eläimiä matkustajiksi. Kärkikartio leijailee alas laskuvarjon varassa ja seurantalähetin auttaa etsintäpartiota löytämään sen laskeutumisalueelta. Luotainraketit laskeutuvat tavallisesti asumattomalle ja vaikeakulkuiselle seudulle.

Kuva 9.6. Ufoko? Ei, vaan ranskalaisella Centaure-raketilla singottuja bariumpilviä. Toinen kiemurtelee tuulissa noin 90 km korkeudella ja toinen levittäytyy tasaisesti noin 120 km korkeudessa.

10. Putoaminen maan ympäri

Neljäntenä lokakuuta 1957 lähetettiin avaruuteen ensimmäinen Maata kiertävä satelliitti. Koska se kiersi Maata samaan tapaan kuin Kuu, sitä sanottiin myös tekokuuksi. Tämän ensimmäisen satelliitin läpimitta oli 58 cm ja paino 83,6 kg. Satelliitissa oli radiolähetin, joka sai sähkövirtansa kemiallisista paristoista. Satelliitista sojotti neljä pitkää antennia.

Sputnik-1 kiersi Maata radalla, jonka lähin piste oli 228 kilometrin korkeudessa ja etäisin piste 947 kilometrin korkeudessa. Näissä korkeuksissa on ilmaa vielä niin paljon, että sen vähittäinen hidastava vaikutus sai satelliitin vajoamaan hiljalleen alemmaksi. Yhdeksänkymmentäkaksi päivää lähdön jälkeen Sputnik-1 syöksyi tiheämpiin ilmakerroksiin ja paloi poroksi.

Satelliitteja pidettiin aluksi vain Maan ympäri kiertävinä korkeusluotaimina ja niiden mittalaitteetkin suunniteltiin sen mukaisesti. Miehitetyt avaruusalusukset olivat olleet jo avaruustutkimuksen pioneerien yhtenä päämääränä, mutta erityistehtäviä suorittavien miehittämättömien satelliittien mahdollisuuksia alettiin oikeastaan pohtia vasta kun ensimmäinen Sputnik oli saatu taivaalle.

Maasta avaruuteen

Satelliitti saadaan pysymään Maata kiertävällä radalla vain jos se lentää ilmakehän tiheimpien kerrosten yläpuolella. Tarvittava nopeus on alimalla mahdollisella radalla 7 900 km/s. Tämän vauhdituksen lisäksi satelliitti on myös nostettava ratakorkeuteensa. Teoreettiseksi minimiajotarpeeksi saadaan lauseke

$$(10.1.) \Delta V = \sqrt{v_p^2 + (2g_o \cdot h \frac{R}{R+h})^2}$$

jossa ΔV on teoreettinen ajotarve

v_p on nopeus perigeumissa

g_o on painovoimakiihtyvyys maanpinnalla, 9,81 m/s²

h on perigeumin korkeus maanpinnasta

R on maapallon säde

Tässä ei ole huomioitu ilmanvastuksen vaikutusta nousun aikana. Todelista käytännön ajotarvetta on käsitelty luvussa 4. Lauseketta 10.1 voidaan käyttää myös muille taivaankappaleille, kun siihen sijoitetaan niitä vastaavat säde R ja painovoimakiinnyys g .

Luvussa 3 käsiteltiin taivaanmekaniikkaa, jonka yhteydessä selvitettiin että satelliittien radat ovat ellipsejä. Ympyrä on ellipsin erikoistapaus: silloin apogeum ja perigeum ovat samalla korkeudella. Käytännössä satelliitti lentää hyvin harvoin ympyrärataa, mutta korkeuserojen ollessa pieniä voidaan rataa pitää ympyränä, jonka säde on rataellipsin isoakselin puolikas. Taulukossa 10.1 on eräitä lentokorkeuksia vastaavia kiertoaikoja.

Ratakorkeus (km)	Satelliitin nopeus (m/s)	Kiertoaika (min)
200	7 793	88,2
400	7 677	92,3
800	7 460	100,6
35 900	3 070	1 436,1 (sideerinen vuorokausi)

Taulukko 10.1. Eräitä satelliittien kiertoaikoja ja kiertonopeuksia ympyräradalla.

Alimmalle satelliittiradalle kokonaisajotarve on noin 9 500 m/s. Lentokorkeuden kasvaessa myös ajotarve kasvaa, sillä samalla on kuljettava Maan painovoimakentässä ylöspäin. Lähetettäessä alus geosynkroniselle radalle, jolla satelliitin kiertoaika Maan ympäri on sama kuin maapallon sideerinen pyörähdysaika, ajotarve on käytännössä suurempi kuin pakonopeus (11,2 km/s).

Kantoraketit

Korkeille satelliittiradoille – esimerkiksi geosynkroniselle radalle – sekä kuuluotaimille ja planeettojen ohilentoluotaimille ajotarve on suurin piirtein yhtä suuri ja sen takia näillä lennoilla voidaan käyttää samanlaisia kantoraketteja. Vauhditukseen käytetään monivaiheraketteja, joissa on joko kiinteä tai nestemäinen ajoaine. Usein käytetään myös sekamuotoja: jotkut vaiheet voivat olla ruutiraketteja ja jotkut nesteraketteja.

Taulukossa 10.2 on lueteltu eräitä satelliittien ja avaruusrakettien kantoraketteja ja niiden hyötykuormia sekä matalalle satelliittiradalle että

Raketti	Valmistaja	Lähtöpaino (tonnia)	Vaiheet ki = kiinteä ne = neste	Hyötykuorma (tonnia) 200 km:n satelliittirata	pakonopeus
Delta 3914	USA	132	ki/ne/ne/ki	2,5	0,45
Atlas-Agena	USA	126	ne/ne	2,3	0,34
Titan-III	USA	720	ki/ne/ne/ne	13	3,6
Saturn-V	USA	2 860	ne/ne/ne	120	45
Sojuz-kantoraketti	NL	322	ne/ne/ne	7,5	1,2
Saljut-kantoraketti	NL	n. 900	ne/ne/ne	20	7
Avaruussukkula	USA	1 847	ki/ne	28,5	—
Mu 4 S	Japani	40	ki/ki/ki/ki	0,1	—
L-3S Ariane	ESA/Ranska	206	ne/ne/ne	4	0,77

Taulukko 10.2. Eräitä kantoraketteja ja niiden hyötykuormia.

pakonopeuteen vauhditettaessa. Pakonopeudella alus irtautuu Maan painovoimakentästä.

Kantoraketilla saadaan joko painava satelliitti Maata kiertävälle radalle tai sitten huomattavasti kevämpi luotain kohti muita taivaankappaleita. Kiertoajaltaan vuorokauden pituiselle synkroniradalle voidaan lähettää suurin piirtein pakonopeus-sarakkeen ilmoittama hyötykuorma.

Pakonopeus jollakin lentokorkeudella on yksinkertaisesti laskettavissa tällä korkeudella ympyrärataa kiertävän satelliitin nopeudesta. Pakonopeus saadaan lausekkeesta

$$(10.2) \quad v_p = \sqrt{2} v_k$$

jossa v_p on pakonopeus ja v_k on satelliitin nopeus kiertoradalla. Pyöristettynä voidaan laskea, että pakonopeus on 1,4 kertaa satelliitin nopeus ja toisin päin satelliitin nopeus on 0,71 kertaa pakonopeus.

Lähtölaskenta

Suurten kantorakettien lähettäminen vaatii pitkiä ja huolellisia valmisteluja. Eri osat ja toiminnot on tarkistettava moneen kertaan, sillä raketti ei voi tehdä pakkolaskua jos siihen tulee jokin vika lähdon jälkeen. Tämän takia lähtöjärjestelyiden on oltava perusteellisia.

Neuvostoliittolaiset kokoavat raketin erityisessä kokoonpanohallissa, mistä raketti kuljetetaan sitten makuuasennossa lähtöpaikalle ja nostetaan pystyyn. Raketti on kaksiosaisen huoltotornin välissä tarkistus- ja tankkausvaiheen ajan aina lähtöhetkeen saakka. Juuri ennen raketin lähtöä huoltotornit kallistetaan sivulle, niin että raketti pääsee vapaasti nousemaan.

Yhdysvalloissa pienet raketit kootaan lähtöalustalla. Huoltotorni on kiskoilla, joita pitkin se voidaan lähtöhetkellä vetää pois raketin luota. Saturnin, Avaruussukkulan ja Titanin kaltaiset suuret raketit kootaan liikkuvalla lähtöalustalle erillisessä huoltorakennuksessa, mistä ne kuljetetaan lähtöpaikalle alustoineen. Viimeiset tarkistukset tehdään siirrettävästä huoltotornista käsin.

Lähtölaskennassa käydään lähtölaskentaohjelman mukaisesti läpi kaikki lähtövalmiuden kannalta välttämättömät tarkistukset ja toimenpiteet. Kukin tarkistus suoritetaan ohjelmaan merkityllä ajallaan.

Ennen laukaisua kuluvien viimeisten sekuntien ilmoittaminen näkyvästi ja kuuluvasti on jo perinne. Tällä menettelyllä on oma historiansa. Saksalainen Fritz Lang ohjasi 1920-luvun lopulla elokuvan »Frau im Mond», joka oli ensimmäinen tieteeseen tukeutuva avaruuselokuva – oman aikansa »Avaruusseikkailu 2001». Tieteelliseksi neuvonantajakseen Lang palkkasi saksalaisen avaruuslentopioneerin Hermann Oberthin. Lang huomasi, että jännitystä voidaan tiivistää yksinkertaisesti laskemalla selvästi lähtöä edeltävät sekunnit. Myös saksalaiset raketikokeilijat ottivat tämän tavan käyttöönsä alkaessaan muutamaa vuotta myöhemmin laukaista ensimmäisiä koerakettejaan, jotta valmistelut tapahtuisivat oikeassa järjestyksessä. Samaa menetelmää alettiin käyttää kolmikymmenluvulla myös Neuvostoliitossa, missä se oli todettu tarkoituksenmukaiseksi Langin elokuvasta riippumatta.

Suuren raketin lähtölaskenta kestää useita vuorokausia. Nykyisin lähtölaskenta hoidetaan tavallisesti tietokoneella. Teknikoiden tehtävänä on pitää huolta vain tarvittavien kaapeleiden kytkemisestä tai irrottamisesta ja vaihtaa tietokoneen viallisiksi ilmoittamat osat uusiin. Lähtölaskennan loppuvaiheet tietokone hoitaa yksinään. Suuren Saturn-V -kantoraketin lähtölaskennassa annetaan lopullinen lähtölupa 3 minuuttia 20 sekuntia ennen nousua (lift-off). Tosin vielä lopullisen lähtöluvankin jälkeen toiminnot voidaan hätätilanteessa pysäyttää nappia painamalla. Moottorit sytytetään yhdeksän sekuntia ennen nollahetkeä, jolloin raketti lähtee kohoamaan alustaltaan.

Nousurata

Ensimmäiset kymmenen kilometriä raketti nousee pystysuoraan voidakseen mahdollisimman nopeasti läpäistä ilmakehän tiheimmät osat. On aika yllättävää että alkuvaiheessa kiihtyvyys on melko pieni: työntövoima on yleensä vain 1,2–1,5 kertaa raketin paino. Näin suurin osa työntövoimasta kuluu »hukkaan» pelkästään raketin kannattelemiseen. Jo viiden kilometrin korkeudessa ilmanvastus on pienentynyt puoleen ja raketin rataa voidaan alkaa kallistaa. Päästyään 20–30 kilometrin korkeuteen raketti alkaa jo lähestyä vaakasuoraa lentorataa.

Kuvassa 10.1 on nousurata matalalle satelliittiradalle sellaisessa tapauksessa, jossa työntövoima pidetään vakiosuuruisena. Korkeammille satelliittiradoille lennettäessä nousu tapahtuu yleensä kahdessa vaiheessa kuvan 10.2 mukaisesti. Tätä menetelmää käytetään varsinkin silloin, kun kantoraketin viimeinen vaihe on ruutiraketti. Tällöin lopulliset ohjaustoimet hoidetaan jo toiseksi viimeisen vaiheen ajoaikana ja hyötykuorma pannaan yhdessä viimeisen vaiheen kanssa pyörimisliikkeeseen. Toiseksi viimeisen vaiheen irtautumisen jälkeen alus lentää vapaasti ratakorkeuteen, missä sytytetään viimeinen vaihe joka siirtää hyötykuorman Maata kiertävälle radalle. Näin ammutaan radalleen varsinkin pieniä satelliitteja.

Geosynkroniselle radalle lennettäessä alus ohjataan ensin matalalle satelliittiradalle, *pysäköintiradalle*. Synkronisen satelliitin on lennettävä päiväntasaajatasossa ja siksi rakettimoottorit sytytetään vasta kun aluksen rata leikkaa päiväntasaajan. Alukselle annetaan lisävauhtia niin että se siirtyy lopulliselle lentokorkeudelle vievälle elliptiselle *siirtoradalle*. Siirtoradan korkein kohta, apogeum, on lopullisella ratakorkeudella. Korkeimmalle kohdalle tullessa alusta vauhditetaan uudelleen, niin että se jää ympyränmuotoiselle radalle. Samalla sille annetaan myös sivusuunnassa sen

Kuva 10.1. Nousu matalalle satelliittiradalle. Nousu tapahtuu yhtäjaksoisesti ja siinä voidaan erottaa kolme osaa: pystysuora nousu ilmakehän alimpien kerrosten läpi (1), lentoradan muuttaminen loivemmaksi (2) ja vauhditus satelliittinopeuteen ilmakehän yläosissa (3). Kuva on piirretty oikeaan mittakaavaan. Useimmat miehitetyt alukset lähetetään kiertoradalle tällä tavalla.

Kuva 10.2 Kaksivaiheinen nousu keskikorkealle kiertoradalle. Esimerkiksi on valittu ranskalaisen Diamant-raketin lento; kuva on oikeassa mittakaavassa. Jo raketin ensimmäinen vaihe alkaa muuttaa lentorataa loivemmaksi ja toisen vaiheen palojen jälkeen alus jatkaa vapaata nousua. Aluksen noustua ratakorkeudelle kolmas vaihe antaa sille riittävän loppunopeuden. Suuri osa miehittämättömistä keskikorkeilla satelliittiradoilla lentävistä aluksista lähetetään tällä menetelmällä. Alla suorakulmion rajoittama nousuvaihe tarkemmin.

verran vauhtia, että sen ratataso yhtyy päiväntasaajatasoon. Koska geosynkronisella radalla satelliitin kiertoaika on sama kuin maapallon pyörimisaika, satelliitti pysyy Maasta katsoen jatkuvasti saman maantieteellisen

Kuva 10.3. Nousu geosynkroniselle radalle. Alus ohjataan ensin matalalle pysäköintiradalle (1). Päiväntasaajan ylittäessään alukselle annetaan lisävauhtia, niin että se nousee siirtoellipsiin (2) pitkin lopulliselle korkeudelle eli noin 36 000 kilometrin etäisyydelle maanpinnasta. Tälle korkeudelle saavuttuaan alus saa jälleen lisävauhtia ja samalla sen ratataso muutetaan, jolloin se jää kiertämään Maata ympyräradalla päiväntasaajan tasossa (3). Kuvaa ei ole piirretty mittakaavaan.

kohdan yläpuolella. Geosynkronisen satelliitin lentoa lopulliselle asemapaikalleen on selvitetty kuvassa 10.3.

Nyt herää luonnollisesti kysymys, miksi satelliitin ratataso muutetaan viimeisen vauhdituksen yhteydessä. Satelliitin ratatasoa muutettaessa ajotarve saadaan kaavasta

$$(10.3) \quad \Delta V = 2 \sin(\alpha/2)v$$

missä α on ratatasojen välinen kulma ja v on ratanopeus. Ratatason muutos tapahtuu siten sitä vaivattomammin mitä pienempi on ratanopeus. Ja satelliitin nopeus on pienimmillään radan korkeimmassa pisteessä.

Millainen rata valitaan

Satelliitin radan valinta riippuu siitä, mihin satelliittia on tarkoitus käyttää ja miten siihen pidetään yhteyttä. Edellä tuli jo esille geosynkronisen radan eräitä ominaisuuksia. Geosynkroninen satelliitti kiertää Maata päiväntasaajatasossa 35 900 kilometrin korkeudessa, jolloin se näyttää pysyvän koko ajan samassa kohdassa. Tästä johtuu, että geosynkronisesta satelliiti-

tista katsoen nähdään aina sama alue maapallosta. Viestintäsatelliiteille tämä on suuri etu, koska ne ovat silloin yhteyksien kannalta jatkuvasti käytettävissä. Ne voivat välittää tietoliikennettä niiden pisteiden välillä, joista satelliitti on näkyvissä – tai täsmällisemmin radioaaltojen tavoitettavissa. Geosynkroninen rata sopii hyvin myös suuria alueita tarkkaileville sääsatelliiteille samoin kuin navigointisatelliiteillekin.

Päiväntasaajatasosta poikkeaviin satelliittiratoihin vaikuttaa mm. se että maapallo ei ole tarkkaan ottaen pallo vaan navoiltaan hieman litistynyt. Tästä johtuu, että satelliitin ratataso kiertyy hiljalleen taaksepäin. Jos satelliitti pannaan kiertämään Maan pyörimissuuntaa vastaan, sen ratataso kiertyy päinvastaiseen suuntaan eli Maan pyörimissuuntaan. Sopivalla radalla kiertymisnopeus voidaan valita sellaiseksi, että se on tahdissa maapallon rataliikkeen kanssa. Tällaista satelliittia sanotaan *aurinkosynkroniseksi* satelliitiksi, koska radan kiertymisen takia se ylittää samat alueet aina samaan vuorokauden aikaan. Monet tieteelliset satelliitit lähetetään aurinkosynkronisille radoille. Tällainen on esimerkiksi Hollannin tähtitieteellinen satelliitti ANS, jonka lähettämät tiedot hollantilaiset haluavat itse käsitellä. Myös sääsatelliitit ohjataan usein aurinkosynkroniselle radalle, jolloin samoja alueita tarkkaillaan päivästä toiseen samana aikana.

Magnetosfääriä tutkivat tieteelliset satelliitit kulkevat usein hyvin pitkulaisia ratoja. Vakoiusatelliitit taas lentävät matalilla satelliittiradoilla ja koko maapallon kattamiseksi rata kulkee usein napojen kautta.

Satelliittien seuranta

Satelliitin kulkua on seurattava, jotta tiedettäisiin missä se kulloinkin on. Seuranta tapahtuu joko optisesti teodoliitilla tai sitten tutkalla. Satelliitin radan tunteminen on välttämätöntä, sillä muuten sen lähettämiä tietoja ei voida järjestelmällisesti ottaa vastaan eikä arvioida, miten kauan se pysyy radallaan ennen kuin ilmanvastus pudottaa sen maahan. Samoin seurannan avulla pystytään selvittämään maapallon painovoimakentän epä-säännöllisyyksien sekä Auringon ja Kuun vetovoimien vaikutukset satelliitin rataan.

Kantorakettia seurataan lähdössä samoin menetelmin kuin luotainrakettejakin. Radalleen päästyään satelliitti on koko maapallon kattavan seurantaverkon ulottuvilla. Suomessa satelliittien seuranta aloitettiin jo

vuonna 1957. Seurantatiedot lähetetään laskentakeskukseen, joka niiden perusteella määrittelee tarkan radan ja antaa arvioita radan muuttumisesta ajan mittaan, mikä puolestaan helpottaa seurantaa. Tällaisia laskentakeskuksia on eri puolilla maailmaa.

Satelliitin rakenne

Satelliitti on erillinen alus, joka irrotetaan kantoraketin viimeisestä vaiheesta, kun se on päässyt lopulliselle radalleen. Myös miehittämättömillä satelliiteilla voi olla omat ohjausjärjestelmät, joilla sen asentoa ja rataakin voidaan lennon aikana muuttaa. Satelliitin varusteisiin kuuluvat myös sähkövirtaa tuottavat voimanlähteet, viestintävälineet ja monia muita toimintoja hoitelevia laitteita. Voimanlähteenä käytetään tavallisesti aurinkokennoja, joskus myös ydinenergiaa. Eri voimanlähteitä on käsitelty jo aiemmin luvussa 6. Aurinkokennoista virtansa saavassa satelliitissa on yleensä myös paristot, joihin varastoitua sähköä käytetään satelliitin ollessa Maan varjossa. Satelliitin tehtävistä riippuen siinä on erilaisia lisälaitteita. Viestintä maa-aseman ja satelliitin välillä tapahtuu telemetrisesti: satelliitti ottaa vastaan maasta tulevia käskyjä ja lähettää muistiinsa varastoimat mittaukselliset maa-aseman niitä pyytäessä.

Asennonsäätöjärjestelmää ei aina tarvita, mutta joissakin tehtävissä säädön taas on oltava erittäin tarkka. Pyörimisliikkeellä vakautettujen satelliittien akseli pysyy jatkuvasti samassa suunnassa. Tällä tavoin voidaan pyörimisakselin suuntainen mittalaite pitää ilman eri ohjausta ennalta määrättyssä suunnassa. Eräissä tapauksissa satelliittien laitteet suunnataan pyörittämällä niitä vastakkaiseen suuntaan satelliitin pyörimiseen nähden.

Menetelmää käytetään mm. INTELSAT-viestintäsatelliittien antennien suuntaamiseen. Suurinta suuntaustarkkuutta tarvitaan tähtitieteellisissä satelliiteissa, joiden asento määrätään muutaman kulmasekunnin tarkkuudella. Asennonsäätö tapahtuu tavallisesti paineikaasulla, mutta viime aikoina on alettu käyttää myös vauhtipyöriä.

Geosynkronisella radalla oleva satelliitti ajelehtii hiljalleen oikealta paikaltaan ja siksi sen rataa on aika ajoin korjattava. Korjausten ajotarve on melko pieni – suuruusluokkaa 0,001 m/s vuorokaudessa – ja kun satelliitti on lopulta saatu täsmälleen oikealle kohdalle, sen ratakorjausjärjestelmä saa sen pysymään siinä useita vuosia.

Paluu ilmakehään

Takaisin Maahan palautetaan vakoilusatelliittien filmit, biologisten satelliittien koe-eläimet ja muut näytteet sekä tietenkin myös miehitetyt alukset. Avaruusaluksen vauhdin jarrutukseen käytetään ilmakehää. Ilmakehään syöksyvän aluksen liike-energia muuttuu lämmöksi. Hyötykuorma on suojattava jarrutuksessa syntyvältä kuumuudelta.

Paluu alkaa jarruraketien sytyttämisellä. Jarruraketit hidastavat aluksen vauhtia niin paljon, että se siirtyy uudelle radalle jonka alin piste on ilmakehässä. Jarruraketit suunnataan tavallisesti noin 35 astetta yläviistoon. Jarrutuksen ajotarve on vain noin 50 m/s, kun paluu aloitetaan muutaman sadan kilometrin korkeudesta. Loppuosan jarrutuksesta hoitaa ilmanvastus sen jälkeen kun alus on tullut ilmakehään. Lämpötilahuippu saavutetaan siinä vaiheessa, kun vauhti on hidastunut noin 80 prosenttiin ratanopeudesta. Tästä eteenpäin kaikki riippuu aluksen painosta, muodosta ja koosta sekä siitä, miten hyvin se pystyy siirtämään syntyvän lämmön ympäristöön. Aluksessa on tavallisesti orgaanisesta aineesta valmistettu *lämpökilpi*, joka hiiltymällä ja kaasuuntuessaan sitoo lämpöä. Kaasujen mukana osa lämmöstä siirtyy ilmakehään ja hiiltynyt kerros estää lämpöä joutumasta aluksen sisään.

Kuvassa 10.4 on ensimmäisen miehitetyn avaruusaluksen, Vostokin, paluuvaiheet. Paluu ilmakehään voi tapahtua satelliittinopeutta suuremmillakin nopeuksilla. Miehitettyjen Apollo-kuualusten syöksyessä ilmakehään yhdentoista kilometrin sekuntinopeudella oli suuntauksen oltava erittäin tarkka. Oikea paluukäytävä oli vain 42 kilometriä korkea ja alus tuli ilmakehään kuuden asteen kulmassa.

Tulevaisuuden avaruussukkuloissa ei ole lämpökilpeä, mutta sen sijaan aluksen nokka ja siipien etureunat tehdään suurta kuumuutta kestävästä erikoismetallista. Jarruuntuminen tapahtuu vähittäin, niin ettei lämpötila ehdi nousta liian suureksi. Samalla myös aluksen mekaaniset rasitukset pienenevät. Nykyajan miehitetyillä avaruusaluksilla suurimmat hidastuvuudet ovat paluun aikana 6–8 g, mutta avaruussukkulalla hidastuvuus on korkeintaan 2–3 g.

Kuva 10.4. Vostokin laskeutumisvaiheet. "Vzor"-järjestelmä auttaa kääntämään aluksen oikeaan asentoon, minkä jälkeen jarruraketit hidastavat aluksen vauhtia niin että lentoradan perigeum tulee kyllin tiheisiin ilmakerroksiin (1). Tämän jälkeen paluukapseli irrotetaan huolto-osasta. Paluukapseli syöksyy yksinään ilmakehään (2). Vauhdin hidastuttua kylliksi kosmonautti laukaisee heittoistuimensa (3) ja laskeutuu laskuvarjon varassa maahan (4). Pieni laskuvarjo vetää kapselin päävarjon ulos (5). Gagarin laskeutui kapselissa maahan saakka, kun taas muut Vostok-kosmonautit käyttivät heittoistuinta (kuva viereisellä sivulla).

11. Kuvia ja ääniä avaruudesta

Maapallon toiselta puolelta tuoreina välitettävät television uutiskatsaukset kuuluvat jo arkipäivään. Televisiokuvan laidassa voi joskus näkyä teksti »via satellite», joka tarkoittaa viestintäsatelliitin kautta välitettyä lähetystä. Tuskin monikaan panee puhelimessa puhuessaan merkillä, että mantereiden välisissä puheluisa kysymyksen ja vastauksen välillä on puolen sekunnin ylimääräinen tauko. Viestintäsatelliitit ovat jo jokapäiväistä elämää ja television katselija tai valtameren yli yhteyden saanut puhelin-keskustelija ei luultavasti tule ajatelleeksi, että sanomat kulkevat päiväntasaajan yläpuolella 36 900 kilometrin korkeudessa leijailevan viestintäsatelliitin kautta. Ylimääräinen vajaan puolen sekunnin tauko johtuu juuri näistä pitkistä etäisyyksistä joihin radioaaltojen suuresta nopeudesta huolimatta kuluu oma aikansa.

Vuonna 1945 eräs nuori elektroniikkainsinööri, Arthur C. Clarke, esitti ajatuksen satelliitista joka kiertäisi Maata synkroniradalla ja toimisi tietoliikenteen releasemana. Vuonna 1965 kansainvälinen INTELSAT-järjestö sai käyttöönsä ensimmäisen viestintäsatelliitin. Suomikin on jo liittynyt INTELSAT:iin. Göteborgin pohjoispuolella Tanumissa on maa-asema, josta saadaan INTELSAT-satelliitin avulla yhteys Atlantin toisella puolella olevaan puhelinverkkoon.

Jotenkin yllättävältä tuntuu, että vain 20 % Atlantin yli viestintäsatelliittien kautta kulkevasta tietoliikenteestä on puheluita ja televisio-ohjelmia. Loput 80 % on tietokoneiden välistä sanatonta vuoropuhelua rapakon yli. Myös Tyynen meren yli tapahtuvassa satelliittiviestinnässä suhde on samaa suuruusluokkaa. Ja jo tällä hetkellä valtava satelliittiviestinnän kapasiteetti kasvaa jatkuvasti.

Clarke uskoi vuonna 1945 tekemässään ennusteessa, että häiriötön tiedonvälitys edellyttäisi miehittyjä viestintäsatelliitteja. Mutta nykyajan miehittämättömät viestintäsatelliitit toimivat itse asiassa luotettavammin kuin valtamerikaapelit ja kaiken kukkuraksi niillä on myös tehokas varajärjestelmä – esimerkiksi INTELSAT:illa on jatkuvasti varasatelliitti valmiina synkroniradalla. Nykyiset INTELSAT-satelliitit ovat sylinterin muotoisia ja niiden asento on vakautettu pyörimisliikkeellä, niin että niiden antennit on koko ajan suunnattu kohti Maata.

Neuvostoliitolla on oma Orbita-niminen järjestelmä, jossa käytetään Molnija-satelliitteja. Molnijat eivät lennä synkroniradalla vaan pitkulai-

Kuva 11.1. Neuvostoliiton viestintäsatelliitti Molnija. Molnijat lentävät pitkulaisilla ellipsiradoilla, joiden apogeum on pohjoisella pallonpuoliskolla. Kiertoaika on noin 12 tuntia, josta ajasta satelliittia käytetään kaukoviestintään kahdeksan tunnin ajan joka toisella kierroksella.

silla ellipsiradoilla, joilla kiertoaika on noin 12 tuntia. Rata on valittu siten, että satelliittia voidaan käyttää pitkän matkan viestintään kahdeksan tuntia, minkä jälkeen satelliitti painuu horisontin taakse ja kiertää Maan taitse jälleen uuteen pitkään nousuun.

Kuvassa 11.1 on Molnija-satelliitti. Sen radan apogeum on suunnilleen 40 000 kilometrin korkeudessa pohjoisella pallonpuoliskolla ja perigeum taas on eteläisellä pallonpuoliskolla vain 500 kilometrin korkeudessa. Kiertoaika on noin 12 tuntia ja radan kaltevuus päiväntasaajatasoon nähden 65 astetta. Satelliitit kiertävät Maan pyörimissuuntaan ja siten ne lentävät joka toisella kierroksella Neuvostoliiton yläpuolella ja joka toisella Pohjois-Amerikan yläpuolella. Neuvostoliiton päällä ollessaan Molnijat välittävät Moskovon ja Vladivostokin välillä televisio-ohjelmia sekä lisäksi puheluita yli neljäkymmenen Orbita-verkkoon kuuluvan maa-aseman välillä.

Orbita-järjestelmän maa-asemien rakenne on standardisoitu. Betonisen rakennelman huipulla on läpimitaltaan 12-metrinen lautasmainen paraboliantenni. Rakennuksessa on sekä televisio-ohjelmien että puheluiden välittämiseen tarvittavat tekniset laitteet.

Satelliitti saa käyttövoimansa aurinkoparistoista ja sen asento on vakautettu kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran akselin suhteen. Viestintäjärjestelmiä antennineen on kaksi; toinen järjestelmä on varalla. Lähettimen teho on 40 W.

INTELSAT:in maa-asemat ovat suurempia kuin Orbitan asemat. Tanumin antennin läpimitta on 30 metriä ja antennin kokonaispaino on 280 tonnia, kun Orbita-asemien antennien paino on vain 50 tonnia. Tuulen voimakkuus vaikuttaa näihin suuriin antenneihin. Orbita-antennit pystyvät toimimaan tulessa, jonka nopeus on 25 m/s, mutta Tanumin antenni kestää nopeudella 40 m/s puhaltavan tuulen.

Satelliitit pienten alueiden palvelijoina

Tähän saakka viestintäsatelliitteja on käytetty pääasiassa maailmanlaajuiseen viestintään, mutta tulevaisuudessa ne alkavat ilmeisesti yhä enemmän palvella maantieteellisiä osa-alueita. Kanada on jo alkanut rakentaa oma järjestelmänsä, jossa käytetään Anik-nimisiä satelliitteja. Yhdysvaltojen vastaava alueelliseen viestintään tarkoitettu satelliitti on nimeltään Westar. Muuallakin tunnetaan mielenkiintoa tällaiseen toimintaan. Länsi-Eurooppa hankkinee oman järjestelmänsä, Indonesia on jo

ilmaissut olevansa kiinnostunut ja arabimailla on kaiken lisäksi jopa rahaa tällaisiin tarkoituksiin.

Alueelliseen viestintään soveltuvien satelliittien samoin kuin tavallisiin televisioantenneihin ohjelmia lähettävien satelliittien rakentamiselle ei enää kohta ole teknisiä esteitä. Jo nyt on olemassa satelliittikuvien vastaanottolaitteita, jotka eivät ole juuri sen kummempia kuin kerrostalon keskusantennit. Antennin läpimitta on hieman yli kolme metriä ja koko järjestelmä maksaa noin 7 000 markkaa.

Vaikeimmat ongelmat ovatkin poliittisia: kuka rakentaisi, omistaisi ja käyttäisi joka kotiin ohjelmia lähettävät viestintäsatelliitit. Tämä puoli on ratkaistava ensin, mutta tämän kirjan tarkoituksena ei ole keskittyä pohtimaan vastassa olevia poliittisia esteitä. Ilmeistä kuitenkin on, että vielä on odotettava kymmenkunta vuotta ennen kuin halvat mannertenväliset puhelut ja suoraan koteihin satelliittien kautta välitettävät ohjelmat ovat todellisuutta.

Sääsatelliitit

Säätieteilijöiden tehtäviin kuuluu ennustaa tulevaa säätä. Tässä tehtävässä meteorologit tarvitsevat tietoja eri puolilla maailmaa vallitsevasta säätilasta ja matemaattisen mallin, joka kuvaa sään kehittymistä. Tällaista maailmanlaajuista sääennustusohjelmaa kehitellään parhaillaan.

Säätilan tarkkailua varten on rakennettu laaja sääasemien verkosto. Noin kymmenentuhatta sääasemaa välittävät säännöllisesti kolmen tunnin välein asemalla vallitsevan säätilan maailman sääkeskuksiin. Näiden kiinteiden asemien lisäksi kuutisensataa asemaa käyttää lisäksi säähavaintopallosa, joilla ilmakehä tutkitaan kahdesti vuorokaudessa noin 35 kilometrin korkeuteen saakka. Suurinta osaa maapalloa peittävät kuitenkin valtameret, joiden säävalvonta on vielä puutteellista. Maapallon pinta-alasta suurin osa on meriä, mutta niillä on kuitenkin vain muutama kymmenen pysyvästi sijoitettua sääalusta.

Avuksi on otettu sääsatelliitit. Sekä Yhdysvallat että Neuvostoliitto ovat lähettäneet Maata kiertämään erilaisia säätä tarkkailevia satelliitteja. Jotkin näistä lähettävät automaattisesti lentonsa aikana kuvia, jotka voidaan ottaa vastaan melko yksinkertaisin välinein. Suomessa valmistettu sääkuvien vastaanottolaitteisto maksaa noin 30 000 mk.

Sääsatelliitti kiertää Maata aurinkosynkronisella radalla ja pyörii niin että sen pyörimisakseli on maanpinnan suuntainen; satelliitti ikäänkuin

pyörii menosuuntaansa. Kamerate ovat kohtisuorassa pyörimisakselia vastaan ja aina pyörähdysten siinä vaiheessa, kun kamera on kohti Maata sen suljin avataan. Vidikonputki pyyhkäisee sen jälkeen kameran tallentaman kuvan juova juovalta ja välittää kirkkausvaihtelut satelliitin lähettimelle. Kuvan pyyhkäisyn käytetään 600–800 juovaa ja yhden kuvan välittämiseen Maahan kestää kaksisataa sekuntia. Tämän jälkeen satelliitti on valmis ottamaan uuden kuvan. Kuvaan mahtuu satelliitin lentokorkeudesta riippuen maa-alue, jonka pituus ja leveys ovat tuhannesta kolmeen tuhanteen kilometriin. Yhdysvaltain ESSA- ja NOAA-sääsatelliitit kiertävät Maata ympyräradalla 1 500 kilometrin korkeudella. Yhteen kierrokseen kuluu 115 minuuttia.

Neuvostoliitto on antanut sääsatelliiteilleen nimen Meteor. Meteorit lentävät 900 kilometrin korkeudessa ja niiden kiertoaika on 102 minuuttia. Niiden asento on vakautettu sellaiseksi, että aurinkopaneelit ovat jatkuvasti kohti Aurinkoa ja kamerat kohti Maata. Kuva-ala on 1 000 km x 1 000 km.

YK:n alaisen Maailman ilmatieteellisen järjestön WMO:n koordinoimaan maailmanlaajuiseen säätarkkailuun kuuluu satelliitteja, jotka välittävät sääkuvien lisäksi tietoja myös ilmakehän lämpötilajakautumasta ja pilvikorkeuksista. Tavoitteena on 1970-luvun loppuun mennessä kehittää ilmakehää ja säätä kuvaava matemaattinen malli, joka mahdollistaisi luotettavat pitkän ajan sääennusteet. Geosynkronisilla radoilla olevat sääsatelliitit antaisivat yleissilmäyksen maailman säähän ja tätä täydennettäisiin matalilta radoilta hankituilla yksityiskohtaisemmilla tiedoilla. Jotkut todella näyttävät vakavissaan puuhailevan sään parissa ja jättävän pelkän säästä siunailemisen vähemmälle.

Navigaationsatelliitit

Tarkasti tunnettua rataa Maan ympäri kiertävä satelliitti toimii kiintopisteenä, jonka avulla voidaan mitata oma paikka Maan pinnalla. Tällaisista satelliiteista on suurta hyötyä laiva- ja lentoliikenteelle, varsinkin kun niitä samalla voi käyttää yhteydenpitoon.

Kokeet ovat osoittaneet, että satelliitit sopivat hyvin sekä laivojen että lentokoneiden navigointiin. Automatisointi voidaan viedä niin pitkälle, että satelliitin lähettämän signaalin vastaanottamisen jälkeen kapteeni voi lukea aluksen paikan suoraan näyttölaitteesta. Yhteysliikenne sujuu yhtä mutkattomasti kuin tavallinen puhelinsoitto. Meriliikennettä palvelevista

navigaationsatelliiteista käytetään lyhennettä navsat ja lentoliikenteellä vastaava lyhenne on aerosat. Menetelmä on niin lupaava, että sen käyttöönottoa eivät rajoita niinkään tekniset vaikeudet kuin kiista siitä, kuka saa kääriä voitot taskuunsa.

Luonnonvarasatelliitit

»Jos minun pitäisi erilaisista satelliittien käyttötavoista valita jokin, jonka merkitys ihmiskunnalle on niin suuri että sitä olisi suorastaan pakko kehittää, valintani osuisi ilman muuta luonnonvarasatelliitteihin.» Suurin piirtein näin sanoi eräs korkeassa asemassa oleva amerikkalainen sen jälkeen, kun oli saatu joitain kokemuksia ensimmäisestä luonnonvarasatelliitista ERTS-1:stä. ERTS, jonka nimi tosin nykyisin on Landsat, on suunniteltu pitäen lähtökohtana sitä että lähes kaikkia maapallon olosuhteita voidaan havainnoida avaruudesta kunhan käytetään kyllin herkkiä ja kyllin monia aallonpituuksia tarkkailevia mittalaitteita. Taulukossa 11.1 on esimerkkejä luonnonvarasatelliittien tutkimuskohteista. Tiheään asutujen seutujen kaupunki- ja aluesuunnittelussa tarvitaan yleissilmäyksen antavia karttoja, jotka voidaan laatia satelliittikuvista. Samoin luonnonvarasatelliitteja voidaan käyttää tutkittaessa jokien ja merien saastumista, kasvisairauksien levinneisyyttä, vesistöjen vesivarojen vaihteluita, merivirtoja, lumi- ja jääpeitteen laajuutta ja niin edelleen. Eri puolilla maailmaa suunnitellaan luonnonvarasatelliiteille sopivien vastaanotinasemien rakentamista – Suomessa mm. Maanmittaushallitus on painottanut maa-aseman rakentamisen kiireellisyyttä.

Miehittämättömät satelliitit lähettävät mittaustulokset muokkaamatta sellaisinaan ja sen takia ne on käsiteltävä mm. tietokoneiden avulla käyttökelpoiseen muotoon. Tulevaisuudessa on mahdollista, että miehitetyissä luonnonvarasatelliiteissa hoidettaisiin ainakin alustava mittausten käsittely ja valmiit tiedot lähetettäisiin Maahan tilauksesta. Yhdysvaltain avaruussukkulaohjelmassa on pidetty mielessä myös luonnonvaratutkimukset ja Neuvostoliiton miehitettyjen lentojen yhtenä päämääränä on ollut, uutistoimisto TASS:in tavanmukaisen ilmaisutavan mukaan, »kansantaloudellisten tehtävien ratkaisemiseen liittyvät tutkimukset».

taulukko 11.1. Luonnonvarasatelliittien tutkimuskohteita

Tieteen haara	Sovellutuksia
Arkeologia	Esihistoriallisten asuinsijojen kartoitus
Maanviljelys	Eri lajien viljelyalojen laskenta Satoarviot Maaperän luokitus Maankäytön kartoitus ja suunnittelu Kasvillisuuden ekologiset tutkimukset Kasvisairauksien ja hyönteistuhojen arviointi Kastelusuunnitelmat
Aluesuunnittelu	Aluesuunnittelun peruskartoitus
Metsien käyttö	Puuston arviointi puulajeittain Alueellinen arviointi Puuvarojen selvittäminen Metsän tilan ja muutosten arviointi Kasvisairaudet Metsäpalojen tarkkailu Hakkuiden arviointi
Geologia	Maaperän yleiskartoitus Öljyesiintymien ja malmivarojen etsiminen Maaperän suuren mitan muutokset
Hydrologia	Lumen ja jään määrän arviointi Tulvien tarkkailu Vesivoimaloiden tekoaltaiden ja vedenjuoksutuksen suunnittelu
Liikenne	Jäätilanteen tarkkailu Liikenneväylien suunnittelu
Kartografia	Karttojen täsmentäminen
Oseanografia	Merivirtojen kartoitus Aaltoisuuden selvittäminen Lämpötilojen kartoitus kalastuksen tarpeisiin
Ekologia	Saasteiden levinneisyyden selvittäminen Saastevalvonta
ym., ym.	ym., ym.

Sotilaalliset satelliitit

Sotilaallisia satelliitteja käytetään sekä valokuvaamalla suoritettavaan vakoiluun että radiovakoiluun, ydinkokeiden valvomiseen, rakettien laukaisujen paljastamiseen ja omien puolustusvoimien sisäiseen viestintään.

Satelliittien käyttö sotilastarkoituksiin on tietenkin mitä suurimmassa määrin salaista, mutta joitain tietoja on kuitenkin tihkunut julkisuuteen. TACSATCOM-järjestelmällä Yhdysvallat hoitaa viestiyhteydet Pentagonin ja eri puolilla maailmaa olevien joukkojen välillä. Viestintään käytetään myös erästä toista järjestelmää, joka tunnetaan nimellä »777». Geosynkronisella radalla olevien valvontasatelliittien järjestelmä, »Suuri silmä», tarkkailee Neuvostoliiton ja Kiinan rakettikokeita. Vela-satelliitit taas paljastavat ydinräjäytyksen »tapahtuivat ne missä päin aurinkokuntaa tahansa».

Sotilaallisilla satelliiteilla on myös tietynlainen rauhanturvaamistehtävä. Asevarustelujen supistamisneuvotteluissa ja esimerkiksi SALT-sopimuksessa on lähdetty siitä, että valvonta tapahtuisi osittain myös satelliiteista käsin. Sekä Yhdysvallat että Neuvostoliitto ovat käyttäneet vakoilu-satelliitteja mm. lähi-idän sotilaallisen tilanteen tarkkailuun.

Opetusohjelmia satelliiteista

Kehitysmaiden suurimpia pulmia on se, miten neuvoja tarvitsevat ja neuvoja jakavat saataisiin kosketuksiin toistensa kanssa. Tässä muodostaa myös lukutaidottomuus pahan esteen. Radio- ja televisiotekniikkaa käyttäen lukutaidottomuuden ongelma voidaan sivuuttaa, koska tiedot voidaan välittää suoraan puheella tai kuvilla.

Vaikeudet ovat teknisiä, mutta sen lisäksi myös informatiivisia – miten asiat pitäisi esittää, niin että ihmiset ne ymmärtäisivät? Harvalla kehitysmaalla on kylliksi varoja rakentaa täydellisen televisioverkon edellyttämät kymmenet ja sadat linkkiasemat. Linkkiasemien sijasta voitaisiinkin käyttää suuritehoista satelliittia, jonka lähetykset voitaisiin vastaanottaa pinta-alaltaan muutaman kymmenen neliömetrin kanaverkkoantennilla. Antenniin liitetty televisiovastaanotin saisi virtansa aurinkokennoista, jotka eivät vaadi huoltoa. Menetelmällä saataisiin ehkä joka kylään vastaanotin. Tiedonvälityksessä olisi turvauduttava kuviin varsinkin sellaisilla alueilla, missä puhutaan useita kieliä. Kuvaan liittyvä puheinformatio sen sijaan voitaisiin välittää kullekin kieliryhmälle radiolla. Suun-

nitelmien mukaan kylä kerääntyisi seuraamaan ohjelmia yhdessä. Kesällä 1975 kokeiltiin amerikkalaisella ATS-6 -satelliitilla jonkin aikaa ohjelmien lähettämistä Intiaan.

Käyttösatelliittien tulevaisuus

Tämä kirja on tekninen, ei poliittinen; siksi tässä yhteydessä ei pohdita käyttösatelliittien kehityksen tiellä olevia yhteiskunnallisia hankaluuksia. Joka tapauksessa kokemus on osoittanut, että erilaisten järjestelmien – viestintäsatelliiteista pienalueille ohjelmia suuntaavat menetelmät, aerosat, navsat, opetusohjelmia lähettävät satelliitit ym. – kehitysvauhti riippuu siitä, miten pian niihin liittyvien erilaisten intressien väliset ristiriidat ratkaistaan. Rahoitus vaatii joka tapauksessa kansainvälistä yhteistyötä. Ratkaisevaa ei ole se, kenellä rahat ovat, vaan se kuka saa valvoa lähetyksiä ja myös teknistä kehitystyötä. Ne maat, jotka eivät tällä hetkellä voi tai eivät halua sijoittaa varoja avaruustutkimukseen, joutuvat ennen pitkää alempaan kastiin – niiden armoille jotka ehtivät saada kehityksessä riittävän etumatkan. Kaiken tekniikan tapaan myös käyttösatelliitit ovat joko hyvä tai huono asia. Tulos riippuu siitä, miten ja mihin tarkoitukseen niitä käytetään.

Kuva 11.2. Intelsat-viestintäsatelliittien kehitys kymmenen vuoden aikana.

12. Pitkä käsivarsi

Jo ennen ihmisen astumista Kuun pinnalle oli tiedossa pinnan koostumus ja kestävyys ja käytössä oli tarkat kartat laskeutumispaikoista. Tiedot oli saatu automaattisilla avaruusluotaimilla, jotka olivat tutkineet Kuuta pinnalta ja kiertoradalta. Planeettatutkimuksessa on myös parhaillaan menossa ensimmäinen vaihe, jossa monet automaattiset alukset herkillä laitteillaan kuvaavat planeettojen pintaa, tunnustelevat niiden lähiympäristön kenttiä ja hiukkasia ja laskeutuvat pinnalle ottamaan selvää siellä vallitsevista oloista.

Automaattiluotaimet ovat ihmisen pitkä käsivarsi, joka työnnetään miljoonien kilometrien päähän avaruuden läpi. Ne toimivat kaikkialla ihmisen edelläkävijöinä ja antautuvat vaaroihin, jotka olisivat liian suuria eläville olennoille. Vasta luotainten vuosia tai vuosikymmeniä kestäneiden tutkimusten jälkeen lähetetään ehkä ihmisiä suorittamaan tarkempia havaintoja. Moniin paikkoihin, kuten Venuksen pinnalle tai Jupiterin takaisille kaukaisille alueille, ei ihminen itse pääse ehkä vielä satoihin vuosiin matkustamaan, ja siksi ainoa keino tarkan tiedon saamiseksi sieltä ovat avaruusluotaimet.

Maanpäällisiin kaukoputkiin ja radioteleskooppeihin verrattuna, joilla myös tutkitaan aurinkokuntaamme, avaruusluotaimet ovat tavattoman kalliita. Niillä saadaan kuitenkin välitöntä tietoa paikan päältä ja ne ovat antaneet monia sensaatiomaisia tuloksia, joiden hankkiminen ei maanpäällisillä laitteilla olisi ollut mahdollista. Automaattiluotaimet ovat myös avaruustutkimuksen suurvaltojen näyttäviä propagandavälineitä, joiden saavutuksia ylistetään kansakunnan taidon ja voiman näytteinä. Sekä Yhdysvallat että Neuvostoliitto ovat lähettäneet kymmeniä kuu- ja planeettaluotaimia, Neuvostoliitto enemmän, mutta Yhdysvallat paremmalla menestyksellä.

Kuuluotaimia

Yksinkertaisimpia kuualuksia ovat *iskeytymisluotaimet*, jotka lähetetään kohti Kuuta ja annetaan murskautua sen pintaan. Ennen murskautumista alus kuitenkin lähettää tieteellisten laitteiden lukemia, esim. valokuvia

lähestyvistä pinnasta. Ensimmäinen onnistunut iskeytymisluotain oli Neuvostoliiton Luna 2 (1959), ja Yhdysvallat sai ensimmäiset lähikuvat Kuun pinnasta Ranger-aluksillaan (1964–65).

Toinen yksinkertainen luotaintyyppi, jota käytettiin kuututkimuksen alkuaikoina, on *ohilentoluotain*. Se ohjataan kulkemaan läheltä Kuun ohi, jonka jälkeen se voi jatkaa matkaansa takaisin Maan lähelle tai Aurinkoa kiertävälle radalle. Ensimmäinen ohilentoluotain oli Luna 1 (1959), josta tuli myös ensimmäinen Aurinkoa kiertävä tekoplaneetta. Luna 3 (1959) otti ensimmäiset kuvat Kuun näkymättömästä puolesta. Uusimpia ohilentoluotaimia ovat olleet Zond 5–8 (1968–70), jotka ovat kuvanneet Kuuta ja palanneet sitten Maahan.

Edellisiä huomattavasti mutkikkaampia ovat *laskeutumis-* ja *kiertolaisluotaimet*, koska niissä on oltava jarrutusmoottori vauhdin hidastamiseksi. Ensimmäiset kuuhunlaskeutumisalukset lähestyivät pintaa suoraan Maa-Kuu-siirtoradalta ja suorittivat pinnan lähellä jarrutuksen vauhdin hidastamiseksi, niin että voitiin suorittaa pehmeä lasku. Laskeutuminen onnistui ensi kerran Luna 9-aluksella (1966), joka lähetti valokuvia pinnalta. Menestyksellisiä olivat myös Yhdysvaltain Apollo-ohjelman esikokeina lähetetyt Surveyor-alukset (1966–68).

Kiertolaisluotainten lähestymisrata kulkee Kuun ohi, ja lähimmässä pisteessä suoritettu jarrutus vie luotaimen Kuuta kiertävälle radalle. Radalta voidaan ottaa valokuvia ja kartoittaa Kuuta, tutkia sen heijastamaa säteilyä ja sen gravitaatio- ja magneettikenttää. Ensimmäinen Kuun kiertolainen oli Luna 10 (1966), ja tarkkaa kartoitusta Apollo-lentoja varten suorittivat Yhdysvaltain viisi Lunar Orbiter-alusta (1966–67).

Vaikka Yhdysvaltain miehitetty Apollo-ohjelma on antanut valtavat määrät tietoa, automaattilaitteet Kuun tutkimisessa eivät suinkaan ole tulleet tarpeettomiksi. Itse asiassa jo Apollo-lennoilla Kuun pinnalle jätettiin automaattisia tieteellisiä tutkimusasemia, joista viisi toimii edelleen ja viestittää jatkuvasti Maahan monipuolisia tietoja. Niiden kautta ihminen pysyy vielä vuosikausia yhteydessä Kuun autioille tasangoille.

Automaattiluotaimia tarvitaan edelleen Kuun jatkuvaa tarkkailua varten. Esimerkiksi Apollon tulokset ovat herättäneet monia kysymyksiä, joihin voitaisiin saada vastaus kuuluotaimilla. Yhdysvalloilla ei kuitenkaan ole tällä hetkellä suunnitelmia uusiksi kuualuksiksi.

Neuvostoliiton uudet automaattiluotaimet ovat olleet kolmentyyppisiä: kiertolaisia, *näytteidennoutajia* ja *kuukulkijoita*. Kaksi jälkimmäistä tyyppiä laskeutuvat pinnalle Kuuta kiertävältä radalta. Näytteidennoutaja poraa pinnasta kuuperänäytteen ja siirtää sen paluukapselin sisään. Kapseli lähetetään pienellä raketilla takaisin Maahan.

Kuva 12.1. Apollo 17:n pystyttämä tutkimusasema. Yhdysvaltain Apollo-lennoilla 1969–72 jätettiin Kuun pinnalle viisi automaattista tutkimusasemaa, jotka välittävät jatkuvasti tietoja pinnalta.

Kuukulkija on automaattinen tutkimusasema, joka pyörien varassa liikkuu useiden kuukausien ajan pinnalla ja tutkii laajoja alueita. Sitä ohjataan televisiokameroiden kuvan perusteella Maassa olevasta keskukselta. Neuvostoliitossa on ollut puhetta kuukulkijan ja paluuraketin tehtävien yhdistämisestä: Lunohod keräisi matkansa varrella näytteitä ja tulisi toisen luotaimen laskeutumispaikalle. Näytteet siirrettäisiin paluukapseliin, joka toisi ne Maahan.

Kuva 12.2—3. Uusimpia kuuluotaimia ovat Neuvostoliiton Luna-sarjan näytteidennoutajat (yllä Luna 16 lähdössä Kuusta syyskuussa 1970) ja kuukulkijat (vieressä Lunohod 2 keväällä 1973).

Planeetaluotaimia

Jos avaruusluotain lähetetään tutkimaan *yhtä* planeettaa, kuten viime vuosiin, asti aina tehtiin, sen lento-ohjelma on suunnilleen samanlainen kuin kuuluotaimilla. Matka-aika on kuitenkin paljon pitempi, mikä asettaa tekniikalle uusia vaatimuksia.

Ohilentoluotain on yleensä ensimmäinen vaihe kunkin planeetan tutkimisessa. Se antaa alustavat tiedot, joita tarvitaan myöhempien luotainten

Kuva 12.3.

suunnittelussa. Ohilentoaluksia olivat mm. Yhdysvaltain Mariner 2 (Venuksen ohi 1962), Mariner 4 (Marsin ohi 1965) ja Pioneer 10 (Jupiterin ohi 1973).

Lähinnä iskeytymisluotaimiksi voidaan lukea Neuvostoliiton Venera-sarjan alukset 4–8, jotka tähdättiin osumaan Venukseen. Planeetan paksun kaasukehän ansiosta ne eivät kuitenkaan murskautuneet pintaan, vaan laskeutumiskapselin vauhti hidastui aerodynaamisella jarrutuksella ja se leijui laskuvarjon varassa pinnalle.

Ensimmäinen toisen planeetan kiertolaisluotain oli Yhdysvaltain Mariner 9, joka asettui Marsia kiertämään 1971.

Kiertolais-laskeutumisluotain koostuu kahdesta osasta: laskeutumiskapselistä sekä emäaluksesta, joka asettuu planeetan kiertoradalle. Laskeutumiskapseli voidaan irrottaa jo planeettaa lähestyessä, kuten tehtiin Neuvostoliiton Mars 2:ssa ja 3:ssa 1971, tai vasta sen jälkeen kun luotain oli jonkin aikaa ollut kokonaisena planeetan kiertoradalla. Jälkimmäistä tapaa käyttävät Yhdysvaltain Viking-alukset Marsin lähellä 1976.

Ohilento-laskeutumisluotain koostuu myös laskeutumisaluksesta ja emä-

Kuva 12.4. Yhdysvaltain Pioneer 10 lensi ensimmäisenä luotaimena Jupiterin ohi joulukuussa 1973. Pioneer 11, joka 1974 lentää Jupiterin ja 1979 Saturnuksen ohi, on samanlainen.

Kuva 12.5. Venera 8 laskeutumiskapseli Venuksen pinnalla heinäkuussa 1972. 1 — ulos heitetty antenni, 2 — paine- ja lämpömittari, 3 — valoisuuden mittaaaja, 4 — pääantenni, 5 — laskuvarjo (irrottamisen jälkeen), 6 — korkeusmittarin antenni.

Kuva 12.6. Viking. Yhdysvallat lähetti 1975 kohti Marsia kaksi Viking-alusta. Ne saapuvat perille 1976, ja niiden laskeutumisalukset etsivät pinnalta mm. merkkejä elämästä.

luksesta. Planeettaa lähestyttäessä laskeutumiskapseli ohjataan planeetan kaasukehään, jonka läpi se laskeutuu pinnalle, mutta emäalus ei asetu planeettaa kiertämään vaan lentää sen ohi. Näin siihen ei tarvitse asentaa raskasta jarrutusmoottoria. Ensimmäinen ohilentolaskeutumisluotain oli Neuvostoliiton Mars 6 vuonna 1974; sen laskeutumisosa kuitenkin osittain epäonnistui.

Laskeutumisluotaimet ovat toistaiseksi olleet paikalleen jääviä pieniä tutkimusasemia, mutta suunnitteilla on myös planeetakulkijoiden lähettäminen Marsiin.

Kun avaruustekniikka kehittyy, siirrytään sellaisiin luotaimiin, jotka palaavat Maahan. Näitä käytetään ehkä jo ensi vuosikymmenellä Marsin tai Venuksen tutkimisessa. Yksinkertaisin paluuluotain suorittaa planeetan ohilennon ja jatkaa lentoa Aurinkoa kiertävällä radalla, joka leikkaa Maan radan. Maahanpaluu suoritetaan ilmakehässä tehtävällä jarrutuksella. Monimutkaisempi on näytteidennoutaja, jonka lento Marsiin ja takaisin Maahan tapahtuu seuraavasti: Valtava alus koostuu laskeutumis- ja kiertolaisosasta. Ennen Marsiin saapumista osat eroavat, ja emäalus asettuu planeetan kiertoradalle. Laskeutumisosa suorittaa pehmeän laskun pinnalle. Siinä on Luna 16:n tavoin alusta, johon kuuluu näytteidenottolaitteet, paluuraketti ja paluukapseli. Marsin pinnasta otetut näytteet ja muut

Kuva 12.7. Mariner 10 otti ensimmäisenä luotaimena lähikuvia Venuksesta (helmikuussa 1974) ja Merkuriuksesta (maaliskuussa 1974).

tutkimustulokset siirretään paluukapseliin. Sitten paluuraketti nousee Marsin kiertoradalle ja kohtaa siellä odottavan emäluksen. Näytteet siirretään emälukseseen, joka rakettimootorillaan irrottautuu Marsin ympäriltä kohti Maata vievälle radalle. Matkan lopuksi paluukapseli syöksyy jarrukilven suojaamana Maan ilmakehään ja tekee pehmeän laskun maahan.

Kahta tai useampaa planeettaa tutkivista luotaimista ovat tavallisimpia alukset, jotka linkorataa käyttäen (ks. luku 4) lentävät usean planeetan ohi. Jupiterin takaisten kiertotähtien ja Merkuriuksen tutkimisessa muunlaisia luotaimia ei pitkään aikaan rakenneta. Seuraava kehitysvaihe ulkoplaneettojen tutkimisessa tulee luultavasti näiden jälkeen olemaan suuri ohilentoluotain, jossa on useita laskeutumiskapsleita. Se lentää esim. Jupiterin ja Saturnuksen ohi ja pudottaa kummankin kaasukehään tutkimuslaitteita sisältävän pallon. Ohilentoluotain toimii viestien välityksena, jonka kautta kaasukehän syvyyksiin uppoava pallo lähettää sanomansa Maahan.

Kuu- ja planeettaluotainten lisäksi maapallolta on lähetetty *planeettainvälistä avaruutta* tutkivia aluksia, jotka Auringon kiertoradalta tekevät mitauksia aurinkotuulesta, avaruuden hiukkasista ja magneettikentistä. Myös monet planeettaluotaimet ovat matkansa aikana tehneet samanlaisia tutkimuksia. Uusi luotainryhmä, jonka ensimmäiset edustajat lähetettäneen 80-luvun alussa, ovat *komeettaluotaimet*, jotka lentävät läheltä pyrstötähden ohi.

Laukaisuikkunat

Luotaimia Kuuhun ja planeetoille ei kannata lähettää milloin tahansa. Ne laukaistaan erillisistä *laukaisuikkunoista*, joiden aikana lähettäminen on paljon suotuisampaa kuin muulloin. Planeettaluotaimilla edullisimmat ajankohdat määräytyvät yksinomaan planeettojen keskinäisistä asemista ja mahdollisista lentoradoista. Kuuluotaimilla lentoradoissa ei eri aikoina ole paljon eroja, mutta huomioon on otettava mm. valaistusolot laskeutumispaikalla.

Kun planeettaluotain lähetetään pitkin puoliellipsiä esim. kohti Marsia, lähtö täytyy tietysti tehdä sellaisella hetkellä, että luotaimen saapuessa kohtauspaikkaan myös Mars on siinä. Koska Maa ja Mars liikkuvat Auringon ympäri eri etäisyyksillä ja nopeuksilla, suotuisa tilanne toistuu hyvin harvoin, vain kerran vähän yli kahdessa vuodessa. Tällöin laukaisuikkuna on auki 3–4 viikon ajan.

Oheisista taulukoista nähdään tämän vuosikymmenen laukaisuikkunat Venukseen, Marsiin ja Jupiteriin. Niihin on merkitty myös luotaimet, jotka on lähetetty tai aiotaan lähettää kyseisestä ikkunasta. Merkuriukseen oli mahdollista lähettää luotaimia Venuksen kautta marraskuussa 1973, jolloin lähti Mariner 10, ja kesäkuussa 1975, jolloin ei luotaimia kuitenkaan lähetetty.

Saturnukseen on mahdollista laukaista aluksia kerran vuodessa suoraa siirtoellipsiä pitkin, mutta kuten luvussa 3 nähtiin, tarvittava lähtönopeus on hyvin suuri. Siksi Saturnukseen ja sitä kauemmaksi lähetetään luotaimia toistaiseksi vain Jupiterin kautta.

Ainutlaatuinen mahdollisuus ulkoplaneettojen tutkimiseksi avautuu tämän vuosikymmenen loppupuolella, jolloin suuret planeetat sattuvat kaikki olemaan samassa suunnassa ja niitä tutkimaan voitaisiin lähettää yksi ainoa ohilentoluotain. Se suunnattaisiin Jupiteriin, joka muuttaisi radan kulkemaan kohti Saturnusta ja edelleen Uranuksen ja Neptunuksen ohi. »Taivaallista biljardia» parhaimmillaan! Myös aurinkokunnan uloin planeetta, salaperäinen Pluto, saataisiin tutkimuksen piiriin 1977 tai 78

MARS. Ikkunoiden väli 2,1 vuotta, avoinna 3—4 viikkoa kerrallaan.

aika	luotaimet
1971 touko	Mariner 9, Mars 2,3
1973 heinä-elo	Mars 4—7
1975 elo-syys	Viking 1,2,
1977 loka-marras	?
1979 marras	?

VENUS. Ikkunoiden väli 1,6 vuotta, avoinna 3—4 viikkoa kerrallaan.

aika	luotaimet
1970 elo-syys	Venera 7
1972 maalis-huhti	Venera 8
1973 marras	
1975 touko-kesä	Venera 9, 10
1977 jouluku 76-tammi	
1978 (touko)elo-syys	Pioneer 12, 13, Venera ?

JUPITER. Ikkunoiden väli 1,1 vuotta, avoinna n. 1 viikon kerrallaan.

aika	luotaimet
1970 tammi	
1971 tammi-helmi	
1972 maalis	Pioneer 10
1973 huhti	Pioneer 11
1974 touko	
1975 kesä-heinä	
1976 heinä-elo	?
1977 elo-syys	Mariner 11, 12
1978 loka	?
1979 marras	?

Taulukot 12.1—3. Laukaisuikkunat 1970-luvulla Venukseen, Marsiin ja Jupiteriin. Yhdysvaltain suunnittelemaat luotaimet on merkitty taulukkoon, Neuvostoliiton suunnitelmat eivät ole tarkasti tiedossa.

Jupiterin ja Saturnuksen kautta lähetettävällä luotaimella.

Edellä kuvattujen »grand tour» (suuri matka) – luotainten rakentaminen tulisi kuitenkin erittäin kalliiksi, koska niiden pitäisi pysyä täydessä toimintakunnossa kymmenkunta vuotta. Siksi kumpikaan avaruuden suurvalta ei ole ryhtynyt toteuttamaan tätä suurta suunnitelmaa. Seuraava vastaavanlainen tilaisuus sattuu vasta v. 2155, jolloin mahdollisuudet ovat toisenlaiset. Sitä ennen ulkoplaneetat on kuitenkin jo saatu varmasti luotainten ulottuville jatkuvatyöntöisillä rakettimootoreilla.

Kuualusten laukaisuikkunoita ei tarvitse odotella yhtä kauan kuin planeettaluotainten. Lähtönopeudeltaan edullisimmat radat ovat ne, jotka saavuttavat Kuun sen ollessa ratansa perigeumissa. (Kuuhan ei kierrä Maata tarkalleen ympyräradalla, vaan pitkin ellipsiä, jonka alin piste on 365 000 ja ylin piste 405 000 km:n korkeudessa.) Muina aikoina vaadittava ajoainemäärä on kuitenkin vain hyvin vähän tätä suurempi, ja siksi yleensä muut seikat määräävät lähtöajan. Usein koko lento suunnitellaan siten että aluksen laskeutussa Kuun pinnalle tällä kohdalla on Aurinko juuri noussut. Tällöin ei ole vielä liian kuuma, ja selvät varjot helpottavat liikkumista ja kuvaamista.

Jos kuualusta ei jostain syystä pystytäkään lähettämään suunniteltuna hetkenä, se ei merkitse suurtakaan lykkäystä, koska suunnilleen kuukauden kuluttua olosuhteet ovat jälleen samanlaiset.

Luotainten suunnittelun ongelmia

Edellä on kerrottu, miten harvoin planeettaluotaimia voidaan lähettää ja miten lyhyt on kulloinkin suotuisa aika. Luvussa 3 puhuttiin pitkistä lentoajoista ja suurista lähtönopeuksista. Nämä tekijät aiheuttavat luotainten suunnittelijoille monenlaisia ongelmia, jotka on ratkaistava ennen kuin luotain voidaan lähettää ja ennen kuin saadaan sen välittämiä uusia tietoja kaukaisilta planeetoilta.

Kuualuksilla ongelmat ovat yleensä paljon helpompia. Kuualus voidaan suunnitella ja rakentaa valmiiksi kiinnittämättä mitään tiettyä lähtöhetkeä. Sen sijaan planeettaluotaimilla jokainen lähetysikkuna on erilainen. Kutakin ikkunaa varten on rakennettava *ainutlaatuinen* alus, jonka ajoainemäärä, moottorin koko ym. riippuvat tarvittavan lentoradan ominaisuuksista. Siten esim. vuoden 1971 Mars-luotaimissa laskeutumis- ja kiertolaisosa rakennettiin yhdeksi alukseksi. Sen sijaan 1973, jolloin lähtönopeudet ja yhteydenpitoetäisyydet olivat suuremmat, kiertolais- ja laskeu-

tumisalukset tehtiin erillisinä.

Planeettaluotainten on oltava *luotettavia*. Niiden lentoajat vaihtelevat muutamasta kuukaudesta useaan vuoteen, ja koko sen ajan aluksen on pysyttävä täydessä toimintakunnossa. Tarvittavat lähtönopeudet ovat toisaalta niin suuria, että tämänhetkiset raketit voivat lähettää matkaan vain rajoitetun painoisia aluksia. Tähän painoon on mahdutettava tukirakenteiden, ajoainesäiliöiden ja rakettimoottorien lisäksi energiansaantilaitteet, lämmönsäätöjärjestelmät, ohjaussysteemit, tieteelliset kojeet jne. Avaruus-alusten rakentaminen vaatii kaikkein uudenaikaisimpia menetelmiä ja toimii usein edelläkävijänä tekniikan kehityksessä.

Järjestelmiä rakennetaan luotaimiin usein kaksittain, niin että toisen pettäessä varajärjestelmä voidaan ottaa käyttöön. Kuualuksilla lentoaika on huomattavasti lyhyempi kuin planeettaluotaimilla, vain muutamia vuorokausia, ja siksi toimintavarmuus on suurempi.

Planeettaluotainten *radanmääräys* ja radankorjaus ovat vaikeampia kuin kuualuksilla. Kuuhun matkaava luotain on jatkuvasti maanpäällisten kaukoputkien näkökentässä, ja sen asema tunnetaan tarkasti. Planeettaluotaimet sen sijaan kadotetaan näkyvistä muutaman vuorokauden kuluessa, joten siihen mennessä saatujen tietojen perusteella voidaan suorittaa vain ensimmäinen radankorjaus. Pitkillä matkoilla pienetkin virheet alku-nopeudessa kerääntyvät suuriksi poikkeamiksi, joten aluksen asema myöhemminäkin hetkinä on saatava tarkasti selville. Navigoinnissa käytetään joko radiomenetelmiä, joita amerikkalaiset ovat menestyksellä soveltaneet luotaimiinsa, tai kohdeplaneetan lähellä automaattista navigointia, kuten tehdään Neuvostoliiton uusilla luotaimilla. Ne suorittavat automaattisesti viimeisen radanmääräyksen ja -korjauksen.

Alusten *energiansaanti* on turvattava pitkilläkin matkoilla. Kuualuksilla käytetään yleensä kemiallisia paristoja, jotka ovat tehokkaimpia lyhyillä lennoilla. Planeettaluotaimet turvautuvat useimmiten aurinkopaneeleihin, jotka muuttavat säteilyä sähköenergiaksi. Aurinkopaneelit toimivat hyvin aurinkokunnan sisäosissa, missä säteily on voimakasta, mutta Marsin radan taakse mentäessä ne alkavat menettää tehoa. Siksi esim. Pioneer 10- ja 11-luotaimet toimivat ydingeneraattoreilla, jotka muuttavat ydinlähteen tuottaman lämmön sähköksi.

Oma vaikeutensa on planeetan tai Kuun pinnalle laskeutuneen aluksen energiansaannissa. Kuussa on käytetty kemiallisia paristoja, jotka takaavat muutaman viikon tai päivän toiminta-ajan (Luna 9 ja 16), aurinkoparistoja, jotka antavat energiaa kauemmin mutta toimivat vain päiväsaikaan (Surveyor, Lunohod), ja ydingeneraattoreita, jotka takaavat Apollo-miehistöjen jättämien tutkimusasemien toiminnan vuosiksi eteenpäin.

Venuksen tai Marsin pinnalla ei aurinkoparistoja voi kaasukehän vuoksi käyttää, ja siksi esim. Yhdysvaltain Viking-Mars-laskeutumisalukset (1976) toimivat ydinparistoilla.

Alusten *lämpötila* on pidettävä normaaleissa rajoissa. Aurinkokunnan sisäosiin lentäviä luotaimia on jäähdytettävä, ulospäin meneviä lämmitettävä. Vaikeuksia on eniten tullut vastaan Auringon lähelle lentävien alusten jäähdyttämisessä. Siksi 60-luvun alussa Venera 2 ja 3 sammuihin vähän ennen Venuksen saavuttamista ja Mariner 2 kohta sen jälkeen. Erityisiä ongelmia on lämmönsäädössä laskeutumisaluksilla, sillä esim. Kuun pinnalla on päivällä tavattoman kuuma ja yöllä kylmä, ja Venuksen pinnalla lämpötila on jatkuvasti lähes 500 °C.

Radioyhteys Maahan voidaan Kuusta ja planeettaluotainten alkutaipaleelta pitää pientehoantennilla. Etäisyydet lähimmille planeetoille ovat kuitenkin kymmeniä miljoonia kilometrejä, joten kauas lentävissä luotaimissa on oltava suuret paraboloidiantennit. Esimerkiksi Pioneer 10- ja Mars-luotainten antenni on läpimitaltaan n. 3 m. Yhteydenpidossa on myös otettava huomioon radiomerkkien matka-aika. Vaikka ne etenevät valon nopeudella (300 000 km/s), niiden tulo Marsista Maahan kestää kymmenkunta minuuttia ja Jupiterista lähes tunnin. Tämä tekee mahdottomaksi suoran, välittömän yhteydenpidon ja vaatii luotaimilta automaattisia toimintoja.

Luotainten *laskeutuminen* taivaankappaleiden pinnalle sujuu eri menetelmillä riippuen siitä, kuinka tiheä kaasukehä planeetalla on. Kuuhun laskeudutaan rakettimoottorilla jarruttamalla, koska sillä ei ole lainkaan kaasukehää. Marsin kaasukehä on taas hyvin harva, mutta kuumentaa silti voimakkaasti suurella nopeudella tulevaa alusta. Siksi laskun ensimmäisessä osassa käytetään suojakilpeä, jonka ansiosta kosminen nopeus hidastuu normaaliksi putoamiseksi, sitten avautuu suuri laskuvarjo, ja pinnan lähellä käynnistetään jarrutusmoottori. Venuksen paksu kaasukehä hidastaa vauhdin hyvin nopeasti, mutta kapselin lämmönsuojauksen on oltava vahva. Laskuvarjo voi olla hyvin pieni eikä pinnan lähellä tarvita lainkaan jarrutusmoottoria. Jupiterin kaasukehä on vielä mahtavampi. Alukset lähestyvät planeettaa sen suuren vetovoiman ansiosta valtavaa vauhtia, niin että nopeuden hidastamiseksi tarvitaan hyvin paksu ja vahva suojakilpi. Siksi nykyään harkitaan mieluummin laskeutumisluotaimen lähettämistä Uranukseen tai Saturnukseen, koska niiden vetovoima ja siksi myös kapselin iskeytymisnopeus on pienempi.

Pinnalla toimivan aluksen ohjaaminen on Kuun tapauksessa melko helppoa, koska sanoman lähettämisen ja vastauksen välillä on vain muutama sekunti. Siksi esim. Lunohodin ohjaajat näkevät jatkuvasti televisioruuduissa

13. Maailma pienoiskoossa

»Siksi, koska se on siellä»

Sir Edmund Hillaryn sanat Mount Everestistä

Pohjimmainen syy ihmisen haluun lentää muille taivaankappaleille on se, että avaruus ja taivaankappaleet ovat olemassa. Mutta on olemassa myös puhtaasti käytännön syitä, miksi ihminen haluaa itse matkustaa avaruuteen eikä tyydy pelkästään mittalaitteiden lähettämiin tietoihin. Mittalaitteet eivät osaa eläytyä, ne eivät osaa tulkita ihmisen tavoin uutta ympäristöä. Niillä ei ole aloitekykyä eivätkä ne osaa erotella olennaista epäolennaisesta tai toimia odottamattomissa tilanteissa tarkoituksenmukaisesti.

Kysymykseen »ihminen *vai* kone» pitäisikin vastata »ihminen *ja* kone». Ihmisen reaktiokyvyn viive vaihtelee havainnon mutkikkuudesta ja monipuolisuudesta riippuen sekunnin kymmenesosasta puoleen sekuntiin, mutta nopeissa tilanteissa voidaan turvautua automaattisiin laitteisiin. Toisaalta taas ihmisen aloitteellisuus korvaa koneille tyypillisen mekaaniisuuden.

Kysymys on myös taloudellisuudesta. On halvempaa pitää ihminen Maassa ja lähettää matkaan mutkikas automaattilaitteisto. Mutta ratkaisu on tehtävä tapauksen mukaan: joskus kannattaa maksaa ihmisen lähettämistä, vaikka aluksen laitteista suuri osa onkin silloin tarkoitettu vain pitämään matkustaja hengissä ja hyvässä kunnossa.

Ihmisen mukanaolo voi myös varmentaa laitteiden toiminnat, koska viat voidaan joskus korjata paikan päällä. Esimerkiksi Skylab-avaruusasema olisi ollut käyttökelvoton, ellei ensimmäinen sille lentänyt miehistö olisi ensin tehnyt välttämättömät korjaukset. Kun järjestelmän monimutkaisuus saavuttaa tietyn asteen, on korjauskykyisen ihmisen lähettäminen mukaan yksinkertaisempaa kuin jatkuvasti temppuilevaan automatiikkaan turvautuminen. Miehitettävyydestä lennoista siirrytään siten luonnonlain välttämättömyydellä miehitettyihin lentoihin.

Ihminen oli alkuaan maanpinnalla kuljeksiva vaeltaja. Näillä matkoillaan ihminen oppi pian muuttamaan tietoisesti ympäristöään, jolloin hänen ei enää tarvinnut muiden eläinten tapaan tyytyä siihen mitä oli luonnostaan tarjolla. Talven yli eläminen edellyttää asuntoa ja lämpimää

vaatetusta. Ihminen on pakostakin sidoksissa alkuperäänsä, niin ettei hän koskaan tule jättämään maapallon oloja kokonaan. Joskus aikojen alussa eliöt jättivät meren ja kömpivät maalle, mutta toivat mukanaan osan alkuperäisestä elinpiiristään. Ihmisen verisuonissa virtaavat vielä jäänteet alkumeren tyrskyistä ja ennen syntymäänsä ihmislapsi uiskentelee kohdun lapsivedessä. Samaan tapaan avaruusaluksen luukun avaavan avaruuslentäjän on sitä ennen pitänyt pukeutua avaruuspukuun, jonka sisällä on pieni osa Maan ilmakehää – avaruuspuku on kuin maailma pienoiskoossa.

Kiihtyvyydet

Ajovaiheiden aikana avaruusaluksen nopeus kasvaa tai pienenee, minkä aluksen matkustaja tuntee kummassakin tapauksessa kiihtyvyytenä. Avaruuslentojen alkuvaiheissa uskottiin, että lähdössä tarvitaan valtavia kiihtyvyyksiä. Kokemukset osoittavat, että ihminen todella kestää aika suuria kiihtyvyyksiä. Sietokyky on suurimmillaan, kun kiihtyvyysoimat suuntautuvat kohtisuoraan kehoa vastaan lentäjän maatessa selällään. Makuupaikka muotoillaan yksilöllisesti lentäjän mukaan. Koetilanteissa on saavutettu kuusi sekuntia kestäviä 20 g:n kiihtyvyyksiä ilman että kochenkilö on vielä menettänyt tajuntaansa. Tässäkin harjoitus parantaa tuloksia. Avaruuslentäjiä harjoitetaan suurissa sentrifugeissa, joiden pyöriessä syntyvät keskipakovoimat ovat itse asiassa kiihtyvyysoimia.

Avaruusalusten kiihtyvyydet eivät ole kovinkaan suuria. Miehitettyjen lentojen alkuvaiheissa, jolloin kantoraketteina käytettiin alkuaan sotilaallisiin tarkoituksiin suunniteltuja raketteja, 5–8 minuuttia kestävä nousun aikana kiihtyvyys saattoi olla suurimmillaan 8 g. Apollo-alusten lähdössä kiihtyvyydet olivat enää 3–4 g. Ilmakehään palatessa tapahtuva jarrutus aiheuttaa myös tätä suuruusluokkaa olevan rasituksen.

Myös miehitetyillä aluksilla ohjaus tapahtuu ajovaiheiden aikana aluksen ohjausjärjestelmällä ja miehistön tehtävänä on vain valvoa, että kaikki sujuu suunnitelmien mukaan. Lähdön aikana sattuvan onnettomuuden varalta miehitetyissä aluksissa on pelastusjärjestelmä, jonka käynnistäminen voidaan uskoa miehistön huoleksi. Vian syntymisen ja lopullisen katastrofin välillä ehtii kuitenkin kulua muutama sekunti, mikä on riittävä aika päätöksentekoon – täytyy vain toivoa, että päätös on sitten oikea.

Paluuvaiheessa miehistöllä ei ole juuri mitään tehtävää. Laskeutumisen lopulla miehistö voi avata laskuvarjot tai sytyttää lähellä maanpintaa viimeiset jarruraketit, mutta kaiken tämän pystyy myös automatiikka hoi-

tamaan. Laskeutuminen Kuuhun tapahtui ihmisen ja koneen yhteistyönä. Jarrutuksen aikana hidastuvuus oli niin pieni, etteivät astronautit olleet edes makuuasennossa vaan seisoivat valjaiden tukemana. Hidastuvuus oli alle yhden g:n eli vähemmän kuin painovoima Maan pinnalla.

Tulevaisuuden avaruussukkulat lähtevät matkaan niin kuin raketit, mutta laskeutuvat lentokoneiden tapaan. Jarruuntuminen on ohi jo siinä vaiheessa, kun lentäjät ottavat ohjat käsiinsä. Kiihtyvyydet nousun ja laskun aikana eivät ole suuria. Avaruussukkulaohjelman yksi periaate on se, että »jokainen joka jaksaa pelata golfia, voi myös lentää avaruuteen».

Painottomuus

Ihminen pystyy sopeutumaan painottomuuteen. Sopeutuminen kestää noin neljä viikkoa. Tämän neljän viikon aikana luuston kalkkipitoisuus jonkin verran alenee, nestetasapainossa tapahtuu muutoksia, sydämen tilavuus ja punaisten verisolujen määrä pienenevät ja lihaksissa havaitaan vähäistä surkastumista. Avaruuslentäjistä tulee myös jonkin verran pitempiä, kun selkänikamien väli kasvaa. Joitakin näistä muutoksista voidaan pienentää kuntoharjoittelulla. Neljän viikon painottomuuden jälkeen keho saavuttaa uuden tasapainotilan eikä muutoksia enää sen jälkeen tapahdu. Maahan paluun jälkeen tarvitaan taas päinvastainen sopeutuminen, joka kestää pari viikkoa jos avaruudessa on viivytty yli viikon ajan.

Kuntoharjoittelu on miehitetyillä lennoilla keskeisessä asemassa. Vaivaton sopeutuminen jälleen Maan oloihin edellyttää puolentoista tai kahden tunnin päivittäistä kuntoilua avaruudessa. Parhaita välineitä on tavallinen kuntopyörä, ergometri, koska nimenomaan alaraajat kärsivät siitä ettei niiden painottomuudessa tarvitse enää täyttää alkuperäistä tehtäväänsä, kehon kannattamista.

Ensimmäisillä miehitetyillä lennoilla lentäjät olivat sanamukaisesti si-dottuja tuoliinsa. Tällä tavoin voidaan tehdä korkeintaan parin viikon lentoja. Pitemmillä lennoilla tarvitaan jo jonkin verran liikkumatilaa. Avaruusasemien tilavuus vastaa keskikokoista asuntoa, mikä on osoittautunut riittäväksi melko pitkillekin lennoille.

Useita viikkoja kestäneillä lennoilla on osoittautunut, että miehistön jäsenillä on tarve välillä vetäytyä omaan rauhaansa. Samoin maa-aseman on otettava huomioon myös inhimilliset tekijät: liian tunkeilevat yhteyden-otot alkavat pian herättää ärtymystä. Aika ajoin miehistölle suotu lepo-päivä on omiaan lisäämään työkykyä. Avaruuslentäjillä on oivalluskykyä

Kuva 13.1. Apollo-14 -lennon lento-ohjelman yksi sivu. Sivulla on yhden tunnin toiminnot, jotka koskevat Kuun pinnalle laskeutumisen loppuvaihetta. Sarakkeet vasemmalta lukien:

Maa-aseman tehtävät, kuten tiedonvälitys ja lopullinen lupa laskeutumiseen
Aika lähtöhetkestä lukien (tunnit ja minuutit)
Viestintä. Ajanhetkellä 108 : 07 laskeutumisalus tulee esiin Kuun takaa
Aluksen komentajan tehtävät
Aluksen ohjaajan tehtävät
Huomautukset, mm. ajoaika, pintakosketuksen ajankohta jne.

ja käytäntö on osoittanut, että miehistö keksii nopeasti erilaisia rentoutumiskeinoja.

Avaruussairaus ilmenee samanlaisena kuin meritauti. Joitakin ihmisiä se ei vaivaa koskaan ja useimmilla se menee pian ohi. Aivan samoin kaikki avaruuslentäjätäkään eivät kärsi avaruussairaudesta. Lääkkeillä avaruussairaus on helppo pitää kurissa. Avaruussairaus tuntuu tulevan tilavissa aluksissa helpommin kuin ahtaissa aluksissa.

Miehitettyjä avaruusaluksia valvotaan telemetrisesti. Aluksen toimintojen lisäksi myös miehistön kuntoa valvotaan maa-asemilta käsin. Maassa

oleville lääkäreille välitetään telemetrisesti tiedot lentäjien sydämen toiminnasta, verenpaineesta ja hengitystahdistista.

Lentäjien tehtävät ilmoitetaan lento-ohjelmassa. Kuvassa 13.1 on yksi sivu miehitetyn kuulennon lento-ohjelmasta. Kuulennon aikana tehtävien ohjausliikkeiden ja muiden toimintojen tarkat toteuttamishetket on merkitty ohjelmaan ja lennonvalvonta huolehtii siitä, että niihin valmistautuminen aloitetaan ajoissa. Aika lasketaan lähtöhetkestä (GET). Avaruusasemilla päätehtävänä on tehdä erilaisia havaintoja ja ohjelma voidaan laatia joustavaksi. Skylabin ja Saljutin lentäjät ovat saaneet työohjelman päivittäin kaukokirjoittimella.

Ohjaaja vai tutkija

Tutkimustyön ensimmäinen vaihe on tehdä havaintoja ja kerätä tietoja, jotka sitten myöhemmin käsitellään ja analysoidaan. Apollo-ohjelmaa laadittaessa väiteltiin siitä, pitäisikö lentäjät kouluttaa tutkijoiksi vai tutkijat lentäjiksi. Tutkijakoulutus on tarpeen sen takia, että lentäjä osaisi kerätä olennaisia tietoja, ja lentäjäkoulutus taas on tutkijalle välttämätön jotta hän osaisi myös ohjailla avaruusalusta. Apollo-ohjelmassa päädyttiin lopulta lentäjä-amatööriutkija -linjalle; vasta viimeisellä kuulennolla mukana oli geologi, Harrison Schmitt, joka selviytyi lentäjän tehtävistään mainiosti. Skylab-avaruusasemalla oli myös tutkijoita.

Neuvostoliitossa tehtävät on jaettu jo alusta alkaen. Aluksissa on lentäjä, joka huolehtii aluksen ohjaamisesta ja on sen lisäksi tutkijan apulaisena. Vastaavasti taas tutkijan päätehtävä on tehdä tutkimusta ja toimia tarvittaessa myös ohjaajan apuna. Järjestely on toiminut hyvin.

Maassa on lennon aikana tiedemiesryhmä, joka pitää maa-aseman välityksellä yhteyttä lentäjiin. Ryhmä antaa neuvoja ja joskus suorita ohjeita-kin asioista, joita lentäjät eivät ehkä aina tulisi ajatelleeksi. Avaruudessa olevan tutkijan ja tiedemiesryhmän välinen yhteistyö on osoittautunut yhtä merkittäväksi kuin aluksen ohjaajan ja maa-aseman välinen yhteydenpito. Maa-asema voi poikkeuksellisissa tilanteissa jäljitellä simulaattoreissa lennon tapahtumia ja näin löytää pulmaan parhaimman ratkaisun, joka sitten välitetään miehistölle.

Avaruuden vaarat

Avaruuslennoilla on omat vaaransa, sillä mikään tekninen järjestelmä ei toimi sataprosenttisen varmasti. Elintoimintoja ylläpitävä ympäristö on suhteellisen helppo järjestää ja niin avaruus kuin Kuun pintakin ovat yhtä »ystävällisiä» tai ainakin yhtä neutraaleja oleskelupaikkoja kuin esimerkiksi sukeltajan ympäristö. Oikeastaan ihmisestä huolehtiminen on avaruudessa helpompaa kuin sukelluksissa.

Kaksi ympäristövaaraa avaruudessa kuitenkin on: säteily ja meteoroidit. Aurinko säteilee sekä sähkömagneettista säteilyä (mm. valoa) että hiukkasia. Auringon säteilemä valo ja lämpö kuumentavat avaruusalusta ja avaruuspukuja, mutta toisaalta tätä voidaan käyttää hyväksi pidettäessä yllä sopivaa lämpötilaa. Liialta lämmöltä on helppo suojautua. Tulevasta säteilystä heijastuu tarpeeksi suuri osa takaisin avaruuteen, jos aluksen ulkopinta tai avaruuspuku kiillotetaan tai maalataan valkoiseksi. Avaruusaluksen laitteet samoin kuin avaruuspuvun sisällä oleva ihminen synnyttävät lämpöä, jonka annetaan johtua pois joko säteilemällä tai jäähdytysvettä höyrystämällä.

Auringon hiukkassäteily ei yleensä ole vaarallista, paitsi voimakkaiden purkausten yhteydessä jos alus on maapalloa suojaavan magnetosfäärin ulkopuolella. Maata ympäröivät säteilyvyöt eivät haittaa miehitettyjä lentotoja. Parhaillaan kokeillaan erilaisia avaruusalusten säteilysuojauksia. Lupaavalta mahdollisuudelta näyttää menetelmä, jolla planeettalennolle lähetettävä alus verhottaisiin keinotekoisella magnetosfäärillä. Alusta ympäröivä magneettikenttä ohjaisi hiukkassäteilyn syrjään.

Kosmisen säteilyn energiat ovat suuret, mutta säteilyn kokonaisteho on kuitenkin vaarattoman alhaisella tasolla. Silmään osuessaan kosminen säteily voi aiheuttaa pienen valonvälähdyksen, joka joidenkin asiantuntijoiden mielestä on kuitenkin alkuperältään psyykinen havainto. Missään tapauksessa siitä ei ole lentäjille terveydellistä haittaa.

Varhaisemmassa tieteiskirjallisuudessa avaruus oli eräänlainen kosminen taistelukenttä, missä taivaalliset meteoriittisuihkut uhkasivat alati puhkoa aluksen seulaksi. Avaruusaluksen seinämän läpäisevät, vähintään nuppineulan pään kokoiset hiukkaset ovat mittausten mukaan niin harvinaisia että alus saisi lentää kymmeniä tai satoja vuosia ennen kuin tapahtuisi tätä suuruusluokkaa oleva törmäys.

Mikroskooppisen pienet pölyhiukkaset naarmuttavat ajan mittaan linsit ja muut optiset välineet. Saljut-4 -avaruusaseman ensimmäinen miehistö kuitenkin osoitti, että on varsin helppoa päällystää tähtitieteelliset peilit uudelleen ohuella alumiinikerroksella. Tällä tavoin laitteet saatiin jälleen uuden veroisiksi.

Suurin vaaratekijä johtuukin aluksen epäluotettavuudesta. Lähes kaikissa aluksissa on ilmennyt joitain vikoja, jotka ovat ainakin jossain määrin haitanneet ohjelman toteuttamista. Lehtitietojen mukaan Yhdysvaltain ensimmäiset avaruuslennot olivat jatkuvaa taistelua katastrofin välttämiseksi. Neuvostoliitto ei tapansa mukaan ole yhtä avomielinen, mistä voi saada sen mielikuvan että heidän laitteensa toimivat täydellisesti. Mutta Neuvostoliitto ilmoittaakin lennon onnistuneen kunhan siitä saadaan edes joitain tuloksia; viat kuuluvat lentorutiiniin eikä niille anneta sen kummempaa uutisarvoa.

Avaruustutkimus on vaatinut myös ihmishenkiä. Helmikuussa 1967 astronautit Virgil Grissom, Edward White ja Roger Chaffee saivat surmansa tulipalossa, joka syttyi raketin kärjessä olevassa aluksessa lähtölaskentaa harjoiteltaessa. Palon syyksi todettiin paloturvallisuuden laiminlyönti ja uskomaton huolimattomuus.

Huhtikuussa 1967 kosmonautti Vladimir Komarov syöksyi Sojuz-1 aluksella maahan, kun laskeutumisen loppuvaiheessa laskuvarjon köydet sotkeutuivat toisiinsa. Onnettomuuden syyksi katsottiin suunnitteluvirhe ja hutilointi.

Huhtikuussa 1970 Apollo-13:n happisäiliö räjähti aluksen ollessa matkalla Kuuhun. Astronautit selviytyivät kuitenkin nipin napin takaisin Maahan sekä oman neuvokkuutensa ansiosta että maa-asemilla nopeaan suunnitelluilla toimenpiteillä, joissa mm. käytettiin kuuhunlaskeutumislusta »pelastusveneenä» tarpeellisissa vauhdituksissa ja hapen tuotannossa. Onnettomuuden syy oli happisäiliön lämpötilan säädöstä annetut ylimalkaiset ohjeet.

Seuraava ihmishenkiä vaatinut onnettomuus tapahtui kesäkuussa 1971, kun kosmonauttien Georgi Dobrovolskin, Viktor Patsajevin ja Vladislav Volkovin oli määrä palata Maahan vietettyään neljä viikkoa Saljut-1 avaruusasemalla. Tutkimusraporttien mukaan Sojuz-11:n laskeutumisosa irrotettaessa kiinnityspulttien räjäyttäminen sysäsi yhden aluksen venttiileistä auki ja aluksen ilma karkasi kymmenessä sekunnissa avaruuteen. Kosmonautit menettivät henkensä, mutta alus teki automaattisesti normaalin laskun. Vian syy oli suunnitteluvirhe.

Huhtikuussa 1975 kaksi kosmonauttia lähti Sojuz-aluksella kohti Saljut-4 -avaruusasemaa. Noin 150 kilometrin korkeudessa kantoraketin kolmas vaihe ei irronnutkaan toisesta vaiheesta ja kosmonauttien oli tehtävä hätälasku pääsemättä Maata kiertävälle radalle. Lentäjät selvisivät hengissä.

Avaruuslentojen suurin vaaratekijä on loppujen lopuksi ihminen itse, ihmisen oman toiminnan epätäydellisyys.

Avaruuslentäjän koulutus

Ennen ensimmäisiä avaruuslentoja ei tiedetty, miten ihminen tulisi toimeen avaruudessa ja mitä ominaisuuksia avaruuslentäjältä vaaditaan. Sekä Neuvostoliitossa että Yhdysvalloissa haluttiin sen takia toimia varmallalla pohjalla ja ensimmäiset avaruuslentäjät pantiin kovaan kuntokouluun. Avaruusmiehiksi valittiin lentäjiä, jotka olivat osoittaneet selviytyvänsä vaikeimmistakin tilanteista – Yhdysvalloissa he olivat koelentäjiä, jotka olivat läpäisseet ankarat psykofyysiset kokeet. Lentäjät eivät voineet ilman muuta niine eväineen lähteä avaruuteen. Alustavan seulonnan jälkeen miehet joutuivat parin vuoden pituiseen koulutusohjelmaan. Myöhemmin vaatimuksia on voitu höllentääkin. Ensimmäinen Kuun pinnalle astunut ihminen, Neil Armstrong, oli aikoinaan maailman kokenein koelentäjä. Hän oli myös ensimmäisiä »astronutteja» ennen avaruuslentojen aikaa, sillä hän oli X-15 -rakettkoneella noussut ilmakehän yläosiin ja saavuttanut avaruusnopeuksia.

Avaruuslentäjältä vaaditaan hyvää ruumiillista kuntoa, suurta älykkyyttä, mielellään myös matemaattista lahjakkuutta, erinomaista itsehillintää, itseluottamusta ja yhteistyökykyä sekä kykyä sopeutua eri tilanteisiin nopeasti ja häkeltymättä. Jos näihin ominaisuuksiin liittyy vielä huumorintaju, voidaan jo puhua hyvistä edellytyksistä avaruuslentäjäksi. Lentäjä-avaruusmiehellä on lentäjän koulutus ja tiedemies-avaruusmiehellä luonnontieteellinen tai lääketieteellinen pohjakoulutus. Paljon painoa pannaan myös sille, miksi joku haluaa nimenomaan avaruuslentäjäksi.

Miehistö nimetään yleensä ainakin vuotta ennen suunniteltua lentoa. Harjoitusohjelman kestäessä myös lento-ohjelma viimeistellään lopulliseen muotoonsa. Lennon jokainen vaihe jäljitellään simulaattoreissa. Näihin simulointeihin osallistuvat lentäjät itse tai joissain tapauksissa myös asiantuntijat, jotka simuloinnin antamien kokemusten perusteella kehittävät koulutusohjelmaa. Osa avaruuslentäjistä toimii varamiehistöinä, joka käy läpi samat harjoitukset kuin päämiehistökin. Muut joutuvat toisiin tehtäviin, jotka kuitenkin useimmiten liittyvät lennon toteuttamiseen.

Varamiehistöjen koulutus on tuskin koskaan ollut niin perusteellista kuin valmistauduttaessa kesällä 1975 tehtyyn Apollon ja Sojuzin yhteislentoon. Sojuzin varamiehistö oli käynyt jopa avaruudessa kokeilemassa yhteislentoon liittyvää tekniikkaa. Ensimmäiset yhteislennon miehistöjen väliset tapaamiset olivat vuonna 1973 ja seuraavana vuonna harjoitusohjelma oli jo täydessä vauhdissa.

Avaruuslentäjien koulutukseen osallistuva saa ensin noin vuoden verran peruskoulutusta. Ohjelmaan kuuluu korkeakoulutasoista opiskelua: luen-

toja, harjoituksia, itseopiskelua ja tutustumiskäyntejä. Käytännön koulutus tapahtuu ensin varamiehistöön kuulumisena ja ennen pitkää lentäjä ehkä nimitetään jonkin lennon varsinaiseen miehistöön. Avaruuteen pääsystä on toivoa keskimäärin noin viiden vuoden koulutuksen jälkeen.

Ilmaa ja ruokaa

Ihmiselle sopivassa hengitysilmassa täytyy hapen osapaineen olla rajoissa 13–33 kPa eli noin 0,13–0,33 kertaa merenpinnan tasolla vallitseva ilmanpaine. Hapen paineen ollessa näiden rajojen alapuolella ihminen alkaa potea hapenpuutetta, anoksiaa, kun taas happimäärän kasvaessa liian suureksi se synnyttää päinvastaisen tilanteen, hypoksian.

Avaruusaluksessa tai avaruuspuvussa hapen paineen on pysyttävä näiden rajojen välissä. Jos hengitettävässä ilmassa on myös muita kaasuja, on kokonaispaine vastaavasti suurempi.

Suhteellisen kosteuden tulee olla alhainen, koska pienissä paineissa ilman kuivuus on välttämätöntä. Mutta täysin kuivaa se ei kuitenkaan saa olla etteivät hengityselimet kuivuisi liiaksi: sopiva suhteellinen kosteus on noin 10 prosenttia.

Hengitysilmassa saa olla korkeintaan yksi prosentti hiilidioksidia, ja jo kolmen prosentin hiilidioksidipitoisuus on elintoiminnoille tuhoisaa. Myöskään muita myrkyllisiä tai ärryttäviä kaasuja kuten savua ja erilaisia hajuja ei hengitysilmassa saa olla. Ratkaisematta on vielä se, millaisia vaikutuksia erilaisilla täyte- tai lisäkaasuilla olisi hyvin pitkällä avaruusmatkoilla. Paineen laskiessa äkisti tyyppi synnyttää elimistöön kuplia, mikä ilmenee sukeltajantautina eli emboliana. Heliumin lisääminen hengitysilmaan taas saa aikaan puheäänien muuttumisen kimeäksi, jolloin puheen ymmärtäminen vaikeutuu.

Neuvostoliitto alkoi alusta pitäen käyttää avaruusaluksissaan normaali-paineista ilmaa (paine 100 kPa). Kosmonauttien avaruuspuvuissa on kuitenkin noin 30 kPa paineista puhdasta happea. Yhdysvallat taas käytti avaruusaluksissaan puhdasta happea (30 kPa) vielä Apolloihin saakka, mutta Skylab-avaruusaseman ilma oli jo hieman korkeammassa paineessa olevaa hapen ja typen seosta. Apollon ja Sojuzin ilmanpaineiden eroavuuden takia yhteislennolla oli käytettävä alusten välistä ilmalukkoa. Sojuzin painetta alennettiin jonkin verran, niin että siirtyminen Sojuzista Apolloon ilman sukeltajantaudin oireita kävi nopeammin. Liuennut tyyppi poistettiin verestä alempaan paineeseen siirryttäessä hengittämällä hetken aikaa

puhdasta happea.

Pitkillä lennoilla aluksen lämpötila ei saa laskea alle 10 °C:n eikä myöskään kohota yli 37 °C:n. Suositeltavin lämpötila on 20 °C.

Napoleonin armeija marssi mahallaan – avaruuslentäjät lentävät vatsallaan. Ravinnon pitää olla myös täyttävää, koska syömisen ainoa tarkoitus ei ole saada riittävästi energiaa. Ruoansulatusjärjestelmän kunnollinen toiminta edellyttää, että sen käsiteltäväksi tulee tilavuudeltaan riittävän paljon ravintoa. Ruokavalio on tasapainotettava, niin että hiilihydraatteja, rasvoja ja valkuaisaineita nautitaan sopivissa suhteissa. »Tyhjät kalorit» ovat avaruudessa aivan yhtä haitallisia kuin Maassakin. Oikea ravinto avaruudessa on yksinkertaisesti hyvä ja terveellinen ruoka. Nykyisin on jo päästy alkuaikojen tahnoista ja pussiruoista ja siirrytty totunnaisiin aterioihin, joskin erikoispakkauksissa.

Juomavesi nautitaan mieluiten noin kymmenasteisena. Kemiallisesti puhdas vesi on vastenmielisen mautonta ja jo senkin takia siihen lisätään jonkin verran mineraalisuoloja. Tämä mineraalilisäys on yksistään kehon toiminnankin kannalta toivottavaa.

Ihminen kuluttaa päivässä 0,7–1,0 kiloa happea, 2,6–3,0 kiloa vettä (johon on laskettu mukaan myös ruoan sisältämä vesi) ja muuta ravintoa kuivapainoltaan 0,5–0,9 kiloa. Yhteismassaltaan happi, vesi ja ruoka ovat siten 3,8–4,9 kiloa avaruuslentäjää ja päivää kohti. Esimerkiksi vuoden pituista lentoa varten jokaiselle lentäjälle pitäisi varata näitä hengenpitimiä 1,8 tonnia. Omat hankaluutensa aiheuttaa näiden tarvikkeiden varastointi ja käytön jälkeinen jätteiden huolto. Elossapitojärjestelmän tehokkuutta pyritään lisäämään erilaisin keinoin. Järjestelmiä on kolme perustyyppiä: *avoimet*, *puoliavoimet* ja *suljetut*.

Elossapitojärjestelmät

Lyhyillä avaruuslennoilla ja avaruuskävelyillä tarvitaan vain vähän elossapitovaroja. Avaruuspuvussa oleva lentäjä tarvitsee hengitysilmaa, jonkin verran juomavettä ja lepotaukojen ajaksi jotain pientä haukattavaa. Tarvikkeet otetaan aluksen varastosta. Jätteet heitetään pois, ellei niitä palauteta Maahan tutkimustarkoituksiin. Avaruuspuvussa ulosteet jäävät lastenvaippoihin; ei kovinkaan miellyttävä mutta kieltämättä käytännöllinen tapa. Tällainen on avoin järjestelmä. Kuvassa 13.2 on Apollo-astro-nauttien avaruuspuvun ellossapitojärjestelmä.

Puoliavoin järjestelmä on esimerkiksi sellainen, jossa hengitysilman hii-

Kuva 13.2. Apollo-astronauttien elossapitojärjestelmä kuukävelyiden aikana.

1. Epäpuhtauksien ilmaisin. 2. Ilmanpuhdistin, joka poistaa hengitysilmaasta hiilidioksidin. 3. Vedenpoisto. 4. Pumppu. 5. Happisäiliön paineenalennusventtiili. 6. Kannettavasta elossapitorepusta (PLSS) tulevien ilmaletkujen ja avaruuspuvun liitäntä. 7. PLSS:n jäähdytysvesiletkujen ja avaruuspuvun liitäntä. 8. Aluksen ilmaletkujen ja puvun liitäntä. 9. Lämpötilan säätö. 10. Jäähdytin. 11. Virtauksen säätö. 12. Happisäiliön täyttöventtiili. PLSS:n säiliöt voidaan täyttää laskeutumisaluksen varastoista. 13. Vesisäiliön täyttöventtiili. 14. Häätäjärjestelmä ja puvun ylipaineventtiili. 15. Virtsan keräysastia.

lidioksidi poistetaan ja korvataan pienellä happilisäyksellä ja juomavesi saadaan esimerkiksi sähköä tuottavista polttokennoista. Puoliavoimessa-kin järjestelmässä jätteet heitetään tiehensä. Tämä vastaa avaruustekniikan nykyistä tasoa.

Kehitys kulkee kuitenkin kohti suljettuja järjestelmiä, joissa avaruusalus on kuin maailman pienoismalli. Kaikki jätteet käytetään uudelleen. Viherkasvit kuluttavat hiilidioksidin ja tuottavat sekä happea että syötävää ravintoa ja jätevedet käytetään puhdistuksen jälkeen uudelleen. Tähän saakka tehdyt kokeet viittaavat siihen, että tällainen biologinen kierto voitaisiin avaruusaluksissa saada nopeammaksi kuin »avaruusalus Maassa». Kestää kuitenkin jonkin aikaa ennen kuin avaruusaluksista saadaan täysin omavaraisia.

Lopuksi vielä se ikuinen kysymys: »Miten ne siellä avaruudessa sen

oikein tekevät?» Hyvin yksinkertaisesti. Pienissä avaruusaluksissa käytetään tarpeesta riippuen letkua tai pussia. Avaruuspuvuissa on vaipat. Pussien reunat tarttuvat paikalleen asetettuina tiiviisti ihoon kiinni. Pussissa on bakteereita tappavaa desinfioivaa ainetta. Kun asia on hoidettu, pussi irrotetaan, reunat puristetaan kiinni ja kaikki on sillä selvä. Virtsa johdetaan keräyssäiliöön, mistä se voidaan vaikkapa johtaa aluksen ulkopuolelle avaruuteen.

Skylab-avaruusasemalla elämä oli yleistä. Astronauteilla oli klosetti, jonka käyttö oli yhtä helppoa kuin tavallisten maanpäällisten vesiklosettien käyttö. Asiansa hoidettuaan astronautit saattoivat pestä kätensä vedellä aivan kuten maassakin. Aiemmin avaruuslentäjien oli tyydyttävä desinfioiviin kosteuspyyhkeisiin, samantapaisiin joita jaetaan pitkillä lento- tai bussimatkoilla. Skylab-asemalla oli jopa suihku, jota saattoi käyttää kerran viikossa.

Avaruusmiehillä on oma pieni ongelmansa, parranajo. Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruusvirasto NASA käytti huomattavia summia yrittäessään kehittää avaruudessa käyttökelpoisen parranajokoneen, johon kuuluu myös pieni pölynimuri niin etteivät partakarvat lähde leijailemaan aluksessa, kuitenkin epäonnistuen. Apollo-10:n astronautit ratkaisivat ongelman käyttämällä yksinkertaisesti partavaahdoketta ja tavallista partakonetta. Irronnut sänki jäi vaahdokkeeseen ja ajon jälkeen leuka ja kone pyyhittiin puhtaaksi.

Avaruuslentojen kaikki ongelmat eivät todellakaan vaadi kalliita tai mutkikkaita ratkaisuja.

14. Avaruuden laivat

»Avaruus on tulevaisuuden suuri valtameri»

Yhdysvaltain presidentti John F. Kennedy julkistaessaan Apollo-ohjelman vuonna 1961

Jos avaruudessa tähän saakka lentäneitä miehitettyjä aluksia verrataan merenkulkuun, avaruuden tutkimus on vasta soutuveneiden asteella. Ensimmäiset avaruusalukset – Vostok, Voshod, Mercury ja Gemini – olivat vain pikkuruisia jollia avaruuden valtameren rantavesissä. Saljut ja Skylab vastasivat jo pientä kajuutalla varustettua risteilijää. Avaruuden rah-tialukset ja matkustajalaivat odottavat vielä aikaansa. Ensi vuosikymmen avaruussukkuloita voidaan jo pitää tämän kehityksen vaatimattomana alkuna.

Avaruusalukset on tähän saakka lähetetty avaruuteen kertakäyttörake-teilla ja sama kertakäyttöisyys on koskenut myös itse aluksia. Ne varuste-taan vain yhtä lentoa varten ja lennon jälkeen niitä ei enää käytetä uudel-leen. Kantoraketit kootaan *vaiheista*, jotka hylätään sen jälkeen kun ne ovat täyttäneet tehtävänsä. Aivan samaan tapaan myös avaruusalukset rakennetaan *moduleista*: kukin moduli hylätään sitten kun sitä ei enää tarvita.

Avaruussukkuloita sen sijaan käytetään moneen kertaan aivan niin kuin muitakin liikennevälineitä. Sukkulat kuljettavat hyötykuormia satelliitti-radoille ja palaavat sitten Maahan uudelleen käytettäväksi. Satelliittira-dalla toimivat tulevaisuuden alukset, jotka vievät sukkuloiden tuomia kuormia ulommaksi avaruuteen, ovat verrattavissa hinaajien tapaisiin työjuhtiin. Tulevaisuudessa satelliitteja voidaan myös korjata kiertora-dalla tai tuoda takaisin Maahan kunnostettaviksi. Tulevaisuudessa ainoas-taan kaukaisiin kohteisiin lentävät luotaimet ovat avaruustutkimuksen kertakäyttötavaraa.

Vostok – ensimmäinen avaruuskapseli

Ihminen kävi ensimmäisen kerran avaruudessa 12. huhtikuuta 1961. Ava-ruuslennosta tiedotettiin kello 8.59 Suomen aikaa (9.59 Moskovan aikaa):

»Maailman ensimmäinen avaruusalus Vostok (Itä), joka kuljettaa mu-kanaan ihmistä, lähetettiin Neuvostoliitosta Maata kiertävälle radalle 12.4.1961. Satelliitti-avaruusalus Vostokin lentäjä on Neuvostoliiton kan-salainen, ilmavoimien majuri Juri Gagarin.

Monivaiheisen raketin lähtö oli onnistunut ja kiertonopeuden saavutet-tuaan avaruusalus irrotettiin kantoraketista ja se aloitti vapaan lennon Maan ympäri. Kiertoaika on suunnitelmien mukaisesti 89,1 minuuttia. Radan pienin etäisyys (perigeum) Maasta on 175 kilometriä ja suurin etäi-syys (apogeum) 302 kilometriä. Radan kaltevuus päiväntasaajan suhteen on 65°4'. Avaruusalus lentäjineen painaa 4 725 kg, mihin ei ole laskettu kantoraketin viimeistä vaihetta mukaan.»

Ratatiedot korjattiin myöhemmin: oikeat lukemat olivat perigeum 181 km, apogeum 327 km, kiertoaika 89,1 minuuttia ja radan kaltevuus 64°57'. Lähtö tapahtui 8.07 Suomen aikaa. Gagarin kiersi maapallon yhden ker-ran ja laskeutui 108 minuuttia lähdön jälkeen. Kuvassa 14.1 on Vos-tok-alusten kantoraketti ja vieressä on amerikkalaisten Mercury-Atlas sa-massa mittakaavassa. Vostok-rakettien paranneltua muotoa käytetään edelleenkin Sojuz-alusten laukaisuissa.

Vostok-alus on jo aiemmin esitelty kuvassa 1.2. Alukseen kuuluu läpimi-taltaan 2,25 metrin pallonmuotoinen paluukapseli sekä huolto-osa, jossa on hengitysilman varasto, ohjauksessa ja asennonsäädössä tarvittava ajo-aine, osa elektroniikasta sekä kapselin pohjaan sijoitetut jarruraketit. Pa-luukapseli asettui ilmakehässä oikeaan asentoon ilman erillistä ohjausta, koska sen painopiste osui sopivasti eri kohtaan kuin vastusvoimien vaiku-tuspiste. Vostok ei kyennyt muuttamaan lentorataansa ja sen varustelu oli mahdollisimman yksinkertainen. Päämääränä olikin tehdä ensimmäinen tunkeutuminen avaruuteen ja kerätä lääketieteellistä aineistoa. Kuten tau-lukko 14.1 osoittaa, pian seuranneet yhteislennot enteilivät jo ensimmäisiä avaruusalusten telakoitumisia.

Vostokin tarvikkeet riittivät kymmenen vuorokauden lentoon. Ne lensi-vät myös aina sellaista rataa, että jarrurakettien pettäessä ne ilmakehän jarrituksen takia kuitenkin olisivat palanneet ajoissa maahan. Aluksissa käytettiin tavallista ilmaa ja lentäjä istui avaruuspukuun pukeutuneena katapultti-istuimessa. Avaruuskypärä pidettiin avoimena, niin että lentäjä hengitti aluksen ilmaa. Hätätilassa kypärän kasvosuojus olisi ollut helppo sulkea ja kytkeä varajärjestelmät päälle.

Paluukapseli on hämmästyttävän painava, 2,4 tonnia. Huolto-osa pai-noi 2,3 tonnia.

Valeri Bykovskin ja Valentina Tereškovan kaksoislento merkitsi Vos-tok-ohjelman päätepistettä. Lokakuussa 1964 avaruuteen lähetetyt.kos-

Kuva 14.1. Ensimmäisten miehitettyjen avaruuslentojen kantoraketit Vostok ja Mercury-Atlas. Sojuz-alusten laukaisuissa käytetään ensimmäisenä ja toisena vaiheena samoja vaiheita kuin Vostok-kantoraketissa, mutta kolmas vaihe on suu-rempi.

Taulukko 14.1. Vostok-ohjelma

Lennon ajankohta	Alus	Yhteyskoodi	Kosmonautti	Kierroksia Maan ympäri	Lentoaika
12.4.61	Vostok-1	Vostok (Itä)	Juri Gagarin	1	108 min
6 — 7.8.61	Vostok-2	Orjol (Kotka)	Herman Titov	17	25 h
11 — 14.8.62	Vostok-3	Sokol (Jalohaukka)	Andrian Nikolajev	64	94 h 35 min
12 — 14.8.62	Vostok-4	Berkut (Maakotka)	Pavel Popovitš	48	70 h 57 min
14 — 19.6.63	Vostok-5	Jastreb (Haukka)	Valeri Bykovski	82	119 h
16 — 19.6.63	Vostok-6	Tsaika (Lokki)	Valentina Tereškova	49	71 h

monautit Vladimir Komarov, Konstantin Feoktistov ja Boris Jegorov lensivätkin jo uudella, Voshodiksi (Aamunkoitto) nimetyllä aluksella. Nyt avaruuteen lensi ensimmäisen kerran myös matkustajia eikä pelkästään lentäjiä: Feoktistov oli peruskoulutukseltaan fyysikko ja Jegorov lääkäri. Lento kesti vuorokauden.

Maaliskuussa 1965 Pavel Beljajev ja Aleksei Leonov lensivät Voshod-2 aluksella avaruuteen. Lennon aikana Leonov siirtyi ilmalukon kautta aluksen ulkopuolelle kymmeneksi minuutiksi, jona aikana alus lensi Mustan meren tienoilta Uralin itäpuolelle. Tämä ensimmäinen avaruuskävely tapahtui lennon ensimmäisen kierroksen lopulla. Leonovin avaruuskävely ikuistettiin sekä televisio- että filmikameralla. Televisiokuvat oli tarkoitettu lähinnä vain maa-aseman tarkkailun helpottamiseen eikä niiden laatu ollut mitenkään häikäisevä. Sen sijaan avaruudessa otettu värifilmi oli – ja on edelleenkin – erinomainen.

Kuva 14.2 esittää Leonovin poistumista avaruudessa Voshod-aluksesta. Tapahtuma on piirretty niiden tietojen pohjalta, jotka Leonov on myöhemmin antanut tästä historiallisesta lennosta. Kuvan tarkastelusuunnasta johtuu, ettei siinä näy aluksen ulkopuolella ollutta ilmalukkoa. Ilmalukko irrotettiin ennen maahan paluuta.

Loppujen lopuksi Voshod osoittautui olevan samanlainen kuin Vostok-alus, paitsi että siitä oli poistettu katapultti-istuin ja siten saatu tilaa 2–3 kosmonautille. Aluksen paino oli myös noussut 4 725 kilosta 5 350 kiloon. Painonlisäys johtui osittain myös siitä, että laskeutumiskapseli oli nyt varustettu jarruraketeilla jotka vaimensivat maakosketuksessa syntyvää töyssäystä.

Kuva 14.2. "Voshod-2 leijaili edessäni majesteettillisen näköisenä. Otin tukea ilmalukosta ja työnnyin ulos. Aluksen antennit sojottivat kuin viikset ja sen ikkuna oli kuin suuri tarkkaileva silmä, joka seurasi liikkeitäni."

Aleksei Leonov 18.3.1965

Sojuz – yhteysalus ja avaruuslaboratorio

Sojuz-lennot alkoivat traagisesti. Voshod-1 -lennolle osallistunut Vladimir Komarov sai surmansa aluksen tullessa maahan liian kovalla vauhdilla, koska vauhtia hidastavan laskuvarjon köydet pääsivät sotkeutumaan. Taulukossa 14.2 on kesään 1975 mennessä tehdyt Sojuz-lennot. Sojuz-11 -lennolla kuoli kolme kosmonauttia ja sen takia Sojuz-12 on luokiteltava onnettomuuden jälkeiseksi koelennoksi. Sen sijaan Sojuz-13 oli jo tyypillinen avaruustutkimukseen liittyvä lento. Sojuz-16 -lennolla harjoiteltiin Apollon ja Sojuzin yhteislentoon liittyviä toimintoja. Sojuz on monikäyttöinen avaruusalus. Neuvostoliittolaisten lähteiden mukaan alusta voidaan käyttää sekä itsenäisesti toimivana avaruusaluksena että yhteyslentoihin Saljut-avaruusasemalle.

Taulukko 14.2. Sojuz-ohjelman lennot kesään 1975 saakka.

Lennon ajankohta	Alus	Kosmonautit	Lentoaika	Huomautuksia
23—14.4.67	Sojuz-1	Vladimir Komarov	24 h 17 min	Kosmonautti kuoli laskussa
25—28.10.68	Sojuz-2	miehittämätön	3 vrk	Sojuz-3:n telakointikohde
26—30.10.68	Sojuz-3	Georgi Beregovoi	95 h 51 min	Koelento, telakoitui Sojuz-2 -alukseen
14—17.1.69	Sojuz-4	Vladimir Šatalov	71 h 21 min	Telakoitui Sojuz-5:n kanssa muodostaen "ensimmäisen avaruusaseman"
15—18.1.69	Sojuz-5	Boris Volynov Jevgeni Hrunov Aleksi Jelisejev	72 h 46 min	Hrunov ja Jelisejev siirtyivät Sojuz-4:ään ja palasivat sillä maahan
11—16.10.69	Sojuz-6	Georgi Šhonin Valeri Kubasov	117 h 42 min	Avaruustroikan ensimmäinen alus. Mm. hitsauskokeita
12—17.10.69	Sojuz-7	Anatoli Filiptšenko Vladislav Volkov Viktor Gorbatko	118 h 19 min	Maatutkimuksia, ohjauskokeita
13—18.10.69	Sojuz-8	Vladimir Šatalov Aleksi Jelisejev	118 h 11 min	Avaruustroikan lipulaiva
1—19.6.70	Sojuz-9	Andrian Nikolajev Vitali Sevastjonov	424 h 59 min	Maatutkimuksia, lääketieteellisiä tutkimuksia
23—25.4.71	Sojuz-10	Vladimir Šatalov Aleksi Jelisejev Nikolai Rukavišnikov	47 h 46 min	Telakointi Saljut-1:een. Lento luultavasti keskeytyi ennen aikaansa
6—30.6.71	Sojuz-11	Georgi Dobrovolski Viktor Patsajev Vladislav Volkov	24 vrk	Viipyivät Saljut-1:ssä 23 vrk. Miehistö kuoli maahan palatessaan
27—29.9.73	Sojuz-12	Vasili Lazarev Oleg Makarov	2 vrk	Uusitun Sojuzin koelento
18—25.12.73	Sojuz-13	Pjotr Klimuk Valentin Lebedev	8 vrk	Tähtitieteellisiä tutkimuksia, ultravioletteleskooppi
3—18.7.74	Sojuz-14	Pavel Popovitš Juri Artjuhin	15 vrk	14 vrk Saljut-3:ssa. Sotilaallisia tehtäviä ja luonnonvaratutkimuksia

Taulukko 14.2. Jatkoa edelliseltä sivulta

Lennon ajankohta	Alus	Kosmonautit	Lentoaika	Huomautuksia
26—29.8.74	Sojuz-15	Gennadi Sarafanov Lev Demin	3 vrk	Epäonnistunut telakointiyritys Saljut-3:een, paluu tapahtui yöllä
2—8.12.74	Sojuz-16	Anatoli Filiptšenko Nikolai Rukavisnikov	6 vrk	ASTP-lennon ko-keilua
11.1.—9.2.75	Sojuz-17	Aleksei Gubarjev Georgi Gretško	30 vrk	29 vrk Saljut-4:ssä. Aurinkotutkimuksia luonnonvaratutkimuksia ja tähtitieteellisiä tutkimuksia
24.5.—25.7.75	Sojuz-18	Pjotr Klimuk Vitali Sevastjonov	63 vrk	60 vrk Saljut-4:ssä. Laaja tutkimusohjelma

Kuvassa 14.3 on Sojuz-avaruusalus. Etupäästä lukien alukseen kuuluu telakointiosa, kiertorataosa, laskeutumisosa ja huolto-osa. Aluksen sisätilavuus on yhdeksän kuutiometriä ja kokonaispaino on varustetasosta riippuen 6 400–6 500 kg. Sojuzin pituus on 7,2 metriä ja halkaisija runsaat kaksi metriä. Aluksen siiven tapaisten aurinkopaneelien kärkiväli on 8,3 metriä ja tehollinen pinta-ala 14 neliömetriä. Aurinkopaneelit on kiinnitetty huolto-osaan. Huolto-osaan kuuluu myös päämoottori ja varamoottori, joiden kummankin työntövoima on 4 000 N. Telakoinnin loppuvaiheessa käytetään neljää työntövoimaltaan 100 N pikkumoottoria. Päämoottorit saavat ajoaineensa turbiinipumppujen välityksellä. Asennonsäätöön käytetään painekaasulla toimivia rakettimoottoreita.

Sojuzissa voidaan käyttää joko neuvostoliittolaista telakointilaitteistoa, jossa telakointitanko työnnetään Saljut-avaruusaseman telakointikartioon, tai sitten kansainvälistä *androgynistä* telakointimenetelmää, jossa kummankin puolen telakointilaitteistot ovat samanlaiset. Kuvassa 14.4 ovat Apollo

Kuva 14.4. Apollo-Sojuz Test Project. Kuvassa Apollo-alus (A) on telakoitunut myös ilmalukkona toimivan kansainvälisen telakointiosan (B) välityksellä Sojuz-alukseen (C). Telakointiosan ja Sojuzin välissä on androgyninen telakointijärjestelmä. Lennon aikana alukset telakoituivat toisiinsa kahdesti. Ensimmäisen telakoinnin aikana Apollo toimi aktiivisena osapuolena. Toisessa telakoinnissa Apollo oli edelleen aktiivinen osapuoli, mutta Sojuz-kosmonautit ohjailivat telakointilaitteiden toimintaa.

Kuva 14.3. Neuvostoliittolainen Sojuz-alus.

Kuva 14.4.

A

B

C

ja Sojuz telakoituneet toisiinsa. Sojuzin lentäessä yksinään kosmonauttien työvarusteet ovat aluksen kiertorataosassa, missä kosmonautit voivat myös lepäillä. Samoin heidän keittiötarvikkeensa, lääkevarastonsa ja peseytymisvälineensä ovat kiertorataosassa. Kiertorataosaa voidaan käyttää avaruuskävelyille mentäessä ilmalukkona ja myös aluksen asento säädetään kiertorataosasta käsin.

Aluksen päävalvomo on laskeutumisosassa, josta voidaan valita ohjausohjelma, siirtyä käsiohjaukseen jne. Laskeutumisosassa ovat myös paluussa tarvittavat laskuvarjat ja jarruraketit. Aluksessa käytetään normaali-paineista ilmaa eikä kosmonauttien tarvitse pukeutua avaruuspukuihin. Laskeutumisosaa voidaan laskeutumisen aikana jossain määrin ohjata.

Apollo ja kilpajuoksu Kuuhun

»Pieni askel ihmiselle, suuri askel ihmiskunnalle», olivat ihmisen ensimmäiset sanat Kuun pinnalta. Sanat lausui amerikkalainen astronautti Neil Armstrong 21. heinäkuuta 1969 aamuvarkaisella Suomen aikaa. Kaikkialla maailmassa seurattiin värisevää televisiokuvaa, joka osoitti ihmisen päässeensä Kuuhun.

Ihmisen lähettäminen Kuuhun oli tullut maksamaan 25 miljardia dollaria. Apollo-ohjelma aloitettiin keväällä 1961 hieman sen jälkeen kun neuvostoliittolainen Juri Gagarin oli ensimmäisenä ihmisenä käynyt avaruudessa. Siinä vaiheessa Yhdysvalloilla oli vain Mercury-kapseli, joka oli niin pieni että astronauttien sanottiin suorastaan pukevan sen päälleen. Mercuryistä sanottiin myös, että se oli kevyt kuin hyttysen silmä ja että se lensi kuin kivi.

Kuvassa 14.5 ovat Yhdysvaltain avaruusaluksien Mercury, Gemini ja Apollo. Mercury-ohjelmaan kuului kaksi ballistista käväisyä ilmakehän yläosissa ja neljä avaruuslentoa. Mercury-aluksia seurasivat Geminin, joilla tehtiin kymmenen miehitettyä lentoa. Nämä lennot on lueteltu taulukossa 14.3.

Taulukko 14.3. Yhdysvaltain Mercury- ja Geminiohjelma. Mercuryt olivat "keveitä kuin hyttysen silmä ja ne lensivät kuin kivi", mutta sen sijaan Geminillä oli huolto-osa joka mahdollisti lentoradan muuttamisen ja kohdealukseen telakoitumisen. Kohdealusta voitiin käyttää radanmuutosten vauhdituksissa. Gemini-ohjelmaan kuului myös pitkäaikaisen painottomuuden tutkiminen ja maapallon luonnonvarojen tutkiminen. MR = Mercury-Redstone, MA = Mercury-Atlas, GT = Gemini-Titan.

Alus	Astronautit	Lennon lähtöpäivämäärä	Kierroksia Maan ympäri	Lentoaika	Huomautuksia
Mercury:					
MR-3	Alan Shepard	5.5.61	ballistinen	15 min	
MR-4	Virgil Grissom	21.7.61	ballistinen	15 min	Kapseli upposi
MA-6	John Glenn	20.2.62	3	4 h 55 min	
MA-7	Scott Carpenter	24.5.62	3	4 h 56 min	
MA-8	Walter Schirra	3.10.62	6	9 h 13 min	
MA-9	Gordon Cooper	15.5.63	22,5	34 h 19 min	
Gemini:					
GT-III	Virgil Grissom John Young	23.3.65	3	4 h 53 min	
GT-IV	James McDivitt Edward White	3.6.65	66	4 vrk 1 h 59 min	White teki 20 minuutin avaruuskävelyn
GT-V	Gordon Cooper Charles Conrad	21.8.65	120	7 vrk 22 h 59 min	
GT-VII	Frank Borman James Lovell	4.12.65	206	13 vrk 18 h 35 min	Pituusennätys, kohtasi GT-VI:n
GT-VI	Walter Schirra Thomas Stafford	15.12.65	16	1 vrk 1 h 52 min	Kohtasi GT-VII:n, ryhmälento
GT-VIII	Neil Armstrong David Scott	16.3.66	7	10 h 42 min	Onnistuneen telakoinnin jälkeen hätälasku, vika ohjausmoottorissa
GT-IX	Thomas Stafford Eugene Cernan	3.6.66	46	3 vrk 0 h 21 min	Telakointikohteen karkikartio ei avautunut ("vihainen alligaattori"). Cernan teki avaruuskävelyn
GT-X	John Young Michael Collins	18.6.66	43	2 vrk 22 h 47 min	Telakointi, Collinsin avaruuskävely
GT-XI	Charles Conrad Richard Gordon	12.9.66	44	2 vrk 23 h 17 min	Telakointi, Gordonin avaruuskävely
GT-XII	James Lovell Edwin Aldrin	11.11.66	59	3 vrk 22 h 36 min	Telakointi, Aldrinin avaruuskävely

Kuva 14.5. Mercury, Gemini ja Apollon laskeutumisalus. Kuvassa on myös eri mittakaavassa kohti Kuuta lentävä Apollon kokonaisuus.

Tämän kirjan tehtäviin ei kuulu pohdiskella miksi presidentti Kennedyn poliittiset neuvonantajat houkuttelivat julistamaan ohjelman »Ihminen Kuuhun ja turvallisesti takaisin ennen vuotta 1970». Kuitenkin vuonna 1969 tapahtuneen ensimmäisen miehitetyn kuulennon jälkeen kilpajuoksumyyttiä ylläpitänyt sensaatiolehdistökin huomasi, että Yhdysvallat oli kilpaillut almanakan eikä Neuvostoliiton kanssa.

Apollo-ohjelmaan mahtui yksi murhenäytelmäkin, kuten edellisessä luvussa todettiin. Onnettomuus viivästytti ohjelman toteuttamista noin vuodelle. Loppujen lopuksi ohjelmaan tuli kuulumaan kaksi lentoa Maata kiertävällä radalla, kaksi lentoa Kuuta kiertävällä radalla, kuusi laskeutumista Kuuhun ja yksi keskeytynyt kuulento. Kuulentojen jälkeen Apolloja käytettiin kolmeen yhteyslentoon Skylab-avaruusasemalle ja vielä Apollo-Sojuz -yhteyslentoon kesällä 1975. Näin Apollo-aluksia on käytetty kaikkiaan viiteentoista miehitettyyn lentoon. Kuuohjelmaan liittyvät lennot ovat taulukossa 14.4.

Taulukko 14.4. Apollo-ohjelman miehitetyt lennot

Aluksen numero, komento/huolto-osa, laskeutumisalus	Miehistö: komentaja, laskeutumisaluksen ohjaaja, Kuuta kiertävä astronautti	Ajankohta ja laskeutumispaikka	Huomautuksia
Apollo-7	Schirra Eisele Cunningham	lokakuu 68	Kantoraketti Saturn-1B. 14 vrk. Maata kiertävällä radalla
Apollo-8	Borman Lovell Anders	joulukuu 68	10 kierrosta Kuun ympäri 24—25. joulukuuta, Kuun valokuvaamista. Kantoraketti Saturn-V.
Apollo-9 Gumdrop (Tikkunekku) Spider (Hämähäkki)	McDivitt Schweickart Scott	maaliskuu 69	Laskeutumisaluksen kokeilua Maata kiertävällä radalla. Kantoraketti, kuten seuraavissakin, Saturn-V. 10 vrk.
Apollo-10 Charlie Brown Snoopy	Stafford Cernan Young	toukokuu 69	Koelento 15 km:n korkeuteen Kuun pinnasta, valokuvausta ja masconien kartoitusta. 30 kierrosta Kuun ympäri.
Apollo-11 Columbia Eagle (Kotka)	Armstrong Aldrin Collins	heinäkuu 69 Rauhallisuuden meri	Ensimmäiset ihmiset Kuussa 20. 7.69. Armstrong ja Aldrin kävelivät Kuun pinnalla kaksi tuntia.
Apollo-12 Yankee Clipper Intrepid	Conrad Bean Gordon	marraskuu 69 Myrskyjen meri	Tarkkuuslaskeutuminen. Kahdella kävelyllään Conrad ja Bean mm. noutivat osia Surveyor-3 -kuuluo- taimesta.
Apollo-13 Odyssey Aquarius	Lovell Haise Swigert	huhtikuu 70	Happisäiliön räjähdys keskeytti lennon. Paluu Maahan tapahtui Kuun taitse.
Apollo-14 Kittyhawk Antares	Shepard Mitchell Roosa	helmikuu 71 Fra Mauro	Shepard ja Mitchell kahdella kuukävelyllä, mukana myös kuuauto.
Apollo-15 Endeavour Falcon	Scott Irwin Worden	heinäkuu 71 Hadley — Apenniinit	Scott ja Mitchell kolmella kuukävelyllä, mukana kuuauto. Endeavour teki tutkimuksia kiertoradalla.

Taulukko 14.4. Apollo-ohjelman miehitetyt lennot

Aluksen numero, komento/huolto-osa, laskeutumis- alus	Miehistö: komen- taja, laskeutumis- aluksen ohjaaja, Kuuta kiertävä astronautti	Ajankohta ja laskeutumispaikka	Huomautuksia
Apollo-16 Casper Orion	Young Duke Mattingly	huhtikuu 72 Descartes	Young ja Duke kolmella kuukävelyllä, mukana kuuauto. Casper teki tutkimuksia kiertoradalla.
Apollo-17 America Challenge	Cernan Schmitt Evans	joulukuu 72 Taurus — Littrow	Cernan ja Schmitt kolmella kuukävelyllä, mukana kuuauto. America teki tutkimuksia kiertoradalla.

Kaikkiaan Apollo-astronautit olivat Kuun pinnalla 299 tuntia 35 minuuttia, josta kuukävelyitä oli 80 tuntia 44 minuuttia. Lennoilla jätettiin Kuuhun viisi tutkimusasemaa ja Maahan tuotiin kuunäytteitä 420 kiloa.

Kuulentoilla jätettiin Kuun pinnalle erilaisia varusteita, joiden kokonaisarvo on laskettu 517 miljoonaksi dollariksi. Tästä summasta kuuden laskeutumisaluksen alaosat ovat 270 miljoonaa, Kuuhun jätetyt tutkimusasemat 130 miljoonaa, kuuautot kuusi miljoonaa kappale, kameroita viiden miljoonan arvosta ja niin edelleen.

Apollo-alukseen kuului komento- ja huolto-osa varsinaisena aluksena sekä kuuhunlaskeutumisalus, joka itse asiassa oli kaksivaiheinen erityistarkoituksiin suunniteltu avaruusalus. Komento-osa oli jonkin verran Sojuzia pienempi; sen tilavuus oli 6,89 kuutiometriä. Kolmen hengen miehistöineen ja täydellisine varusteineen komento-osa painoi noin viisi tonnia.

Komento-osan omat varastot riittivät vain muutaman tunnin lentoon, mutta se saikin matkan aikana veden, ilman ja sähkövirran huolto-osasta. Huolto-osassa oli myös aluksen päämoottorin ajoaine. Päämoottorina oli painesyöttöinen SPS (Service Propulsion Motor), joka kehitti 100 kN työntövoiman. Lisäksi huolto-osaan kuului kuusitoista ohjausmoottoria, joiden kunkin työntövoima oli 455 N. Huolto-osalla ja komento-osalla oli sama 3,85 metrin läpimitta. Lieriömäisen osan pituus oli 4,27 metriä ja sen perässä olivat vielä SPS:n kolmimetriset suuttimet. Ajoainesäiliöt täysin huolto-osan paino oli noin 25 tonnia.

Laskeutumisvaihe oli itse asiassa kaksivaiheinen raketti, jonka lähtömassa oli noin 15 tonnia. Laskeutumisvaiheessa käytettiin maksimityöntövoimaltaan 48 kN säädettävää moottoria ja paluuvaiheen moottorin työntövoima oli 16 kN. Laskeutumisvaiheen massa oli tyhjänä 1,95 tonnia. Pa-

luuvaiheen massa oli 5,2 tonnia, mistä ajoaineen osuus oli noin kolme tonnia. Kuualuksen kuusitoista ohjausrakettia oli sijoitettu paluuvaiheeseen.

Kuualuksen ajokyvyn piti riittää vauhdin jarruttamiseen ja pehmeään laskeutumiseen Kuun pinnalle. Sen lisäksi ajokyky riitti vielä kahden minuutin leijailmiseen sopivaa laskeutumiskohtaa etsittäessä. Ajokyky oli kaikkiaan noin 1 800 m/s. Koska paluulennolla ei tarvinnut enää varautua leijailmiseen, takaisin Kuuta kiertävälle radalle siirryttäessä ajotarve oli hieman pienempi, noin 1 650 m/s. Ajovaiheiden kestot olivat laskeutumisessa 12 minuuttia ja nousussa 7 minuuttia.

Kuun lähettyville tultaessa huolto-osan oli jarrutettava koko laitteisto Kuun kiertoradalle, mihin tarvittiin noin 950 m/s ajokyky. Paluumatkalle lähdettäessä kiertoradalta irtautumiseen tarvittiin saman suuruinen ajokyky. Paluun alkaessa kokonaismassa oli pienentynyt mm. sen takia, ettei kuualusta ollut enää mukana. Ero näkyy selvästi vauhditukseen tarvittavien ajoaikojen erona: Kuun kiertoradalle jarrutettaessa ajoaika oli 358 sekuntia, mutta kohti Maata lähdettäessä enää 151 sekuntia.

Avaruusasemat

Saljut oli ensimmäinen avaruusasema ja se on myös ainoa jatkuvasti käytössä oleva avaruusasematyyppe. Ensimmäinen *Saljut* lähetettiin avaruuteen huhtikuussa 1971; neljäs *Saljut*-asema laukaistiin radalle vuoden 1974 lopulla. *Saljut*-2:n lento epäonnistui, koska luultavasti ohjausrakettien vikaantumisen takia asema alkoi pyöriä liian nopeasti ja sen seurauksena särkyi palasiksi. *Saljut* 3- avaruusasemalla kävi yksi miehistö, mutta toisen miehistön yrittäessä telakointia telakointilaitteet rikkoutuivat ja miehistön oli palattava Maahan. *Saljut*-3 toimi tämän jälkeen miehittämättömänä vielä parin kuukauden ajan. Samana päivänä kun *Saljut*-3 hylättiin avaruuteen lähetettiin *Saljut*-4.

Kuvassa 14.6 on *Saljut* avaruusasema, jota voidaan käyttää joko miehittynä tai miehittämättömänä. *Saljut*-3:ssa oli paluukapseli, joka toi maahan valotetut filmit ja muuta tutkimusaineistoa. Kun *Saljut*-asemat ovat tehneet tehtävänsä, ne saavat syöksyä ilmakehään ja tuhoutua.

Saljut-asema painaa noin 19 tonnia yksinään ja yhdessä *Sojuz*-aluksen kanssa kokonaismassa on 25 tonnia. Aseman pituus on 14 metriä (*Sojuz* mukaan luettuna 21 metriä) ja sisätilavuus sata kuutiometriä. Ensimmäisessä *Saljut*issa oli neljä yhteispinta-alaltaan 42 neliömetrin aurinkopaneelia, mutta myöhemmissä *Saljuteissa* aurinkopaneeleita on vain kolme. Ensimmäisen *Saljutin* aurinkopaneelit olivat myös kiinteästi asennetut, niin että koko alus oli käännettävä kun aurinkopaneelit suunnattiin kohti

Kuva 14.6. Sojuz-Saljut -avaruusasema ja Apollo-Skylab -avaruusasema. Kuvaan on piirretty Saljut-1. Myöhemmissä Saljuteissa aurinkopaneelit on sijoitettu toiseen kohtaan kuin tässä kuvassa. Skylabiin ei ole piirretty lähdössä irtautunutta toista aurinkopaneelia. Aluksen keskivaiheilla on astronauttien avaruudessa asennama lämpösuoja.

Aurinkoa. Myöhemmissä Saljuteissa aurinkopaneeleita voidaan kääntää, mikä mahdollistaa aluksen suuntaamisen maapallon tutkimisen kannalta sopivimmalla tavalla. Tästä on merkittävää etua, sillä juuri suuntaushankaluuksien takia ensimmäisellä Saljutilla luonnonvarakuvauksia ja tähtitieteellisiä havaintoja voitiin suorittaa vain ajoittain.

Telakointipäästä lukien Saljutin kolme pääosaa ovat väliosa, työskente-

lyosa ja moottoriososa. Väliosan läpimitta on 2,2 metriä ja siihen on sijoitettu ilmastointilaitteet, tähtitieteelliset välineet ja aseman ohjauspöytä. Väliosan ulkopuolelle on kiinnitetty etsinantennit, telakoinnissa käytettävät valomerkkilaitteet, lämpötilan säätimet ym. Väliosa toimii myös ilmalukkona. Väliosan jälkeen seuraa työosa. Työosa voidaan itse asiassa jakaa kahteen osaan, joiden läpimitat ovat 2,90 ja 4,15 metriä. Tässä osassa kosmonautit työskentelevät ja viettävät vapaa-aikansa. Työosaston tilavammalla puolella ovat luonnonvarojen tutkimiseen liittyvät laitteet, joista osa luultavasti palvelee sotilaallisia tarkoituksia. Saljutissa on kaikkiaan kaksikymmentä havaintoaukkoa.

Saljutin vesi-, ilma- ja ruokavarat riittävät ainakin 90 vuorokauden lentoon. Toistaiseksi yksikään miehistö ei ole viipynyt asemalla näin pitkään.

Skylab oli Yhdysvaltain toistaiseksi ainoa avaruusasema. *Skylab* kehitettiin Apollo-kuulentojen sivutuotteena ja sen teknistä varustelua ovat jotkut väheksyvästi luonnehtineet »Apollon ylijäämätavaroiksi». Nopeasta suunnittelustaan huolimatta *Skylab* osoittautui menestykseksi. Avaruusasema vaurioitui lähdössä ja sen takia kaikki kolme siellä käynyttä miehistöä saivat käytännössä osoittaa, miten avaruudessa voidaan tehdä korjaus töitä. Alkuaan *Skylabiin* oli tarkoitus lähettää yksi miehistö 28 vuorokauden ajaksi ja kaksi miehistöä kumpikin 56 vuorokaudeksi. Ensimmäinen miehistö oli avaruusasemalla 28 vuorokautta, toinen 59 vuorokautta ja kolmas 84 vuorokautta.

Skylab rakennettiin S-IVB -raketin yhdestä vaiheesta, josta oli moottorit poistettu ja happisäiliö muutettu jätesäiliöksi. Vetysäiliöön asennetut kaksi välipohjaa jakoivat *Skylabin* sisätilat osastoihin, joissa astronautit työskentelivät ja asuivat. Vetytankkiin, jota nimitettiin Orbital Workshopiksi – sananmukaisesti kiertoradalla lentävä työhuone – oli liitetty ilmalukko-osa sekä telakointilaitteisto. Auringon tutkimiseen tarkoitettu teleskooppiosa oli asennettu avaruusaseman runkoon kiinnitettyyn kehikkoon. *Skylabin* tilavuus oli noin neljä kertaa niin suuri kuin Saljutin tilavuus ja sen kokonaismassa oli 90 tonnia.

Skylab oli Saljut-1:n tapaan jatkuvasti sellaisessa asennossa, että aurinkopaneelit olivat kohti Aurinkoa. Siksi se saattoi tutkia maapallon luonnonvaroja vain ajoittain. Aseman päätehtävä oli kuitenkin – avaruuslääketieteen ohella – tutkia Aurinkoa ja on sanottu, että Auringon tutkimisen historia voidaan jakaa nyt kahteen osaan: tutkimukset ennen *Skylabia* ja tutkimukset *Skylabin* jälkeen.

Saljut pystyy muuttamaan rataansa työosan perään kiinnitetyn, Sojuzin huolto-osaa muistuttavan huolto-osan vauhdittamana. *Skylabissa* tätä

mahdollisuutta ei ollut. Skylabia suunniteltaessa lähdettiin siitä, että mahdolliset ratamuutokset voitaisiin hoitaa yhteysaluksena toimivan Apollon huolto-osan rakettimoottoreilla. Skylabin asennonsäätöä varten oli kaksi erillistä järjestelmää, joista toinen perustui gyroskooppeihin ja toinen tyypikaasulla toimiviin rakettisuuttimiin. Gyroskooppivakautus ei toiminut kunnolla ja viimeisellä lennolla myös tyypikaasu alkoi uhkaavasti loppua.

Skylab lähetettiin Maata kiertävälle radalle 14. toukokuuta 1973. Lähdössä irtautui Skylabia ympäröivä mikrometeoriittisuoja, jonka piti toimia myös lämpötilan säätelijänä. Samoin yksi aurinkopaneeli lensi tiehensä. Skylabin ensimmäisen miehistön, johon kuuluivat Charles Conrad, Joseph Kerwin ja Paul Weitz, onnistui asentaa asemalle uusi lämpösuoja ja vaivalloisten yritysten jälkeen avata myös lähdössä irronneen aurinkopaneelin palasten lukkiuttama toinen aurinkopaneeli. Toinen miehistö – Alan Bean, Owen Garriot ja Jack Lousma – toi mukanaan tehokkaamman lämpösuojan, joka pystyi jo riittävästi suojaamaan Skylabia ylikuumenemiselta. Näin saatiin nämä viat korjatuksi ennen kuin asemalle lensi 84 vuorokauden ennätyslennolleen kolmas miehistö, johon kuuluivat Gerald Carr, Edward Gibson ja William Pogue.

Carr, Gibson ja Pogue lähtivät Skylabista takaisin maan pinnalle helmikuussa 1974. Yhdysvaltain avaruusasemaohjelma oli lentojen osalta täytetty vajaan vuoden aikana.

Sekä Saljut että Skylab lähetettiin avaruuteen etukäteen ja miehistö seurasi yhteysaluksella perässä. Kuvassa 14.7 on Länsi-Euroopan maiden suunnittelema Spacelab, joka on tarkoitettu viedä Maata kiertävälle radalle amerikkalaisella avaruussukkulalla. Kuvassa on pelkästään Spacelabin rakenneperiaate, johon kuuluvat tutkimustilat sekä tutkimuslaitteiden ja varusteiden kuljettamiseen tarkoitettut rahtitilat. Spacelabin huolto hoidetaan tuomalla Maahan asema ja miehistö avaruussukkulalla – itse asiassa laboratoriota ei avaruudessa lainkaan irroteta sukkulasta. Maassa Space-lab varustetaan uusia tehtäviä varten ja lähetetään uuden miehistön kanssa jälleen avaruuteen.

Avaruussukkulat

Vuoden 1980 tienoilla avaruusmatkat muuttuvat perinpohjin, kun nykyiset kantoraketit korvataan moneen kertaan käytettävillä avaruussukkuloil-la. Avaruussukkulat ovat aiempien rakettilentokoneiden suoria jälkeläisiä

Kuva 14.7. Avaruussukkula ja Spacelab. Länsi-Euroopan maiden suunnitelmiin kuuluu rakentaa Spacelab-avaruusasema, joka nostettaisiin Maata kiertävälle radalle amerikkalaisella avaruussukkulalla. Skylab rakennettaisiin miehistölle tarkoitusta työskentelyosasta, jonka yhteyteen voitaisiin liittää erilaisia tutkimuslaitteita. Työskenneltäessä avaruussukkulun rahtiluukut pidetään avoinna, kuvassa ne ovat suljetut.

– Yhdysvaltain avaruussukkula näyttääkin isolta lentokoneelta, jonka mahan alle on sijoitettu ylisuuret polttoainesäiliöt. Tähän saakka kantoraketit ovat olleet kertakäyttöisiä, sillä ne on alkuaan kehitetty sotilaallisista ohjuksista joiden käyttöperiaate on ollut sama kuin kiväärin panoksilla: ammu ja heitä hylsy pois. Avaruussukkulat sen sijaan muuttavat avaruusliikenteen säännöllisen lentoliikenteen tapaiseksi.

Neuvostoliiton avaruussukkulaohjelmasta ei lännessä tiedetä juuri muuta kuin että tällainen ohjelma on olemassa. Oletettavasti Neuvostoliitto kehittää kaksivaiheista sukkulaa, jonka lähtövaihetta ohjaisivat lentäjät. Toinen vaihe olisi kiertoradalle lentävä osa. Molemmat vaiheet voisivat laskeutua lentokoneen tapaan.

Myös Yhdysvaltain avaruussukkulaohjelmassa lähdettiin alussa siitä periaatteesta, että kaikki ajovaiheet voitaisiin käyttää uudelleen. Kehityskustannusten kohoaminen on kuitenkin pakottanut NASA:n luopumaan kaikkien vaiheiden uudelleen käytöstä.

Yhdysvaltain avaruussukkulassa on *kiertorataosa*, *ajoainesäiliöt* ja *lähtöraketit*. Ajoainesäiliöt hylätään juuri ennen kuin sukula pääsee kiertoradalle, lähtöraketit sen sijaan korjataan talteen ja käytetään uudelleen. Lähtövalmiissa sukulassa ajoainesäiliöt ovat kiertorataosan mahan alla ja lähtöraketit ovat säiliöiden sivuilla. Nousu tapahtuu pystysuoraan ja lähdössä sytytetään sekä lähtömoottorit että sukulan päämoottorit.

Lähtöraketteja on siis kaksi. Niiden pituus on 45,4 metriä ja halkaisija 3,7 metriä. Niissä on kiinteä ajoaine. Lähtövalmiina ne painavat 574 tonnia ja tyhjinä 82,5 tonnia. Työntövoima on 11 830 kN ja yhdessä kiertorataosan kolmen päämoottorin kanssa kokonaistyöntövoima lähdössä on 27 600 kN. Lähtöraketit toimivat pari minuuttia.

Kiertorataosan päämoottorien ajoainesäiliö on 47 metriä pitkiä ja läpimitaltaan 8,5 metriä. Ajoainetta riittää noin kymmenen minuutin ajaksi, minkä jälkeen säiliö heitetään pois. Sen sijaan lähtöraketit laskeutuvat laskuvarjojen varassa mereen, mistä ne otetaan talteen ja kunnostetaan uutta käyttöä varten. Avaruussukkula asettuu matalalle kiertoradalle, jolta se voi tarpeen mukaan nousta korkeammalle.

Avaruussukkulun päämoottorit käyttävät nestemäistä vetyä ja happea. Ne ovat tähän saakka rakennetuista moottoreista tehokkaimmat: ominaisimpulssi on hieman yli 4 400 m/s ja työntövoima 2 090 kN. Rataohjausmoottoreita on kaksi. Ne käyttävät säilyviä ajoaineita ja kummankin työntövoima on 26,7 kN. Asennonsäätöön on 36 ohjausrakettia, joista kunkin työntövoima on 3,9 kN. Lisäksi sukulassa on vielä kaksi pientä rakettimoottoria, jotka synnyttävät tarvittaessa niin suuren keinotekoisen painovoiman että ajoaine alkaa virrata rataohjausmoottoreihin.

Kiertorataosa painaa 68 tonnia tyhjänä ja se voi kuljettaa itäsuuntaan (Maan pyörimissuuntaan) kiertävälle satelliittiradalle (Cape Canaveralista) 29 500 kilon hyötykuorman tai napojen kautta kulkevalle satelliittiradalle (Vandenbergista) 14 500 kilon hyötykuorman. Kummassakin tapauksessa lentokorkeus olisi 185 kilometriä. Korkeammalle kiertoradalle lennettäessä hyötykuorma vastaavasti pienenee. Avaruussukkula mahdollistaa ensimmäistä kertaa myös hyötykuormien palauttamisen maahan. Palatessaan sukula voi tuoda mukanaan 14 500 kiloa avaruudesta kerättyä tavaraa.

Avaruussukkulassa on neljän hengen miehistö ja se on normaalisti varustettu viikon pituista lentoa varten. Lisävarusteita käyttäen siitä saadaan alus, jolla seitsemän henkeä voi viipyä avaruudessa kuukauden. Ohjaamossa istuvaan miehistöön kuuluvat päällikkö, ohjaaja sekä kaksi asiantuntijaa, joista toinen huolehtii lennon tehtävistä ja toinen hyötykuormasta. Ohjaamon alapuolella on matkustamo, jossa on tilaa kolmelle ihmiselle. Ohjaamon alapuolelle on sijoitettu myös ilmastointilaitteet.

Matkustamon takana on rahtitila, jota ei ole paineistettu. Rahtitilan pituus on 18 metriä ja läpimitta 4,5 metriä. Lähdön ja paluun aikana rahtitilan neljä luukua pidetään suljettuina, mutta avaruudessa niitä käytetään aluksen lämpötilan säätelyyn. Rahtitilassa on myös viisitoista metriä pitkä nosturin varsi, jolla hyötykuormia voidaan liikutella. Tarvittaessa rahtitilaan voidaan asentaa toinenkin varsi. Näiden varsien toimintaa ohjaa hyötykuorma-asiantuntija, joka voi seurata niiden liikkeitä television kuvaruudusta ja suoraan ohjaamon ikkunasta.

Rahtitilan takana ovat sukulan kolme päämoottoria, rataohjausjärjestelmät ja korkea sivuvakaaja. Osa asennonsäätöraketeista on peräosassa ja osa sukulan nokan kummallakin puolella.

Avaruussukkulassa on kaksoisdeltatason, aivan kuten ruotsalaisessa Draken-hävittäjässä. Laskutelineiden pyörät on sijoitettu kolmeen kohtaan samaan tapaan kuin tavallisissa liikennekoneissa ja laskeutumisnopeus kiertoradalle tultaessa on 300 km/h.

Vuosisadan vaihteen tienoilla avaruuslentojen ensimmäisten vuosikymmenien kertakäyttöraketteja voidaan pitää jo esihistoriallisina kaluina. Hyötykäyttöön tarkoitetut avaruusasemat samoin kuin tieteelliset satelliititkin viedään radalle ja palautetaan takaisin maahan avaruussukuloilla. Avaruushinaajat kiskovat aluksia matalalta satelliittiradalta geosynkroniselle radalle tai Kuuhun. Moneen kertaan käytettäviä aluksia käytetään mm. Kuuhun laskeutumiseen. Maa-asemat toimivat samaan tapaan kuin nykyisten lentokenttien lennonjohto.

Planeettainväliset alukset

Muille planeetoille lähetetään aluksia, joiden ainoa tehtävä on kuljettaa hyötykuorma Maata kiertävältä radalta kohdeplaneettaa kiertävälle radalle. Planeettainväliset alukset ovat todennäköisesti niin suuria, että ne on nostettava Maata kiertävälle radalle osina ja koottava vasta avaruudessa. Tällainen tulee joka tapauksessa kalliiksi ja siksi ainakin osa aluksista pyritään suunnittelemaan sellaisiksi, että niitä voidaan käyttää moneen kertaan.

Planeettainvälisten lentojen vauhditusjärjestelmät ovat vielä ratkaisematta. Yksi mahdollisuus on terminen ydinrakettimoottori, jos sen turvallisuusongelmat pystytään ratkaisemaan. Mahdollisesti myös sähköiset ajojärjestelmät saadaan niin kevyiksi, että ne soveltuvat aluksen vauhdittamiseen. Elossapitojärjestelmä rakennetaan ilmeisesti ainakin jossain määrin suljetuksi ja kehittyneimmät alukset voivat toimia omin päin tarvitsematta turvautua maa-asemaan tai Maasta tapahtuvaan seurantaan. Esimerkiksi Marsia kiertävä emäalus voi toimia Marsin pinnalle laskeutuneen miehitetyn tai miehittämättömän aluksen ohjauskeskuksena. Venukseen tuskin voidaan laskeutua miehitetyllä aluksella, mutta Venusta kiertävä emäalus voi ohjailla pilvisen planeetan pinnalla vaeltavaa miehittämättömää venus-kulkijaa.

Planeettainväliset lennot muistuttavat hyvin paljon Kuuhun suuntautuneita Apollo-lentoja ja ainakin aluksi laskeutumisalukset ovat kertakäyttöisiä. Mutta päinvastoin kuin Apollon tapauksessa planeettalennot tulevat olemaan kansainvälisiä ohjelmia.

Entä milloin ihminen laskeutuu Marsiin? Jos päätös miehitetystä Mars-lennosta tehtäisiin nyt, lento voisi toteutua ehkä kymmenen tai luultavimmin runsaan kymmenen vuoden kuluttua, ehkäpä vieläkin myöhemmin. Muiden planeettojen kuin Marsin tutkiminen miehitettyillä lennoilla ei toteutune tämän vuosisadan puolella eikä koko aurinkokunnan kattavia matkoja voida ajatellakaan ennen kuin on kehitetty nykyisiä olennaisesti parempia vauhditusmenetelmiä.

Siirtokuntia avaruudessa

Maata kiertäviltä avaruusasemilta saatavat kokemukset tulevat ehkä osoittamaan, että avaruuteen on mahdollista perustaa pysyviä siirtokuntia. Ajatus ei ole uusi: Jo Tsiolkovski haaveili ihmisten siirtokuntien valloitta-

masta avaruudesta. Tsiolkovskin jälkeen on esitetty erilaisia siirtokunta-ehdotuksia – niitä ei sentään vielä voida sanoa suunnitelmiksi – »androselleistä» ja avaruusasuntoloista. Androselli muodostaisi biologisesti suljetun järjestelmän, mutta sen lisäksi se olisi myös taloudellisessa mielessä oma-varainen. Mahdollisesti se voisi tuottaa energiaa ja siirtää sitä sitten Maahan mikroaalloilla – mahdollisuus, jonka Nicola Tesla esitti jo 1920-luvulla. Se voisi myös myydä luonnonvaroja koskevia mittaustuloksia ja muita tietoja. Eräs toistaiseksi jonkin verran tutkittu mahdollisuus on avaruuteen sijoitettu tehdas, sillä on olemassa lukuisia tuotteita joita voidaan valmistaa ainoastaan painottomassa tilassa. Avaruudessa voidaan valmistaa esimerkiksi erittäin lujaa mutta kevyttä vaahtoterästä. Samoin painottomuudessa voidaan valmistaa täydellisiä kuulalaakereita, suuria yksikiteitä joita käytetään mm. elektroniikassa, erilaisia biologisia preparaatteja jne. Kuljetuskustannuksiin viittaaville epäilijöille on syytä huomauttaa, että jo ensimmäisissä alkeellisissa avaruussukkuloissa tulee lähes jokaisella matkalla olemaan käyttämätöntä rahtitilaa sekä avaruuteen lennettäessä että maahan palattaessa. Kannattaa myös muistaa, ettei esimerkiksi maailman suurimpiin teollisuusmaihiin kuuluva Japani ole minkään välttämättömän raaka-aineen suhteen omavarainen.

Tällä hetkellä on vielä mahdotonta arvioida, millä tavalla Kuuhun tai jollekin planeetalle perustettu siirtokunta maksaa perustamiskustannuksensa takaisin Maahan jääneille ihmisille. Mutta yksi asia on kuitenkin täysin selvä. Maapallon väestönkasvun ongelmia ei ratkaista avaruuden siirtokunnilla. Maan omat ongelmat on ratkaistava Maassa – tässä tosin avaruustutkimus voi antaa apua.

Joka tapauksessa tulevaisuuden avaruusalusten rahtitiloissa kuljetetaan paljon arvokkaampia tuotteita kuin »ne kallisarvoiset tavarapaalit» joita runoilija Tennyson aikoinaan näki »sinisen syvyyden salaperäisissä purjelaivoissa».

15. Kaukaiset tähdet

»Minkä ihminen osaa kuvitella, sen joku toinen voi toteuttaa»

Jules Verne (1828–1905)

Oman aurinkokuntamme yhdeksän planeettaa, kolmekymmentäneljä kuuta ja lukemattomat pienemmät taivaankappaleet riittävät ihmisen tutkimusmatkojen kohteiksi satoja vuosia tulevaisuuteen. Matka aurinkokunnan ulkolaidoille on sinänsä jo niin pitkä, että sinne lentäminen edes jossain mielessä kohtuullisessa ajassa edellyttää aivan toisenlaisia vauhditusmenetelmiä kuin luvuissa 5 ja 6 kuvaillut menetelmät ovat.

Mutta Neptunuksen ja Pluton ratojen tuolla puolen aukeaa rajaton avaruuden tyhjiys, jonka laajuutta on vaikea kuvitella. Aurinkoa lähinnä olevaan tähteen on matkaa *kuusituhatta kertaa* niin paljon kuin Auringosta aurinkokunnan uloimpaan planeettaan Plutoon. Valo kulkee Auringosta Maahan kahdeksassa minuutissa, Plutoon viidessä ja puolessa tunnissa, mutta lähimpään tähteen, Proxima Centauriin, valoltakin kuluu jo 4,28 vuotta. Alfa Centauriin, jota Proxima kiertää, Auringon valo tulee 4,29 vuoden kuluttua. Tällaisilla etäisyyksillä tavalliset arkielämän mitat ovat aivan liian pieniä. Nykyisen tietämyksen mukaan suurin mahdollinen nopeus on valon nopeus. Siksi se soveltuukin varsin hyvin tähtienvälisten etäisyyksien ilmoittamiseen. Yksi *valovuosi* on valon vuodessa kulkema matka.

$$1 \text{ valovuosi} = 63\,300 \text{ tähtitieteellistä yksikköä (AU)} = 9\,470\,000\,000\,000 \text{ km} = 9,47 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

Etäisyys Auringosta Alfa Centaurin kolmen tähden ryhmään on tyypillinen. Tähtien etäisyydet tällä alueella galaksiamme ovat keskimäärin viitisen valovuotta – tähtiä on siis jokseenkin harvassa. Lähestyttäessä meistä noin 30 000 valovuoden päässä olevaa Linnunradan keskustaa tähtien keskimääräinen etäisyys pienenee yhteen valovuoteen. Pallomaisissa tähtijoukoissa tähdet ovat jo sulloutuneet tiheään: keskimääräiset etäisyydet voivat olla alle puoli valovuotta. Meitä lähinnä olevaan pallomaiseen tähtijoukkoon on kuitenkin matkaa kymmeniä tuhansia valovuosia.

Toiset auringot

Taivaalla näkyvät tähdet ovat toisia aurinkoja, jotka voivat olla keskenään hyvinkin erilaisia. Pintalämpötilojen mukaan tähdet jaetaan *spektriluokkiin*. Tähtien pintalämpötilan ja valovoiman (absoluuttisen kirkkauden) välinen yhteys voidaan ilmoittaa kuvan 15.1 esittämällä Hertzsprung-Russel -diagrammalla. Taulukossa 15.1 on tähtien spektriluokat.

Kuva 15.1. Hertzsprung-Russel -diagramma. Vasemmasta ylänurkasta oikeaan alanurkkaan laskeutuva yhtenäinen viiva on ns. pääsarja, johon useimmat tähdet kuuluvat. Normaalit jättiläiset ovat tähden kehityksen myöhäisvaiheita, ja useimmat tähdet päätyvät kehityksessään valkeiksi kääpiöiksi. Populaatio II:n tähdet ja kylmät alikääpiöt ovat hyvin vanhoja tähtiä, joita ei ole löydetty siitä osasta Linnunrataa jossa oma aurinkokuntamme sijaitsee. Kefeidi-muuttujat ovat keskeisessä asemassa mitattaessa avaruuden etäisyyksiä.

Taulukko 15.1. Tähtien spektriluokat ja pintalämpötilat

Spektriluokka	Pintalämpötila (K)	Tyypillinen tähti	Tähden väri
W	yli 35 000		sinertävänvalkea
O	35 000		vihertävänvalkea
B	25 000	Rigel	valkea
A	11 000	Sirius, Vega	valkea
F	7 500	Procyon, Kanopus	kellanvalkea
G	6 000	Aurinko, Alfa Centauri	keltainen
K	4 000	61 Cygni, Arcturus	oranssi
M	3 000	Proxima, Antares	punainen
R	2 600		punainen
N	2 300		syvänpunainen
S	alle 2 300		syvänpunainen

Oma aurinkomme on tyypillinen pääsarjan keskivaiheille kuuluva tähti. Tähtien massasta riippuu, mille kohdalle pääsarjaa se sijoittuu. Suurimassaiset tähdet ovat kuumia, kun taas massaltaan pienet tähdet ovat kylmiä. Jättiläiset ja ylijättiläiset ovat tähden kehityksen loppuvaiheita. Muutaman kymmenen miljardin vuoden kuluttua oma Aurinkommekin muuttuu jättiläistähdeksi ja viimeistään silloin on aika etsiä uusi aurinkokunta. Jättiläisiäkin myöhempään kehitysvaiheeseen kuuluvat valkoiset kääpiöt.

Tähden elinikä on suurin piirtein kääntäen verrannollinen sen massa. Tähti viipyy pääsarjalla sitä lyhyemmän ajan mitä suurempi sen massa on. Aurinko pysyy pääsarjalla muutamia kymmeniä miljardeja vuosia, mikä merkitsee sitä että tämän ajan se säteilee suurin piirtein nykyisellä teholla. Sen sijaan esimerkiksi O ja B -luokan tähtien elinikä on vain joitakin miljoonia vuosia. Toisaalta taas pienten punaisten kääpiöiden elinikä on huomattavasti pitempi kuin Auringon.

Auringon läheisyydessä on 16,5 valovuoden säteellä 51 tähteä. Näistä kolme on suuria valkeita tähtiä, kymmenkunta Auringon kokoisia ja kaksi valkeita kääpiöitä. Loput ovat punaisia kääpiöitä. Nämä viitisenkymmentä tähteä eivät suinkaan kaikki ole avaruudessa yksinään: vajaa puolet niistä muodostavat kaksois- tai kolmoistähtiä, niin että 16,5 valovuoden etäisyydellä on itse asiassa vain 39 tutkimuskohdetta. Taulukossa 15.2 on lueteltu eräitä näistä tähdistä.

Taulukkoon ei ole otettu yli kahdeksan valovuoden etäisyydellä olevia punaisia kääpiöitä. Aurinkoa lähinnä oleva Proxima-tähti on punainen kääpiö ja sen elinikä on siten hyvin suuri. Proximan massa on vain kymmenestuhannesosa Auringon massasta. Proxima kiertää kuudentu-

Taulukko 15.2. Aurinkoa lähinnä olevia tähtiä

Tähti	Spektriluokka	Valovoima (Aurinko = 1)	Etäisyys (valovuotta)
Aurinko	G 0	1	—
Proxima	M 5	0,0001	4,28
Alfa Centauri A, B	G 2, K 4	1,1 ; 0,2	4,29
Barnardin nuolitähti	M 5	0,0005	5,97
Wolf 359	M 6	0,0002	7,74
Lalande 21185	M 2	0,005	8,1
Sirius A, B	A 1, F	26 ; 0,008	8,7
Epsilon Eridani	K 2	0,31	10,7
61 Cygni A, B	K 5, K 7	0,06 (A)	11,2
Procyon A, B	F 5, F	5,5 (A)	11,4
Epsilon Indi	K 5	0,17	11,4
Tau Ceti	G 8	0,35	11,8

hannen tähtitieteellisen yksikön eli noin valovuoden kymmenesosan etäisyydellä Alfa Centauria, joka on Auringon suuruusluokkaa oleva kaksoistähti. Alfa Centaurin keskustähti A on hieman Aurinkoa suurempi: sen läpimitta on 1,3 kertaa Auringon läpimitta ja massa 1,1 kertaa Auringon massa. Alfa Centaurin toinen osapuoli, K-luokkaan kuuluva B-tähti, on läpimitaltaan runsas puolet Auringosta. Tähdet kiertävät toisiaan ja A:sta katsoen B on elliptisellä radalla, jonka suurin etäisyys on 40 ja pienin 10 tähtitieteellistä yksikköä. Kiertoaika on 40 vuotta.

Toiset aurinkokunnat

Onko muilla tähdillä planeettoja? Monet uskovat, ettei oma aurinkokuntamme ole suinkaan ainoa aurinkokunta maailmankaikkeudessa. Nykyisen käsityksen mukaan tähdet ovat syntyneet suuresta kosmisesta pilvestä, joka on koostunut vedystä, heliumista ja pienistä määristä muita alkuaineita. Tähtien syntyessä ainetta jää jonkin verran yli ja tämä ylimääräinen aine muodostaisi sitten tähtiä kiertävät planeetat. Spektroskooppisilla mittauksilla on voitu todeta, että O, B ja A -luokkiin kuuluvat tähdet pyörivät hyvin nopeasti: nopeus päiväntasaajan seutuvilla voi olla kymmeniä tai satoja kilometrejä sekunnissa. Spektriluokasta F alaspäin mentäessä pyörimisnopeus on enää luokkaa 10 kilometriä sekunnissa. Pyörimis-

nopeuksien ero on todella huomattava. Kahdella kolmanneksella tähdistä on siten suurin piirtein sama pyörimisnopeus kuin Auringolla. Tarkoittaa kohan tämä sitä, että kahdella tähdellä kolmesta on planeettoja?

Planeettojen pysyminen kaksoistähtiä kiertävillä radoilla riippuu näiden tähtien välisestä etäisyydestä. Alfa Centaurin kummallakin osapuolella voisi olla planeettoja, jos ne olisivat korkeintaan 2–4 tähtitieteellisen yksikön etäisyydellä tähdestä. Kauempana toisen osapuolen vetovoima vaikuttaisi niiden rataa jo liikaa. Proximalla sen sijaan voisi olla planeettoja miltei millä etäisyyksillä tahansa.

Mutta miten saataisiin selville, onko jollain tähdellä planeettoja? Tähän on olemassa ainakin yksi, tosin suurta havaintotarkkuutta edellyttävä keino. Planeetat eivät itse asiassa kierrä tähden keskipisteen vaan tähden ja planeetan yhteisen painopisteen ympäri. Omassa aurinkokunnassamme nämä yhteiset painopisteet osuvat Jupiteria lukuun ottamatta Auringon sisäpuolelle; Jupiterin ja Auringon yhteinen painopiste on noin 50 000 kilometrin etäisyydellä Auringon pinnasta. Saturnus tehostaa ajoittain Jupiterin vaikutusta, niin että kaukainen havaitsija toteaisi Auringon keinahtelevan avaruudessa ikäänkuin se tekisi vähäistä aaltoliikettä.

Tämä kaukainen havaitsija ilmeisesti päättelisi ensin, että Aurinkoa kiertää suuri planeetta elliptisellä radalla. Tarkemmat havainnot viittaaisivat kuitenkin siihen, että Auringon liike johtuukin kahden planeetan yhteisvaikutuksesta.

Jo vuonna 1944 saatiin tarkoilla mittauksilla selville, että kaksoistähteen 61 Cygnis liittyy kolmaskin taivaankappale jonka massa on 15 kertaa Jupiterin massaa suurempi. Eräillä muillakin kaksoistähdillä on todettu olevan tätä suuruusluokkaa olevia seuralaisia. Vuonna 1963 vihdoinkin julkistettiin tieto, jonka mukaan suhteellisen lähellä olevalla Barnardin nuolitähdellä olisi kiertolainen joka on vain 1,5 kertaa niin suuri kuin Jupiter ja jonka rata on elliptinen. Vuoteen 1969 mennessä oli päästy jo niin pitkälle, että kiertolaisia arveltiin olevan kaksi: planeetan A massa olisi 1,1 kertaa Jupiterin massa ja kiertoaika 2,5 tähtitieteellisen yksikön etäisyydellä 12 vuotta, ja planeetan B massa 0,8 kertaa Jupiterin massa ja kiertoaika noin 5 tähtitieteellisen yksikön etäisyydellä 26 vuotta.

Eräät tähtitieteilijät ovat kuitenkin kiistäneet nämä johtopäätökset. Pitkät kiertajat johtuvat Barnardin tähden pienestä massasta, joka on vain viidesnes Auringon massasta. Proximallakin saattaa olla näkymätön seuralainen, jonka massa olisi jonkin verran Jupiterin massaa suurempi.

Kun tähdellä on suuria planeettoja, kai sillä on sitten pieniäkin. Vai onkohan? Tähän saadaan kyllä tulevaisuudessa vastaus.

Irti aurinkokunnasta

Aurinkokunnasta on yllättävän helppo päästä pois. Amerikkalaiset Pioneer-10 ja Pioneer-11 -alukset ovat jo matkalla aurinkokunnan ulkopuolelle. Pioneer-10 tulee Härän tähdistöön noin 11 miljoonan vuoden kuluttua. Nyt on kuitenkin syytä tarkastella, mitä näköpiirissä olevia *nahdollisuuksia* voitaisiin käyttää tähtienvälisten lentojen suorittamiseen hieman lyhyemmässä ajassa.

Ulkoplaneetoille lähetettäneen 1980-luvulla luotaimia, jotka vauhditetaan sähköisillä ajojärjestelmillä. Lentoaika olisi muutamia vuosia. Kohdeplaneetat ohitettuaan luotaimet jatkavat lentoaan palaamatta koskaan takaisin aurinkokuntaan. Jos tällaisella luotaimella olisi ylimääräistä nopeutta 30 km/s, se voisi saavuttaa Alfa Centaurin 43 000 vuoden kuluttua, Barnardin tähden 60 000 vuoden kuluttua ja Epsilon Eridanin 107 000 vuoden kuluttua.

Vauhditukseen on ehdotettu myös ydinräjäytyksiä. Ydinpommin räjähtäessä aluksen takana räjähdysaalto sysää alusta eteenpäin. Kuusikymmenluvun alussa tätä tutkittiin Yhdysvalloissa »Project Orion» -ohjelman puitteissa ja tultiin siihen tulokseen, että menetelmä toimisi. Maan ilmakehässä ydinräjäytyksiä ei tietenkään voida tehdä, mutta tilanne on toinen kaukana avaruudessa. Ydinräjäytyksiin voitaisiin käyttää vetypommeja. Tällaisella *jaksottaisella fuusioraketilla* päästäisiin ominaisimpulssiin 3 000 km/s, jolloin alus saavuttaisi ehkä samaa suuruusluokkaa olevan loppunopeuden. Tällöin lentoaika Alfa Centauriin olisi 430 vuotta, Barnardin tähteen 600 vuotta ja Epsilon Eridaniin 1 070 vuotta.

Jos ydinreaktiossa vapautuva energia voitaisiin *kokonaisuudessaan* käyttää aluksen vauhdittamiseen, päästäisiin tavallisella (Loviisan ydinvoimalan tapaisella) *fissioreaktorilla* ominaisimpulssiin 10 000 km/s. Tällöin aurinkokunnassa tehtävistä matkoista suoriuduttaisiin helposti. Kiihtyvyys-voitaisiin pitää koko matkan ajan tasaisena: puolet matkasta olisi vauhdittamista, toinen puoli hidastamista. Matka Maasta Plutoon kestäisi korkeintaan yksitoista vuorokautta. Mutta silti Alfa Centauriin lähdetessä pitäisi matkaan varata aikaa 100–200 vuotta.

Vety-ytimien yhtymisreaktio, *fuusio*, parantaisi tilannetta jonkin verran jos kaikki fuusiossa vapautuva energia voitaisiin käyttää hyväksi. Ominaisimpulssi olisi silloin 36 000–41 000 km/s, jolloin aluksen loppunopeudeksi voitaisiin ajatella 30 000 km/s eli kymmenesosa valon nopeudesta. Yhden g:n eli maanpinnalla vallitsevaa painovoimaa vastaavalla kiihtyvyydellä loppunopeus saavutettaisiin 35 vuorokaudessa. Tänä aikana alus olisi lentänyt 300 tähtitieteellisen yksikön pituisen matkan. Mahtavia lukuja,

mutta onko niistäkään apua? Lentoaika Alfa Centauriin olisi 43 vuotta, Barnardin tähteen 60 vuotta ja Epsilon Eridaniin 107 vuotta. Fuusioraketilla voitaisiin siten lähettää matkaan luotain, jonka lähettämät tiedot ehtisivät Maahan vielä saman sukupolven aikana. Jos ihmiskunta onnistuu säilymään niin pitkään, että fuusiorakettimoottori ehditään kehittää, on myös todennäköistä että voidaan ryhtyä pitkän ajan avaruushjelmiin, jotka edellyttävät luotaimilta kymmenien tai satojen vuosien lentoa. Mitään käytännön merkitystä ei ole sillä, että esimerkiksi Barnardin tähdestä tulevat tiedot ovat Maahan saapuessaan jo kuusi vuotta vanhoja.

Tässä on kuitenkin tarkasteltu vain lähimpiä tähtiä. Etäämmälle mentäessä lentoajatkin kasvavat. Sirius voitaisiin saavuttaa 87 vuodessa, mutta kirkkaana loistavaan Vegaan suunnattu lento kestäisi jo 264 vuotta. Punainen Arcturus ei ole kovinkaan kaukana – Linnunradan keskusta on tuhat kertaa pitempi matka – mutta lento sinne kestäisi yhtä kauan kuin on kulunut aikaa siitä kun Kolumbus löysi Amerikan. Tällä hetkellä ei tunneta mitään reaktiota, joka tuottaisi energiaa tehokkaammin kuin vetytimien yhtyminen, fuusio. Näillä näkymin ei siis ole toivoa edellä mainittujen matka-aikojen lyhentämisestä.

Sukupolvien matkat

Lentoajoilla ja olinpaikalla ei ole merkitystä enää siinä tapauksessa, kun ihmiset lähtevät matkaan omavaraisilla keinotekoisilla taivaankappaleilla, androselleilla. Tällainen itsenäinen alus voi jäädä Aurinkoa kiertämään tai yhtä hyvin se voidaan suunnata kohti muita tähtiä. Alus voi kuitenkin olla edelleen yhteydessä Maahan, vaikka viestien kulkuun menisikin aikaa viikkoja, kuukausia tai jopa vuosia. Aluksen miehistö – tai paremminkin väestö – antaisi oman osansa ihmiskunnan tieteelliseen tutkimukseen ja kulttuurin kehittymiseen. Sukupolvet seuraisivat toisiaan ja androsellin suljettu biologinen järjestelmä huolehtisi väestön aineellisista tarpeista. Aluksessa olisi ehkä 50 000–100 000 ihmistä; siinä mielessä se olisi samaa suuruusluokkaa kuin antiikin Kreikan kaupunkivaltiot. Androselli voitaisiin rakentaa alun perin jollekin pienelle asteroidille, joka toimisi samalla raaka-ainevarastona. Fuusiovauhditusta käyttäen androselli voisi käväistä suurin piirtein aina yhden sukupolven aikana yhdessä aurinkokunnassa, missä varastoja voitaisiin täydentää. Jos aurinkokunta tuntuu miellyttävältä, androselli voi jäädä sinne pysyvästi, muussa tapauksessa matka jatkuisi kohti jotain toista aurinkokuntaa.

Vielä meidän aikanamme tällaiset suunnitelmat tuntuvat yltiöpäisiltä, mutta ne eivät ole enää haihattelua tulevaisuuden ihmiselle joka hallitsee maailmaansa niin hyvin että pystyy tarkalleen laskemaan taivaankappaleiden liikkeitä. Jo Tsiolkovski ennusti androsellin asukkaiden vapauden valita aurinkokuntansa kirjoittaessaan: »Mahdollisesti he päättävät hylätä Auringon ja lähteä halki avaruuden kohti muita tähtiä. Mahdollisesti ihmiskunta... tällä tavoin tavoittaa muita aurinkoja ja levittäytyy avaruuteen.»

Pelkästään Linnunradan mittasuhteisiin verraten levittäytyminen olisi hidasta: Orionin tähdistössä valkoisena loistavan Rigelin saavuttaminen kestäisi satatuhatta vuotta.

Lähellä valon nopeutta

Valon nopeus näyttää olevan rajanopeus, jota mikään aineellinen kappale ei voi ylittää. Suurilla hiukkaskiihdyttimillä voidaan vauhdittaa pienen pieniä alkeishiukkasia lähes valon nopeuteen. Kun jo alkeishiukkastenkin vauhdittamiseen tarvitaan tällaisia valtavia laitoksia, voidaan vain kuvitella miten hankalaa olisi kiihdyttää avaruusaluksia lähelle valon nopeutta. Edes kooltaan kaksi kertaa Maata suuremmalla ydinreaktorilla ei yhden kilon massalle saataisi nopeudeksi kuin 0,76 kertaa valon nopeus. Fuusioreaktorin hyötysuhde on jonkin verran parempi: käytettäessä vauhditukseen kaksi kertaa Maan massasta saatava fuusioenergia yhdelle kilolle saataisiin nopeudeksi 0,998 kertaa valon nopeus eli lyhyesti 0,998 c .

Tässä ei ole aihetta syventyä pitemmältä suhteellisuusteorian hienouksiin. Mainittakoon vain, että luvussa 4 ilmoitettu klassinen rakettiyhtälö saa suhteellisuusteoriassa muodon

$$(15.1.) \quad \Delta V/c = \frac{(m_0/m_1)^{2v/c} - 1}{(m_0/m_1)^{2v/c} + 1}$$

missä c on valon nopeus,

ΔV on raketin nopeuden muutos

ja v on ominaisimpulssi (= palokaasujen suihkutussnopeus).

Jos koko ajoaine voitaisiin muuttaa fotoneiksi (esimerkiksi valoksi), jotka suunnattaisiin kaasusuihkun tapaan aluksen perästä, lauseke saisi muodon

$$(15.2.) \quad \Delta V/c = \frac{(m_0/m_1)^2 - 1}{(m_0/m_1)^2 + 1}$$

Massasuhteella 2 päästäisiin tällaisella fotoniraketilla nopeuteen $0,6c$, massasuhteella 2,35 nopeuteen $0,9c$. Tämän jälkeen nopeuden lisäys vaatii jo massasuhteen rajua parantamista. Nopeus $0,99c$ edellyttää jo massasuhdetta 100, nopeus $0,999c$ massasuhdetta 1 000 ja niin edelleen. Ja kaiken lisäksi kohdetta lähestyttäessä aluksen vauhti on myös pystyttävä hidastamaan.

Entä miten massa voidaan muuttaa täydellisesti energiaksi, niin kuin fotoniraketissa on tehtävä? Materian ja antimaterian kohdatessa *molemmat muuttuvat säteilyksi*. Ongelmana on nyt se, miten antimateria voidaan säilyttää niin ettei se liian aikaisin pääse kosketuksiin materian kanssa. Mutta vaikka nämä ongelmat joskus ratkaistaisiinkin, ei matka muihin tähtiin ole vielä sillä selvä. Suhteellisuusteorialla on takataskussaan vielä monia yllätyksiä.

Kutistuva aika

Samanaikaisuuden käsite alkaa rakoilla jo lennettäessä Kuuhun. Valon, ja siten myös radiosignaalien, kulku-aika Kuusta Maahan on runsas sekunti: Kuusta saatavat tiedot ovat siten jo tullessaan hieman yli sekunnin verran vanhentuneita. Auringosta tuleva valo on matkallaan ehtinyt vanhentua yli kahdeksan minuuttia ja Alfa Centaurista tulevat tiedot kertovat 4,3 vuoden takaisesta tilanteesta.

Kun nopeus alkaa läheta valon nopeutta, myös ajan kuluminen muuttuu. Ilmiötä sanotaan *ajan hidastumiseksi* ja sitä kuvaa lauseke

$$(15.3) \quad t_s = t_m \sqrt{1 - (V/c)^2}$$

missä t_s on avaruusaluksen aika,
 t_m on aika Maassa,
 V on aluksen nopeus ja
 c on valon nopeus.

Tämän merkitystä voidaan havainnollistaa eräillä esimerkeillä. Oletetaan, että jollain vauhditusmenetelmällä saadaan aikaan pitkäaikainen kiihtyvyys 10 m/s^2 ja lento muihin tähtiin toteutetaan siten, että puolet matkasta alusta kiihdytetään ja toinen puoli jarrutetaan. Taulukossa 15.3 on joitakin tällä järjestelyllä toteutuvia etäisyyksiä ja matka-aikoja.

Taulukko 15.3. Edestakaisia tähtienvälisiä avaruusmatkoja vakiokiihtyvyydellä 10 m/s^2

Edestakainen matka-aika (v)	Saavutettu etäisyys (valovuotta)	Huomautuksia
Aluksessa	Maassa	
1	1,0	0,06 Heliopaus
2	2,1	0,25
5	6,5	1,7
10	24	10 Lähimmät tähdet
15	80	37 Satoja tähtiä
20	270	137
25	910	455
30	3 100	1 560 Useimmat paljain silmin näkyvät tähdet
40	36 000	17 500 Puolimatka Linnunradan keskustaan
50	420 000	208 000 Koko Linnunrata, Magellanin pilvet
60	5 000 000	2 470 000 Andromedan galaksi

Tällä menetelmällä avaruusmatkaaja ehtisi elinaikanaan käväistä mm. Andromedan galaksissa, joka on etäisin paljain silmin näkyvä tähtitaivaan kohde. Mutta hinta tästä matkasta olisi inhimillisesti katsoen kallis. Vierailu lähimmissä tähdissä ei vielä merkitse aluksen ajanlaskussa ja maanpäällisessä ajanlaskussa kovin suurta eroa. Jos matkalle lähtevä kolmikymmenvuotias astronautti jättää kotiin samanikäisen vaimonsa odottelemaan, hän nelikymmenvuotiaana palatessaan tapaa uskollisen Penelopensa viettämässä 54-vuotispäiväänsä. Mutta »viinintummalta mereltä» yli viidentoista vuoden retken jälkeen palaava Odysseus ei enää tapaakaan kotitanihuvillaan sen enempää koiraa, vaimoa kuin poikiansakaan. Lapsenlapsillakin on jo toinen jalka haudassa ja lastenlastenlapset ovat kypsässä keski-iässä. Tällaiselle matkalle lähtevät avaruuslentäjät kaiketi uhraavat lentoon koko elämänsä, sillä jo seitsemän vuoden lentomatkan päässä olevassa kohteessa käväiseminen merkitsee ettei takaisin palatessaan tapaa enää ainuttakaan vanhoista ystävistään.

Onko siellä ketään

Maapallolta on lähtenyt kahdenlaisia viestejä kauas avaruuteen. Pioneer-10 -aluksessa on metallilaatta, johon on kaiverrettu eräitä maapalloa

ja ihmistä koskevia tietoja, ja Arecibon läpimitaltaan 300-metrisellä antennilla on lähetetty Herkuleen tähtikuviossa olevaan Messier-13 nimiseen pallomaiseen tähtijoukkoon 169 sekunnin pituisia radioviestejä. Nämä radiosignaalit tulevat perille 24 000 vuoden kuluttua. M-13 -tähtijoukkoon kuuluu 300 000 tähteä ja mahdollisesti jollakin planeetalla on älyllisiä olentoja, jotka onnistuvat sieppaamaan radiosanoman.

Näillä viesteillä toivotaan voitavan ilmaista mahdollisille muille sivilisaatioille, etteivät ne ole maailmankaikkeudessa yksin. Tutkijat ovat 1960-luvun alkuvuosilta lähtien metsästäneet suurilla radioteleskoopeilla avaruudesta saapuvia älyllisiä viestejä, mutta toistaiseksi tuloksetta. Tämä tutkimus tunnetaan nimellä CETI (Communication with Extra-Terrestrial Intelligences, yhteys maapallon ulkopuolisiin kulttuureihin). Neuvostoliitossa tarkkaillaan jatkuvasti avaruudesta mahdollisesti saapuvia viestejä, muualla radioteleskooppeja käytetään tähän tarkoitukseen vain satunnaisesti. Lännessä ei kaukaisten viestien kuunteluun ole olemassa virallista tutkimusohjelmaa. Eräiden arvioiden mukaan tällainen ohjelma ei kuitenkaan maksaisi enempää kuin Yhdysvaltain lentokonemenetykset Hanoiin yllä joulukuun 1972.

On varsin helppo esittää vakuuttavia perusteluja sille, että emme ole yksin maailmankaikkeudessa. Monilla muilla tähdillä on todennäköisesti planeettoja ja ainakin joillakin näistä planeetoista olosuhteet antavat mahdollisuuden elämän kehittymiselle. Edelleen voidaan olettaa, että joissain tapauksissa kehitys johtaa älyllisiin olentoihin, jotka saattavat luoda teknisen kulttuurin ja kiinnostua yrittämään yhteyksiä maailmankaikkeuden muihin sivilisaatioihin.

Puuttumatta tässä tähän ongelmaan yksityiskohtaisemmin voidaan kuitenkin todeta, että älyllisen elämän mahdollisuudet muualla maailmankaikkeudessa ovat aika suuret. Tällöin kulttuurien kehityksen *samanaikaisuus* on keskeinen tekijä yhteydenpidossa. Nykyisen käsityksen mukaan omassa galaksissamme, Linnunradassa, voidaan arvioida olevan samanaikaisesti *samalle tasolle* kehittyneitä sivilisaatioita määrä

$$(15.4) \quad N = \frac{L}{10}$$

missä L on sivilisaation elinaika.

Jos sivilisaation elinajaksi lasketaan vain sata vuotta, koko Linnunradassa tuskin on montakaan samalla asteella olevaa sivilisaatiota samanaikaisina, vaikka galaksissamme onkin sata miljardia tähteä. Kahden samanaikaisen sivilisaation osuminen alle sadan valovuoden etäisyydelle toisistaan edellyttäisi sivilisaatiolta vähintään miljoonan vuoden elinaikaa. Si-

ten on varsin epätodennäköistä, että aurinkokunnan lähettäviltä löytyisi jokin toinen sivilisaatio. CETI-ohjelman parissa työskentelevät tiedemiehet arvioivatkin, että sivilisaatioiden keskimääräinen etäisyys on tuhannen valovuoden luokkaa.

Yksi asia on kuitenkin varma. Avaruudesta ei kannata odottaa löytyvän *ihmisen kaltaisia* älyllisiä olentoja. Jos joskus päästään kosketuksiin Maan ulkopuolisten sivilisaatioiden kanssa, on syytä heti heittää romukoppaan kaikki tavanmukaiset mielikuvat kauniista tai rumasta niinkuin paljon muustakin. Arthur C. Clarke on asettanut kyseenalaiseksi Raamatun käsityksen, että Jumala loi ihmisen omaksi kuvakseen. Hän on myös huomauttanut, että avaruudesta voi löytyä »apinoita tai enkeleitä, mutta ei ihmisiä». Lajina ihmisen ikä on vain 40 000 vuotta, kirjoitettua historiaa on vasta viidentuhannen vuoden ajalta ja teknistä kulttuuria on ollut vasta runsaan sadan vuoden ajan. Tähtienvälinen yhteydenpito on ollut ihmiselle periaatteessa mahdollista vain kymmenen vuoden ajan. Viisikymmenluvun lopun ja kuusikymmenluvun alun tutka- ja radiosignaalit ovat edenneet vasta lähimpien tähtien etäisyydelle, tuskin tämä meidän »kosminen me-lumme» sen kauempana on kuultavissakaan.

Kahden samalla kehitysvaiheella olevan sivilisaation sattuminen 10–20 valovuoden etäisyydelle toisistaan on erittäin epätodennäköistä. Joillakin aurinkokunnan lähellä olevien tähtien planeetoilla saattaa olla elämälle niin otolliset olosuhteet, että niillä on voinut kehittyä (tai ehkä joskus kehittyä) tähtienvälisestä viestinnästä kiinnostunut sivilisaatio. Mutta on mahdotonta tietää, onko tämä sivilisaatio ehkä ollut olemassa jo silloin kun maapallolla oli vasta jättiläisliskoja. Todennäköisesti jo sadantuhannen vuoden aikaero sivilisaatioiden kehityksessä estää yhteydenpidon: naapuraurinkokunnissa kehittyvä elämä pääsee tekniseen vaiheeseen mahdollisesti vasta sitten, kun ihmisestä on jäljellä vain fossiileja.

Jos innokkaat avaruuden viestien metsästäjät sattuvat sieppaamaan älyllisiä signaaleja jostain suhteellisen lähellä olevasta aurinkokunnasta, on heillä ollut onnea enemmän kuin kukaan olisi uskaltanut toivoakaan.

Onko meillä käyty

Homo sapiens terrestris -lajia pitempään eläneet älylliset olennot ovat ehkä ratkaisseet tähtienvälisten avaruusmatkojen ongelmat ja alkaneet tutkia vieraiden aurinkokuntien planeettoja. Näin voidaan ainakin ajatella. Mutta kuinka suuri on mahdollisuus, että he olisivat sattuneet löytämään Maan?

Linnunradassa on sata miljardia tähteä. Nämä oletetut vierailijat ehkä alkaisivat tutkia vain Auringon kaltaisia tähtiä – niitä on Linnunradassa noin miljardi kappaletta. Mahdollisuudet alkavat näyttää pieniltä. Ja jos vielä otamme huomioon, että sivilisaatioiden elinaika L rajaa voimakkaasti samanaikaisuuden sattumaa, UFO-olentojen vierailut Maassa tuntuvat yhä epätodennäköisemmiltä.

Tätä ongelmaa voidaan valaista esimerkillä. Tämän kirjoittajalle eräs mieluisa tarkastelun kohde on Kassiopeian tähtikuvio, joka on syyskesällä erittäin hyvin näkyvissä korkealla tähtitaivaalla. Alfa Centaurista katsottaessa tähän W-kirjaimen muotoiseen tähtikuvioon tulisi yksi lisäsakara – ylimääräinen tähti, jonka kirkkaus olisi samaa luokkaa kuin tähtikuvion muiden tähtien kirkkaudet. Tämä ylimääräinen tähti olisi Aurinko. Tällainen melko mitätön tähti on oma Aurinkomme lähimmästä naapurista katsottuna. Kymmenen valovuoden etäisyydeltä tarkasteleva havaitsija ei enää yhdistäisi Aurinkoa mihinkään tähtikuvioon. Sadan valovuoden päästä Aurinkoa ei enää edes näkyisi paljain silmin.

Kirkkaana ja kuuttomana yönä taivaalla on paljain silmin havaittavissa noin kolmetuhatta tähteä. Sen lisäksi taivaalla erottuu myös vaalea valovyö, jonka muodostavat Linnunradan lukemattomat tähdet. Mutta silti siinäkin ei ole näkyvissä kuin pieni osa Linnunradan tähdistä: jonkin tietyn tähden etsiminen tästä tähtimyllerryksestä tuntuu aika toivottomalta.

Maassa on kyllä voinut olla vieraita aiempien »hiljaisten» vuosimiljoonien aikana. Mahdollisesti jonkin supersivilisaation tietokoneen muistissa on tiedot aurinkokunnastamme ja ehkä paikallinen avaruushallinto on tehnyt päätöksen: tuon keltaisen tähden aurinkokunnassa pitäisi käväistä tutkimusmatkalla entistä useammin – jopa kerran sadassatuhanessavuodessa. Viime kerralla apinat näyttivät jo pyrkivän pystyasentoon.

Ilmakehässä havaitaan monia mielenkiintoisia valoilmioita, mutta se joka ei ole nähnyt UFO:a tuskin on kovinkaan kiinnostunut tarkkailemaan jatkuvasti, mitä ilmakehässä tapahtuu. Useimmat UFO-havainnot voidaan pienen pohdinnan jälkeen todeta IFO:ksi eli tunnistetuksi lentäväksi kohteeksi (Identified Flying Object). Erilaisten mahdollisuuksien luettelo olisi sivun, parin mittainen.

Tällä hetkellä ei itse asiassa tiedetä, ovatko tähtienväliset matkat lainkaan mahdollisia. Ihmiskunnan kannalta paljon riippuu CETI-yhtälössä olevasta sivilisaation elinajasta L. Ja L taas riippuu meistä itsestämme. Ensimmäisen kerran historiansa aikana ihminen on onnistunut saamaan yleiskuvia koko maapallosta. Ihmiskunnan pitäisi pystyä ratkaisemaan – ja ratkaisemaan nopeasti – lukuisia suunnattomia ongelmia. Historialli-

sessä mielessä aikaa on vähän, ilmeisesti vain 20–30 vuotta. Ellei näitä kiireellisiä ongelmia ratkaista ajoissa, ei enää millään muillakaan ongelmilla ole merkitystä. Mahdollisuudet pyrkiä joskus tähtiin riippuvat ihmisen omasta tahdosta ja halusta, harkinnasta ja kyvystä tarttua elämisen jatkuvuutta uhkaaviin ongelmiin.

Vanhan kiinalaisen sanonnan mukaan »pisinkin matka alkaa ensimmäisellä askeleella». Matkalla kohti tähtiä on ensin ratkaistava eloonjäämisen yhtälö niin, että elinaikaa kuvaava tekijä L tulisi mahdollisimman suureksi. Se on ensimmäinen askel.

Kuva 15.2. Ihmisen viesti avaruuteen. Jos vieraat sivilisaatiot osaavat tulkita Arecibon jättiläisantennilla v. 1974 lähetetyn viestin, he näkevät tämän kuvan. Siinä annetaan tietoja aurinkokunnasta ja ihmisestä.

Skylab-asema valokuvattuna Apollo-yhteysaluksesta. Kuvassa näkyvät uusittu lämpösuoja rungon päällä ja aurinkokennot — toinen runkoon kiinnitetty aurinkopaneeli irtosi lähdössä.

Skylab-ohjelma: miehistöt lähetettiin avaruuteen Saturn-IB-raketilla muunnetulta Saturn-V-alustalta.

Ihminen Kuussa: Apollo-12-astronautti kantamassa Kuun pinnalle asennettavaa automaattista mittausasemaa ALSEPia.

Saturn-V tuodaan kuljetus- ja lähtöalustallaan ulos asennusrakennuksesta, joka on 135 m korkea, kaksi kertaa niin korkea kuin Helsingin Stadionin torni. Näitä rakennelmia tullaan käyttämään myös Yhdysvaltain Sukkula-alusta varten.

Avaruussanastoa

ablaatiojähdytys	lämpösuojausjärjestelmä jossa kuumuus haihduttaa suojattavan kappaleen pintakerrosta ja haihduttamiseen kuluva energia siirtyy pois haihdutteen mukana.
ajoaine	se osa raketista joka suihkutetaan ulos jotta syntyy reaktio.
ajovaihe	avaruuslennon vaihe jossa aluksen nopeutta muutetaan rakettimoottorin avulla.
apogeum	Maata kiertävällä satelliittiradalla se piste jossa tekokuu on kauimpana maanpinnasta. Aurinkoa kiertävillä radoilla vastaava piste on apheli ja yleisesti apoapsis .
asennonsäätö	avaruusaluksen asennon tarkistukseen tarkoitettu ohjaustoiminta joka ei vaikuta aluksen rataa.
astronauttiikka	suomalaiselta nimeltään avaruustoiminta.
aurinkopaneeli	valokennojen peittämä levy joka muuttaa auringon säteilyenergian avaruusaluksen tarvitsemaksi sähköenergiaksi. Aurinkopaneelit pidetään aurinkoa kohti suunnattuina auringonetsijöiden ja ohjausmoottorien avulla.
aurinkosynkroninen rata	sellainen rata jolla tekokuu ylittää kunkin maapallon seudun samaan kellonaikaan.
aurinkotuuli	auringosta sinkoutuneiden hiukkasten muodostama virtaus.

avaruuskerho	epämääräinen journalistinen nimitys niistä maista jotka ovat lähettäneet maata kiertäviä satelliitteja.
avaruustoiminta	avaruusalalla tapahtuva toiminta, sekä tutkimus että taloudellinen hyödyntäminen.
avaruustutkimuksen ja-osto	Suomen ainoa virallinen avaruuselin, toimii Suomen Akatemian tieteen keskustoimikunnan alaisena.
Avaruustutkimusseura	Suomen Avaruustutkimusseura ry on avaruusalalan tiedemiesten ja harrastajien yhdistys. Julkaisee Avaruusluotain -lehteä.
Baikonur	Neuvostoliiton avaruuslentokeskus (Kazahstanissa).
ballistinen rata	sellainen suunnilleen paraabelin muotoinen rata jota ilmaan heitetty tai ammuttu kappale seuraa.
CETI	lyhennys sanoista Communication with Extraterrestrial Intelligence, yhteydenpito vieraisiin sivilisaatioihin.
COSPAR	Committee on Space Research, eri maiden avaruustiedemiesten yhteisjärjestö.
delta-v (Δv)	nopeudenmuutos ajovaiheen aikana.
Dopplerin ilmiö	liikkuvan lähteen lähettämän säteilyn taajuuden muuttuminen.
ekliptika	Auringon näennäinen vuotuinen rata.
ellipsi	soikea käyrä jonka muotoisia ovat tekokuiden radat maapallon ympärillä.

ESA	European Space Agency, Euroopan avaruusjärjestö syntyi 1975 ESRO n (European Space Research Organisation) ja ELDO n (European Launcher Development Organisation) yhtyessä.
EVA	avaruuskävely, lyhennys sanoista Extra Vehicular Activity.
fissio	atomiytimien halkeaminen.
fotoni	valohiukkanen, valokvantti.
fuusio	atomiytimien yhtyminen.
g-voima	kiihtyvyyden aiheuttama painovoiman kaltainen voima.
galaksi	suuri tähtien muodostama järjestelmä. Meidän galaksiamme sanotaan Linnunradaksi .
geosynkroninen rata	sellainen rata jolla tekokuu näyttää pysyttelevän paikallaan päiväntasaajan yläpuolella. Radan korkeus on 36 000 km ja kiertoaika 24 tuntia.
gravitaatio	taivaankappaleiden välinen vetovoima.
hapetin	aine joka ylläpitää kemiallisen palamisreaktion. Muodostaa yhdessä polttoaineen kanssa kemiallisen raketin ajoaineen.
Hohmannin ellipsi	energialtaan edullisin siirtorata ympyräradalta toiselle.
hydratsiinit	typen ja vedyn yhdistelmiä joita käytetään raketien polttoaineena.

hypergoli	ajoaineyhdistelmä joka syttyy itsestään kun aineosat joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa.
hyötysatelliitit	satelliitteja joita käytetään hyödyntämistarcoituksessa, esim. navigointiin, viestintään tai säätiedusteluun.
IAF	International Astronautical Federation, Kansainvälinen astronautiikkaliitto, eri maiden avaruusjärjestöjen yhteiselin.
Intelsat	länsimaiden viestintäsatelliittijärjestö.
Interkosmos	itäblokin maiden avaruustutkimusjärjestö.
interplanetaarinen	planeettainvälinen. Vastaavasti interstellaarinen , tähtienvälinen.
Intersputnik	itäblokin maiden viestintäsatelliittijärjestö.
joni	atomi joka on menettänyt (tai saanut ylimääräisiä) elektroneja ja on siksi sähköisesti varattu.
kaasukehä	kaasujen muodostama kehä joka ympäröi taivaankappaletta. Maapallon kaasukehää sanotaan ilmakehäksi .
kaukokartoitus	avaruudesta tai luotausraketista suoritettava kartoitusta.
kohtaaminen	avaruusalusten saattaminen lähekkäin samalle radalle telakointia varten.
kosmodromi	avaruusalusten lähetyspaikka, voi tarkoittaa myös yksityistä lähtöalustaa.
kryogeeninen ajoaine	ajoaineyhdistelmä jossa yksi tai molemmat aineosat ovat kaasuja huoneenlämmössä.

luotain	toista taivaankappaletta tai avaruutta tutkimaan lähetetty automaattialus.
luotausraketti	raketti joka lähetetään tekemään tutkimuksia ilmakehän yläosiin.
lähtöikkuna	ajanhetki jolloin on mahdollista lähettää avaruusalus määrättyä tehtävää suorittamaan, esim. toiselle planeetalle.
magnetohydrodynamiikka	tieteenhaara joka tutkii magneettisten kenttien ja sähköisesti johtavien kaasujen, nesteiden ja plasmojen vuorovaikutuksia.
magnetometri	magneettikentän voimakkuuden mittauslaite.
magnetosfääri	taivaankappaleen magneettikentän vaikutusalue.
maskoni	taivaankappaleen, esim. Kuun, pinnan alta löydetty massatiivistymä.
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallinto.
ohilento	vieraan taivaankappaleen tutkimistapa jossa luotain ei asetu kiertoradalle.
ominaisimpulssi	rakettimoottorin tehokkuuden mitta, synnytetty työntövoima ajoainekiloa kohti.
painottomuus	vapaan putoamisen yhteydessä esiintyvä tila jossa painovoiman vaikutus ei ole aistittavissa.
pakonopeus	nopeus joka tarvitaan aluksen lähettämiseen taivaankappaleen pinnalta sen painovoiman vaikutusalueen ulkopuolelle.

perigeum	satelliittiradan matalin piste. Aurinkoa kiertävillä radoilla vastaava piste on periheli ja muita taivaankappaleita kiertävillä periaapsis . Vrt. apogeum.
plasma	materian neljäs olomuoto jossa on jonisoituneita atomeja ja elektroneja.
polttoaine	aine joka yhtyessään hapettimeen kehittää lämpöä.
pysäköintirata	väliaikainen matala kiertorata jolta avaruusalus nostetaan korkeammalle tai lähetetään toiselle taivaankappaleelle.
radankorjaus	avaruusaluksen pieni nopeudenmuutos joka saa sen lähemmäksi haluttua lentorataa.
staattinen koe	rakettimoottorin tai kokonaisen raketin paikallaan suoritettu koepoltto.
sukkula	monikertakäyttöinen avaruusalus maanpinnan ja kiertoradan välistä liikennettä varten. Kiertoratojen välistä monikertakäyttöistä alusta kutsutaan hinuriksi .
telakointi	avaruudessa samalla radalla olevien avaruusalusten yhteenliittäminen.
telemetry	kaukomittaus, mittaustietojen siirtäminen avaruusaluksesta maahan radion avulla.
transponderi	yhdistetty radiovastaanotin ja -lähetin joka avaruusaluksessa vahvistaa saapuneen signaalin ja välittää sen eteenpäin.
tähtitieteellinen yksikkö	pituudenmitta, lyhenne AU. 1 AU = Maan radan säde = 149,6 milj. km.

valovuosi

pituudenmitta. 1 valovuosi = valon vuodessa kulkema matka = $9,5 \cdot 10^{12}$ km.

vuorovesi-ilmiö

taivaankappaleen pintaosien säännöllinen nousu ja lasku joka aiheutuu toisten taivaankappaleiden vetovoimasta.

ydinparisto

avaruusaluksen energialähde jossa radioaktiivisen hajoamisen energiaa muutetaan sähköksi.

Toimittaja Juhani Westman Cape Kennedystä takanaan lähtörakennelma 39 A ja Apollo 15.

Olemme kirjoittaneet tämän kirjan juuri teille, nuoret ja vanhat, jotka haluatte seurata avaruuden valloitusta. Älkää jääkö syrjään jännittävistä hetkistä! Katsokaa iltataivaan poikki kiitäviä tekokuita ja muistakaa että ihminen on aloittanut tähtiä tavoittelevan matkansa jonka lopputulosta ei kukaan pysty näkemään.

Heikki Oja, filosofian tohtori, Helsingin yliopiston tähtitieteen laitoksen amanuenssi.

Avaruuden valloitus on kiehtonut ihmismieltä jo antiikin ajoista lähtien, aluksi satiiristen kirjoitelmien ja tieteistarinoiden aiheena, nyt päämääränä joka on yhä lähempänä saavuttamistaan.

KOHTI TÄHTIÄ antaa selkeän kuvan avaruustoiminnasta sekä mielenkiintoista tietoa avaruustutkimuksen jo saavutetuista tuloksista, avaruustekniikan kehityksestä, avaruuslentoista, tulevaisuuden tähtienvälisestä matkailusta ja koko avaruustoiminnan näyttämisestä, äärettömästä maailmankaikkeudesta.