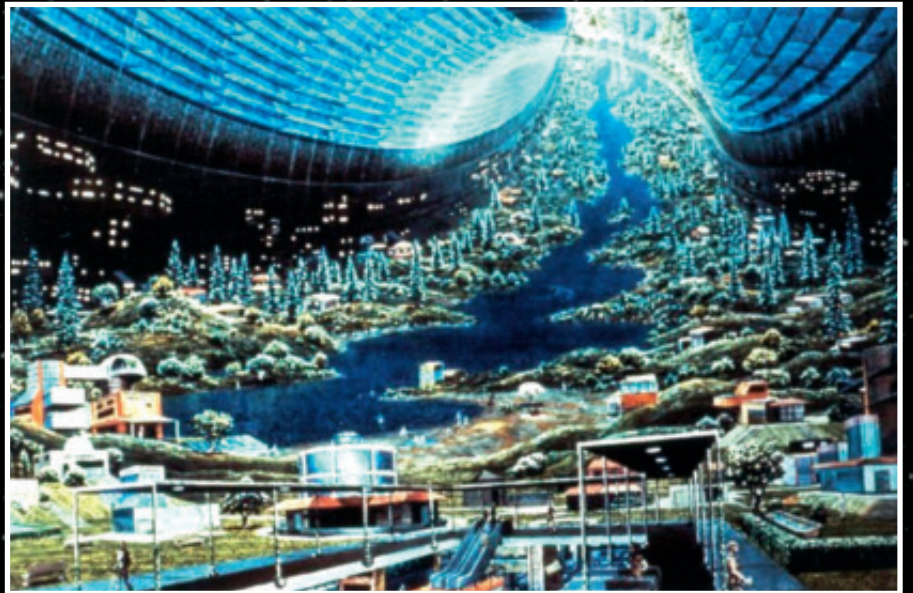


HANNU TANSKANEN
NASA/JPL-Caltech, kuvat

Numerossa 18/2004 kerroimme maailmanlopun ennustuksista. Tällaisia tuomiopäivän skenaarioita voisivat olla esimerkiksi jättimäisen asteroidin törmäys Maahan, Auringon räjähdys, Auringon peittävä avaruuden pölypilvi tai kasvihuoneilmion karkaaminen käsistä. Tällaisen uhan alla meidän olisi pakko lähteä ulos avaruuden ulapoille uuden kodin etsintään.



Pako avaruuteen

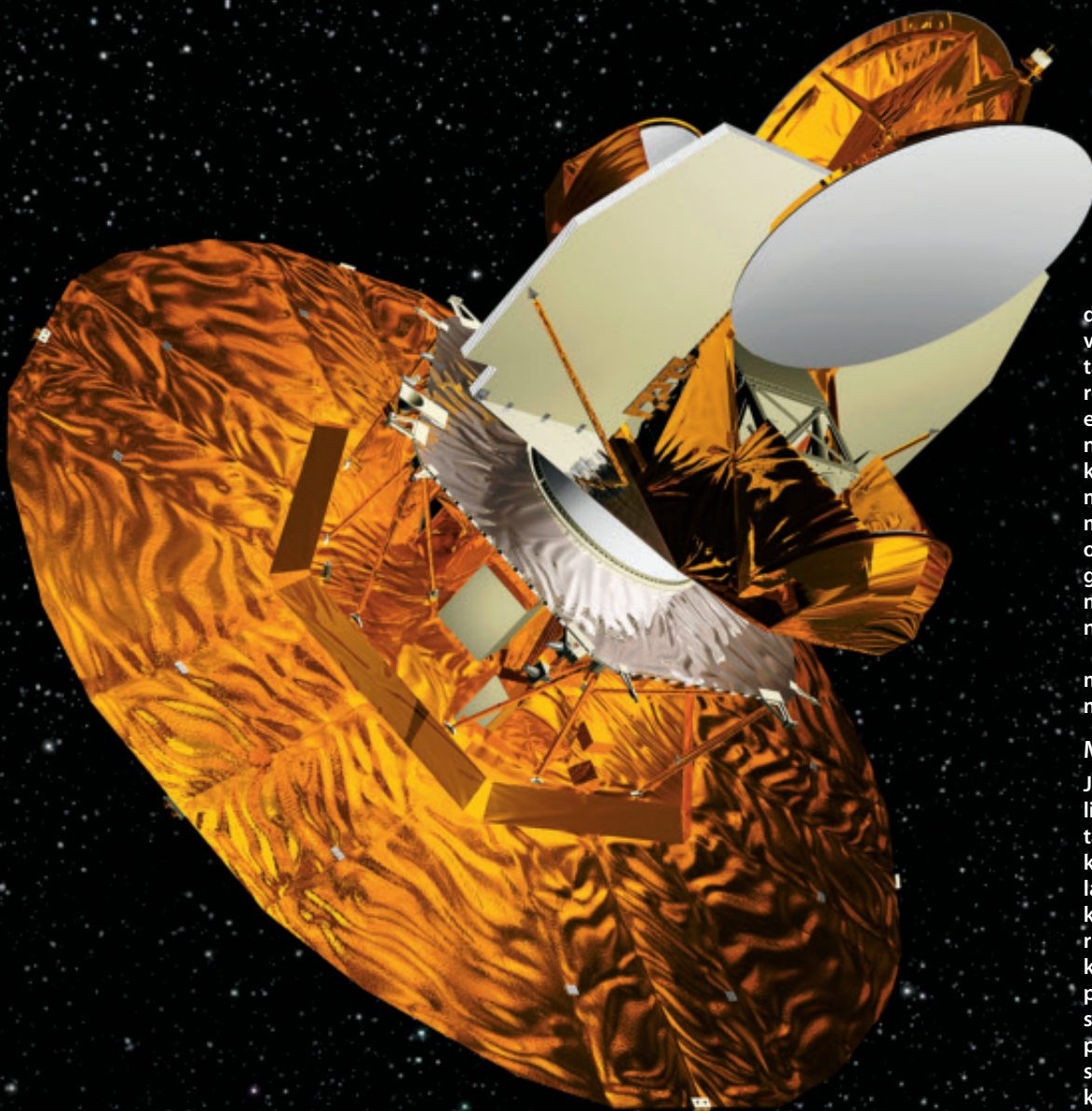
Voisiko ihmiskunta selvitä katastrofista?

Pohdittu on – joskin vasta enimmäkseen tieteistarinoissa – kuinka pääsisimme pakoon, jos väistämätön tuho uhkasi maapalloamme. Pakoretkelle pääsisi tietysti vain häviävän pieni osa ihmiskuntaa, mutta se voisi kuitenkin pelastaa lajin.

Stanfordin yliopiston tutkija Norman Sleep kollegoineen arvioi, mitä halkaisijaltaan 500-kilo-

NASAN taiteilijan näkemys tulevaisuuden suurkaupungin kokoisesta avaruussiirtokunnasta joko Kuun tai Maan kiertoradalla avaruuden stabiileissa Lagrange-pisteissä L4 ja L5.

IHMISKUNTA lähdössä uuden kotiplaneetan etsintään vuonna 2100? Näkymä taakse jäävään aurinkokuntaamme voisi olla vaikkapa tällainen. Kuvassa on taiteilijan näkemys WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) -satelliitista, joka mittaa lähiavaruuden niin sanotussa Lagrangen L2-pisteessä universumin mikroaaltotaustasäteilyä.



metrisen asteroidin – sekin siis vain kahdeskymmenesviidesosa maapallon halkaisijasta – törmäyksessä tapahtuisi maapallolle.

Ensinnäkin: unohdetaan kaikki torjuntatoimet, koska niitä ei tämänkokoisen taivaankappaleen suhteen yksinkertaisesti ole. Asteroidien keskitiheydelläkin tällainen pienen planeetan kokoinen kivipallo painaa 20 triljoonaa eli 20 x 10 potenssiin 18 kiloa.

Suurinkin ydinpommi, jonka voimme aikaansaada, on tulitikon raapaisu sen mahtavan massan vieressä.

Maapalloon törmätessään asteroidi kaivaisi 1 500 kilometrin kokoinen ja ainakin 50 kilometriä syvän kuopan. Valtava määrä kiveä höyrystyisi jättimäiseksi tulipaloksi, joka leviäisi nopeasti planeetan ympäri, syrjäyttäisi ilmakehän ja loisi globaalin polt-

touunin. Pintalämpötila hyppäisi yli 3 000 asteeseen, jolloin kaikki Maan meret kiehuisivat kuiviksi, ja kivi sulaisi miltei kilometrin syvyyteen. Kun musertava kivihöyryn ja ylikuumentuneen höyryn kaasukehä jäähtyisi hitaasti muuttaman kuukauden mittaan, maanpinnalle alkaisi sataa sulia kivipisaroihin.

Kuluisi peräti tuhat vuotta, ennen kuin normaali sade alkaisi uu-

delleen. Siitä käynnistyisi 2 000 vuoden kaatosade, josta ajan mittaan muodostuisivat uudet meret, ja planeetta alkaisi paluunsa eräänlaiseen normaalitilaan. Sanomattakin on selvää, ettei minikäänlaisella elämällä, edes kilometrien syvyydessä meressä tai maaperässä elävillä bakteereilla, olisi mahdollisuutta selvitä hengissä tästä helvetistä, vaan törmäys hävittäisi elämän koko planeetaltaamme.

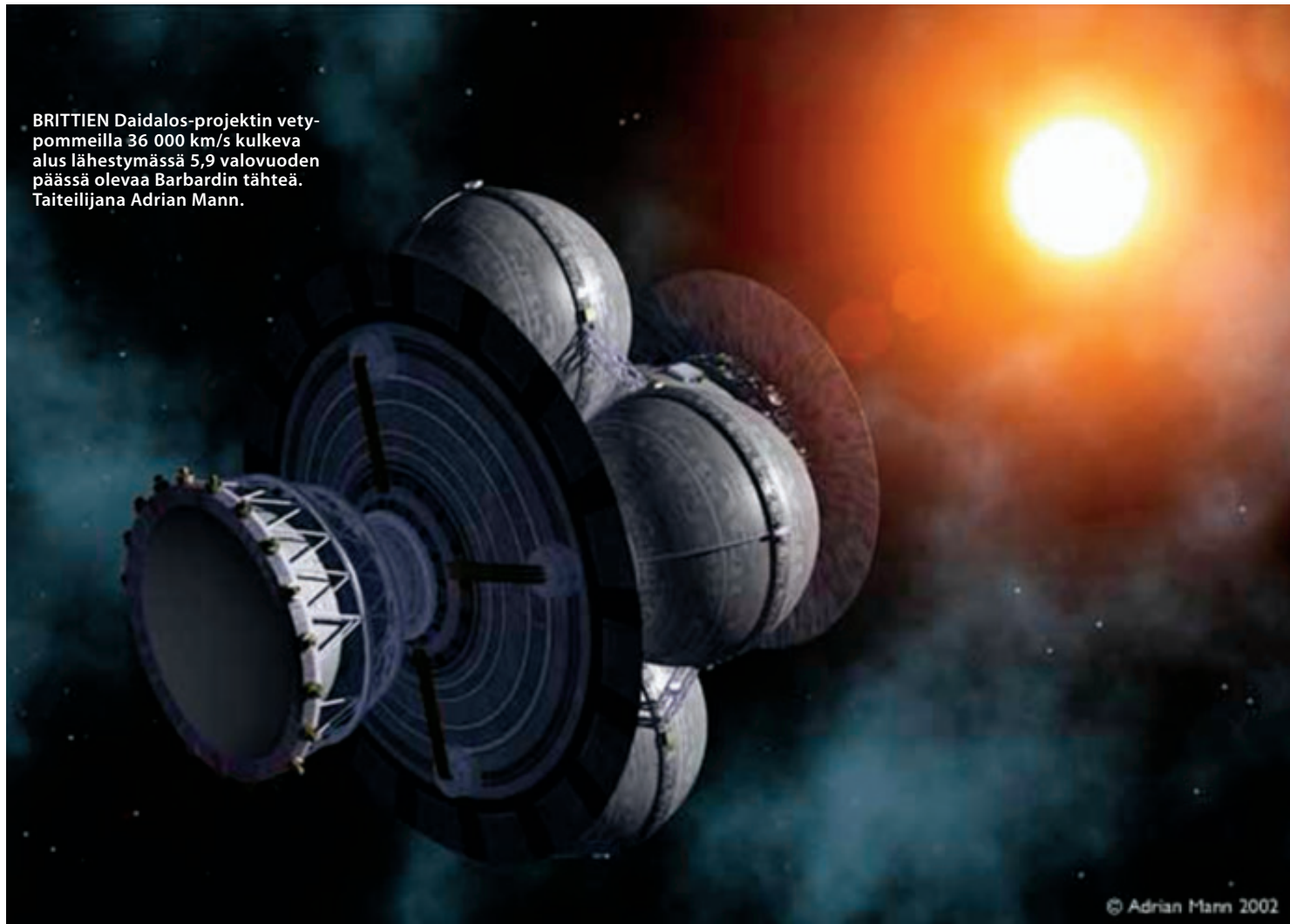
Pako avaruuteen ennen törmäystä olisi ihmiskunnalle ainoa mahdollisuus selviytyä.

Mars Marsiin!

Jos vain maapalloa uhkasi totaaliuho, olisi aurinkokunnassa käytännöllisesti katsoen kaksi paikkaa, jonne voisimme paeta, ja jollaiseen matkaan jo nykyteknikkamme äärimmilleen venytettynä riittäisi. Lähin olisi luonnollisestikin oma kuumme ja toinen Mars-planeetta. Venuksessa, joka on suurin piirtein saman matkan päässä, mutta vastakkaisella suunnalla kuin Mars, on vaikea kuvitella kenenkään viihtyvän. Vaikka Venus on melko tarkalleen Maan kokoinen ja painovoima siis kotoinen, sen pinnan reilu 400 asteen lämpötila ja kaasukehän 90-kertainen paine olisivat liikaa innokkaimmallekin saunojalle.

Merkurius, joka on vielä lähempänä Auriinkoa, on Kuun kaltainen ilmakehätön metallisulatto. Sinkki-järvet saattaisivat olla kauniita, mutta meidän hiilen monimutkaisiin orgaanisiin yhdisteisiin pohjautuvalla elämänmuodollamme ei olisi sinne menemistä. Planeetat Marsin ulkopuolella puolestaan

BRITTIEN Daidalos-projektin vety-pommeilla 36 000 km/s kulkeva alus lähestymässä 5,9 valovuoden päässä olevaa Barbardin tähteä. Taiteilijana Adrian Mann.



© Adrian Mann 2002

ovat umpijäätyneitä kaasupalloja tai sitten Jupiterin lo-kuun **Danten** helvettiä läheisesti muistuttavia sulan rikin maailmoja.

Matka Kuuhan on astronomisesti katsoen pistäytyminen kulman taakse, eikä tuohon vajaaseen 400 000 kilometriin edes kuusikymmenluvun alkeellisella tekniikalla mennyt kuin kolme päivää. Painovoima on miellyttävä, se on kuudennes Maan painovoimasta, joten hyppylajien harrastajat saattaisivat arvostaa 30 metrin korkeudella keikkuvaa seiväsrimaa. Kuussa ei oikeastaan ole muuta huonoa kuin se, ettei siellä ole ilmaa eikä todistetusti vettäkään. Tämä ei kuitenkaan hieinan nykypäivää kehittyneemmällä tekniikalla kenties olisi ylikäymätön ongelma, koska ilma ja vesi voitaisiin viedä sinne Maasta.

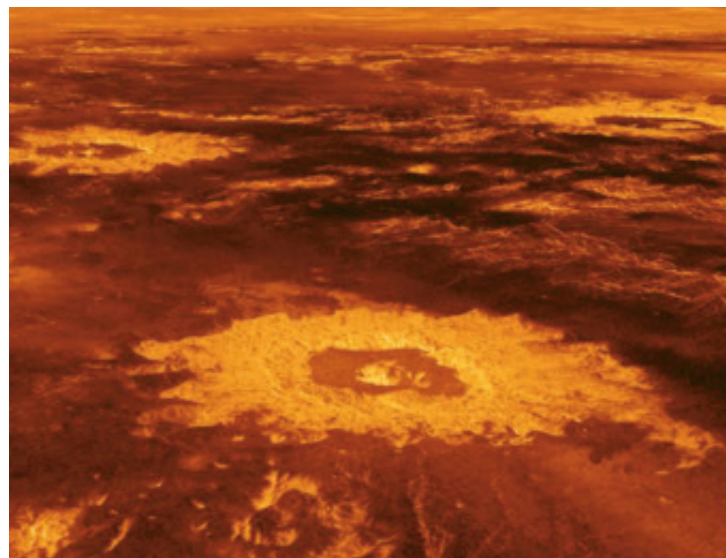
Mars on hivenen miellyttävämpi ympäristö, päiväntasaajalla lämpötila voi keskikesällä nousta jopa nollan yläpuolelle. Kaasua on kuitenkin kovin vähän ja sekin hengitettäväksi kelpaamatonta. Mutta vettä – asiasta aletaan olla jo lähes varmoja – on planeetan pinnan alla, mikä asuttamisen kannalta on ratkaisevan tärkeää. Matka Marsiin vain on perin pitkä vielä nykyisellä rakettitekniikalla. Kun tukisukkia tarvitaan jo At-



VENUS on planeettana kaunotar avaruudesta katsoen. Se on lähes täsmälleen maapallon kokoinen, mutta Venuksen pinnan todellisuus muistuttaa paratiisin sijaan sen vastakohtaa. Lämpötilassa, jossa lyijy sulaa ja Maahan verrattuna lähes satakertaisessa kaasukehän paineessa auringonvalon siniset osat pidätyvät ja jossa keskipäivälläkin pinnalla on oranssinkarvainen hämy. Auringon läheisyys ja kaasukehän paksuus tekevät Venuksesta ihmiselle sopimattoman paikan. Kuva on luotaimen ottama tutkakuva Lavinia Planitian alueesta.

lantin ylityksen vajaaseen kymmeneen tuntiin, mitä sanoisikaan isoäiti puolen vuoden istumisesta Mars-avaruuslaivassa?

Itsenäiset avaruussiirtokunnat niin sanotuissa Lagrangen pisteissä ovat yksi mahdollisuus. Italialaisranskalainen matemaatikko **Joseph Louis Lagrange** todisteli aikanaan,



että muun muassa Maa-Kuu-systeemissä on kokonaista viisi kohtaa, jonne sijoitettu kappale pysyy paikallaan ajalehtimatta ympäri universumia. Tarkasti ottaen kuitenkin vain kaksi näistä on todella stabiileja. Muissa kolmessa pisteessä asukaan varomaton henkäisy suistaisi maailman sijoiltaan.

Lagrange-siirtokuntia ihmiskunnan pelastamiseksi – ”koska koko lajimme tuhoavan keinotekoisien mikro-organismien kehittyminen laboratorioissa on vain ajan kysymys” – esitti myös **Stephen Hawking** vuonna 2001. Monet alan tiedemiehet katsoivat kuitenkin Hawkingin eksyneen tällä kertaa pätevy-

tensä ulkopuolelle.

Jos avaruuden pilvi peittäisi Auringon?

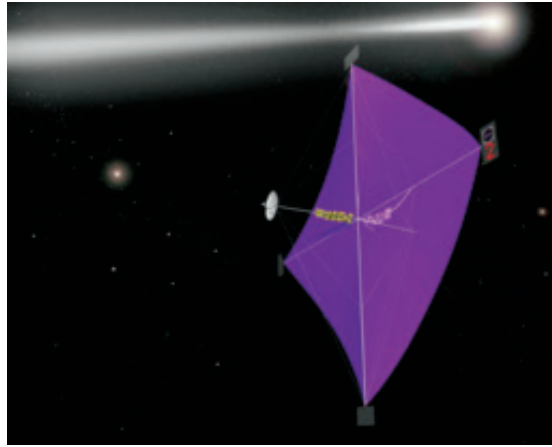
Oletetaan, että Auringollemme tahtahtaisi jotain dramaattista ja saisimme tästä vihjeen hieman aikaisemmin, esimerkiksi vuosisata tai pari etukäteen. Yksi vaihtoehto olisi Auringon pimeneminen. Koska mikään vallitseva teoria ei ennusta Auringon noin vain sammahdavan, kenties ulkoapäin tullut musta aukko nielaisi sen ja "pimeys laskeutuisi vetten päälle". Tämä ei kuitenkaan tunnu kovin uskottavalta.

Uskottavampi skenaario olisi brittiläisen kosmologin ja tieteiskirjailijan **Sir Fred Hoyle**n *Musta Pilvi* -tieteisromaanissaan esittämä auringonvalon sulkeva avaruuden pölypilvi, jonka läpi aurinkokunta kulkisi. Hoyle teki pilvestään vieläpä älykkään, ja se saatiin suosiolla siirtymään pois Aurinkomme edestä, kun sille kauniisti puhuttiin. Mutta oletetaan, että pilvemme olisi aivan tavallinen ja niin suuri, että sen läpi kulkeminen silläkin parinsadan kilometrin sekuntinopeudella, jolla systeemimme porhaltaa avaruuden halki, veisi muutaman vuosisadan.

Kun Auringon meille antama reilun kilowatin teho neliömetrille lakkaisi tulemasta, täällä tulisi varsin pian kylmää. Ensin jäähtyessä muodostuva pilvimassa pidättäisi lämpöä, sitten se sataisi alas vetenä ja lumena muutaman viikon, kenties kuukauden, minkä jälkeen jäähtymisen nopeutuisi olennaisesti lämmön säteillessä avaruuteen.

Ennemmin tai myöhemmin saavutettaisiin parin sadan asteen pakkakanen, ja silloin sataisi alas ja jäätyisi myös itse ilmakehä. Jo nykyisellä tekniikalla pystyisimme kuitenkin kaivautumaan Maan kuoreen, ja geotermistä lämpöä riittäisi vuosituhansiksi. Lämpö on osin peräisin planeettamme syntyajoilta, osin se on maankuoren radioaktiivisten aineiden, kuten kalium 40:n ja muiden radionuklidien hajoamisenergiasta syntynyttä.

On selvää, että valtaosa ihmiskunnasta ja biosfääristä tuhoutuisi, jos ei aivan heti kylmään, niin viimeistään elintarvikkeiden loppumiseen. Elinkeelpoinen populaatio saattaisi kaikki nykytekniikan keinot käyttäen kuitenkin selvittää tämän pitkän supertalven yli. Jos kysymys siis olisi tilapäisilmästä, ei olisi mitään syytä lähteä pois maapalloltamme. Ahdistusta tosin saattaisi herättää se, ettemme tietäisi pilven kokoa; jos sen reuna olisikin vasta valovuosien päässä...



AURINKOPUR-JETTA on ehdotettu ilman polttoainetta toimivaksi kuluneuvoksi avaruudessa. Kuvassa taiteilijan näkemys Halley'n komeettaa lähestyvistä NASA:n New Millennium Program -ohjelman ST-7 Solar Sailista.

Jos koko aurinkokunnasta pitäisi paeta?

Jos sen sijaan meidän pitäisi lähteä karkuun koko aurinkokunnastamme, olisivat hyvät neuvot todella tarpeen. Koko avaruudessa liikkumisen tekniikkamme perustuu **Isaac Newtoniin**, jonka teorian mukaan "jotain on heitettävä pois, jotta saamme reaktion, joka liikuttaa laivaamme". Ja tämän materian, ajoaineen, määrä on parhaimmillaankin rajattu.

Ajoainetta nostamalla rakettsuihkun nopeutta voidaan säästää, eli kun pakosuihkun nopeus nostetaan kaksinkertaiseksi, saadaan nelinkertainen potku. Tällaiseen pääsemme vaikkapa kuumentamalla vetyä ydinreaktorilla kemiallisen palami-

sen sijaan tai kiihdyttämällä sähköisesti varattuja kaasuatomeja sähkökentällä, niin kutsutulla ioniraketilla. Jalokaasu xenon on aika tavallinen ioniraketin ajoaine. Rakettin Isp, niin sanottu impulssi nousee.

Edelleen voidaan muutaman kymmenen vuoden aikajänteellä saada laivalle lisänopeutta aurinkokunnasta irtautumiseen Jupiterin ja Saturnuksen linkovoimalla, ja tietyillä radoilla kannattaa kiertää Aurinkokin.

Jättilaneettojen painovoiman lisäksi on teoreettisesti mahdollista irrottaa hyödyllistä liike-energiaa niiden pyörimisliikkeestä lieka (tether) -satelliiteilla. Kun kaksi satelliittia, jotka kiertävät erikorkuisilla radoilla, yhdistetään sähköä johtavalla

kaapelilla, syntyy planeetan ionosfääriin läpi liikuttaessa sekä sähköä että sähkömagneettista momenttia. Esimerkiksi Maan ympärillä olevassa magneettikentässä eli magnetosfääriässä saadaan näin 20 kilometrin kaapelilla aina 40 kW sähkötehoa.

Tämä teho ei kuitenkaan tule ilmaiseksi, vaan satelliittien rata vajoaa alemmaksi, jolloin voidaan siis jarruttaa ja tehdä ratamuutoksia ilman raketteja. Erikoiseksi ilmiö tulee Jupiterin ionosfääriässä, jossa liekasatelliittia voidaan paitsi jarruttaa, myös kiihdyttää tällä voimalla "ilmaiseksi".

Jupiterin mahtavan massan pyörimisliikkeen energian hyödyntämisestä siihen, että pääsemme lentämään ulos aurinkokunnasta, ei voida paheksua. Vaikka se sinkauttaisi koko ihmiskunnan ulos syvään avaruuteen, me tuskin pystyisimme mittaamaan pyörimisliikkeen hidastumista. Mutta sitten onkin edesämme ulappa, johon airomme ovat aivan liian pienet. Mikä neuvoksi?

Aurinkolaivalla avaruuden syvyyksiin?

Rakettien lisäksi on kovin vähän reaalisia mahdollisuuksia taittaa talvalta avaruudessa. Unohdetaan avaruuskiikhyttimet, poimuajot ja madonreiät, koska ne kuuluvat toistaiseksi Star Trek -satuihin tai Scifiin.

On esitetty, että niin sanottu ava-

Avaruussiirtokuntia Lagrange-pisteisiin

■ **JOSEPH-LOUIS Lagrange**, 1700-luvulla elänyt italialais-ranskalainen matemaatikko, laski paikan viidelle erityiselle pisteelle, jossa kahden suuren massan lähellä oleva pienempi massa pysyisi vakaasti paikoillaan.

Vain kaksi näistä pisteistä, L4 ja L5, ovat todella stabiileja. Coriolis-voima palauttaa kuriin niistä karkaamista yrittäneen, kun taas kolmessa muussa tarvitaan aika-ajoin ratakorjauksia. Coriolis-voima on se, joka täällä Maassa saa esimerkiksi ilman pyörimään hurrikaaneissa.

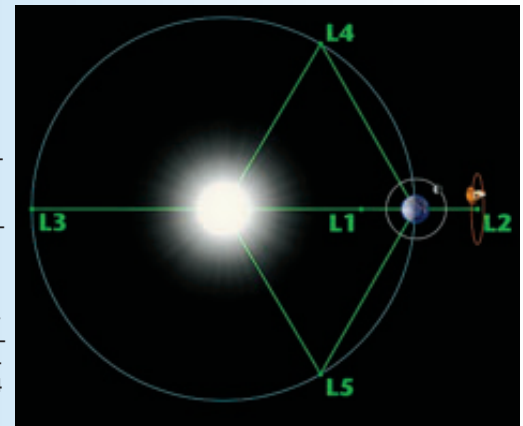
Ehtona L4- ja L5-pisteiden stabiiludelle on, että suurten massojen painosuhte on vähintään 24,96. Tämän ehdon täyttävät aurinkokunnassamme muun muassa parit Maa ja Kuu sekä Aurinko ja Maa. Tulevaisuuden jättimäisiä avaruussiirtokuntia satoine tuhansine asukkaineen on kaavailtu juuri näihin L4- ja L5-pisteisiin joko Kuun tai Maan kiertoradalle.

Myös kolme muuta pistettä ovat mielenkiintoisia. Pisteessä L1 kelluu muun muassa auringontutkimussatelliitti SOHO (Solar and Heliospheric Observatory Satellite) ja pisteessä L2 avaruuden mikroaaltotaustasäteilymittaava WMAP-satelliitti (Wilkinson

ITALIALAIS-RANSKALAINEN matemaatikko Joseph-Louis Lagrange laski 1700-luvulla paikat nimeään kantaville avaruuden pisteille Aurinko-Maa (tai Maa-Kuu) -systeemissä, jonne viety kappale pysyy paikoillaan gravitaatiokenttien risteyksessä. Avaruussiirtokuntien edullisimpia sijoituspaikkoja ovat pisteet L4 ja L5, jotka ovat stabiileja. L1:ssä sijaitsee Aurinkoa tutkiva SOHO-satelliitti ja L2:ssa taustasäteilymittaava WMAP. Pisteessä L3 on väitetty olevan Maan kaksoisplaneetta, Lagrange kuitenkin osoitti sen mahdottomaksi jo yli 200 vuotta sitten.

Microwave Anisotropy Probe). L2-pistettä on harkittu myös uuden polven avaruusteleskoopin sijaintipaikaksi. L1- ja L2-pisteissä olevien satelliittien asemaa joudutaan korjaamaan noin 23 päivän välein.

Pisteelle L3, joka on täsmälleen vastakkaisella puolella Aurinkoa kuin Maa, ei ole toistaiseksi keksitty hyötykäyttöä,



mutta se on innoittanut pitkään tieteilijöitä, joiden spekulatioiden mukaan siellä sijaitsee Maan kaksoisplaneetta. Se, että Lagrange jo yli 200 vuotta sitten todisti tämän olevan mahdotonta, ei häirinnyt näitä "visionäärejä". Ohjaaja **Edgar G. Ulmer** teki aiheesta elokuvan *The Man from Planet X*.

HALKAISIJALTAAN satojen kilometrien kokoinen asteroidi tuhoaisi kaiken elämän Maan päältä ja tekisi planeettamme elinkelvottomaksi vuosituhansiksi. Voisimmeko odotella Maan toipumista Kuussa tai Marsissa?



ruuspurje voisi olla todellinen ratkaisu. Idea pohjautuu fyysikko **James Clerk Maxwellin** vuonna 1871 esittämään teoriaan, jossa fotonien, massattomien valon hiukkasten, impulssi puskisi eteenpäin hyvin kevyttä purjetta.

Valopurjeen teoreetikot esittävät, että Maan etäisyydellä Auringon säteilyenergian vuo, $1\,370\text{ W/m}^2$, aiheuttaisi 0,8 g neliömetriltä painavalle, täysin valon absorboivalle eli pidättävälle mustalle purjeelle paineen, joka pitäisi sen tasapainossa Auringon vetovoiman kanssa riippumatta purjeen etäisyydestä Auringosta.

Neliökilometrin kokoiseen purjeeseen kohdistuisi Maan etäisyydellä Auringosta vain noin yhdeksän newtonin eli alle yhden kilopondin voima, ja ohuinkin tämän kokoinen purje painaa ilman tukirakenteita useita tonneja. Suurella heijastavalla purjeella voitaisiin kuitenkin saada kappaleelle kiihtyvyys pois päin Auringosta ja aikaa myöten huimia loppunopeuksia.

Purjeen pitäisi olla todella valtavan kokoinen. Teoreettiset laskelmat

Kvanttimoottori – energiaa tyhjästä

■ ENERGIAN nappaaminen tyhjiöstä voi ensi kuulemalta vaikuttaa ufojutulta, mutta ajatuksen takana on huomattava joukko huipputiedemiehiä. Asia liittyy olennaisesti yhteen kosmologian suurista arvoituksista.

Maailmankaikkeudesta nimittäin puuttuu suuri määrä massaa, jota teoria suuresta alkuräjähdyksestä ja sitä seuranneesta laajenevasta universumista edellyttää. Lasketaan, että materiaaliset kappaleet, tähdet, planeetat ja muut niin kutsuttua kylmää massaa edustavat kappaleet ovat tästä vain noin 23 prosenttia ja irralliset atomit noin 4 prosenttia, loppu 73 prosenttia kuuluu kategoriaan ”pimeä energia”.

Tyhjiöenergian esiintymisen todisti kokeellisesti ensimmäisenä hollantilainen **Hendrik B.G. Casimir** Philipsin tutkimuslaboratoriossa 1948. Tässä nyttemmin Casimir-efektiksi kutsutus-

sa ilmiössä kaksi toisiaan hyvin lähelle, vain muutamien atomin mittojen päähän asetettua varauksetonta metallilevyä kehittävät välillään vetovoiman. Ilmiö selitetään sillä, että kapea rako estää eräiden kvanttivärähtelyjen aallonpituudet. Tämän vuoksi levyjen välissä on vielä tyhjempää kuin tyhjiössä, mikä aiheuttaa ulkopuolisen kvanttipaineen levyihin.

Myöhempiä tutkimuksia aiheesta ovat tehneet muun muassa japanilainen **Shinichi Seike** vuonna 1969, **H.D. Froning** McDonnell Douglasilla 1979–80 ja **Robert L. Forward** Hughesin tutkimuslaboratoriossa 1984. Teoriaa ovat pohtineet sellaisetkin teoreettisen fysiikan suurmiehet kuin **John Wheeler** ja hänen oppilaansa **Richard Feynman**, joka sai jaetun fysiikan Nobelin vuonna 1965.

osoittavat, että jos haluttaisiin käyttää valopurjetta tähtienväliseen matkailuun, tarvittaisiin valonlähteeksi Auringon sijaan laser, jonka ener-

giantarve olisi suurempi kuin koko maapallollamme energiantarve. Lisäksi sen peilin halkaisijan pitäisi olla yhtä suuri kuin Maan halkaisija!

Avaruuspurjetta aiotaan kokeilla avaruudessa, vaikka viime vuosina monet arvostetut fyysikot ovat kritisoineet voimakkaasti avaruuspurjeen toimintaperiaatteita.

Fotonien heijastuessa purjeesta ei synny lämpötilaeroa, ei entropiaa lämpöopin toisen pääsäännön mukaan, eikä silloin myöskään pitäisi saada hyödynnettävää energiaa valosta purjeen työntämiseksi. Muun muassa Cornellin yliopiston professori **Thomas Gold** ja Haydenin Planetaarion johtaja **Steven Soter** kiistävät ilmiön. Goldin mukaan vain valon absorboiva musta purje voisi edes teoriassa toimia, mutta siinäkin energiaa saataisiin vain niin kauan kuin koko purje on saavuttanut saman lämpötilan. Ohuella purjeella tämä veisi vain sekunteja.

Valopurjeen tapaisen idean esitti aikoinaan jo **Johann Kepler** 1700-luvun alkuvuosina. Kepler arveli, että pyrstötähtien pyrstö muodostui juuri valopaineella. Voidaan olettaa myös Auringon hiukkastuulen, noin 700 kilometriä sekunnissa syöksyvien protonien, vedyn ydinten, aiheuttavan painetta, mutta fyysikko

Ratkaisu polttoaineongelmaan:

Bussardin patopainemoottori

■ VAIKKA meillä olisi avaruuslaivassamme käytännössä loppumaton energianlähde, fuusioreaktori tai peräti antimateriamoottori, ongelmaksi nousee pitkän päälle aina ajoineen loppuminen. Pelkällä energialla ei nykyfysiikan mukaan avaruudessa edetä, eli reaktiivoiman aikaansaamiseksi on jotain aina "heitettävä" pois. Ja jos polttoaineesta jo menoon kuluu 90 prosenttia, voi jarrun painaminen päätepisteessä olla ongelma – paluusta puhumattakaan.

Kiisteltyä avaruuspurjetta lukuun ottamatta on tiettävästi esitetty vain yksi ainakin periaatteessa tunnettuihin fysiikan lakeihin mahtuva menetelmä, Bussardin Ramjet, jossa ajoineen loppumisen ongelma olisi ratkaistu. Menetelmän isä on amerikkalainen fyysikko **Robert W. Bussard**, joka esitti teoriansa vuonna 1960.

Jos unohdetaan kvanttipuurot ja katsotaan oikein tarkkaan, avaruus ei olekaan aivan tyhjä materiaasta, vaan siellä kelluu vetyatomeja keskimäärin parisen kappaletta kuutiokesäntissä. Bussard pohdiskeli, että jos nämä ve-

tytomit aluksen edessä voitaisiin riittävän suurella haavilla pyydystää fuusion polttoaineeksi, nopeuden lisäystä ja matkaa voitaisiin jatkaa rajattomasti.

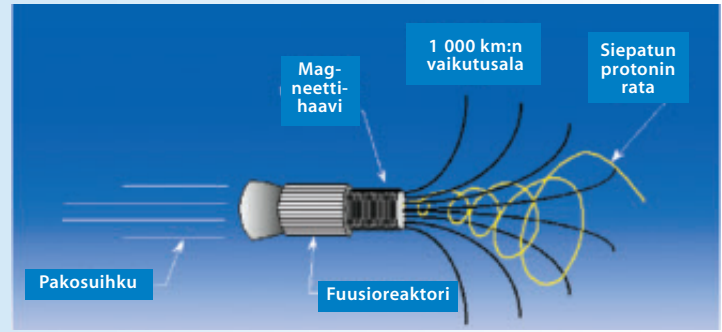
Kuten ei ilmakehässä liikkuva patopainemoottori, ei Bussardin avaruusmoottorikaan ala toimia, ennen kuin varsin huima alkunopeus on ensin saavutettu jollain muilla keinoilla. Laskelmien mukaan nopeuden on oltava yksi prosentti valon nopeudesta, siis noin 3 000 km/s. Tällöin teorian mukaan "haavin" on oltava todella iso, noin 50 000 kilometrin kokoinen.

On selvää, ettei tällainen fyysinen rakenne ole mahdollinen, mutta Bussard spekuloikin mahtavasta sähkömagneettisesta kentästä aluksen ympärillä, joka sieppaa vetyatomit moottorin nieluun. Bussardin moottorin impulssi olisi periaatteessa rajaton, kattona olisi vain valon nopeus.

Jos Bussard-alus käyttäisi matkustajien kannalta mukavaa 1 g:n (9,8 m/s²) kiihtyvyyttä, olo olisi kotoinen, ja "vain" 20 vuotta kiihdyttämällä oltaisiin linnunradan keskustassa. Einsteinilainen aikadilatatio eli ajan hidastuminen no-

peuden kasvaessa aiheuttaisi kuitenkin sen, että ystäville Maassa olisi sanottava hyvästit, sillä Maan kellojen mukaan matka kestäisi useita satoja tuhansia vuosia.

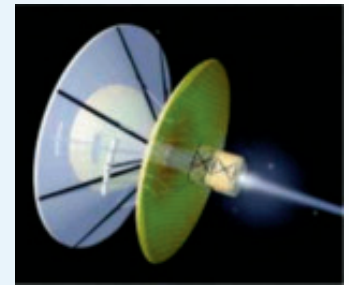
Vaikka siis jonkinlaisia tieteellisiä perusteita Bussardin laivalle olisikin, se säilyy vielä pitkään vain tieteiskertomusten mausteena. Oivallisia scifarinoita ovat aiheesta kirjoittaneet ainakin **Poul Anderson (Tau Zero)** ja **Larry Niven (A World Out Of Time)**.



KAAVIOKUVA Robert W. Bussardin Ramjet-moottorista avaruusmatkoille. Kilometrien kokoinen alus haalisi sähkömagneettikentällä ionisoimiaan syvän avaruuden harvoja vetyatomeja fuusiopolttoaineekseen aina 50 000 km:n alueelta. Alus voisi kiihdyttää nopeuttaan rajattomasti aina lähelle valonnopeutta ja saavuttaa linnunradan keskustan vain 20 vuodessa.

peuden kasvaessa aiheuttaisi kuitenkin sen, että ystäville Maassa olisi sanottava hyvästit, sillä Maan kellojen mukaan matka kestäisi useita satoja tuhansia vuosia.

Vaikka siis jonkinlaisia tieteellisiä perusteita Bussardin laivalle olisikin, se säilyy vielä pitkään vain tieteiskertomusten mausteena. Oivallisia scifarinoita ovat aiheesta kirjoittaneet ainakin **Poul Anderson (Tau Zero)** ja **Larry Niven (A World Out Of Time)**.



Viacheslav Koblikin mukaan tämä on vain tuhannesosa valon aiheuttamasta paineesta. Koblik on tuttu suomalaisille alan harrastajille, sillä hän teki avaruuspurjeesta väitöskirjan Turun yliopiston Tuorlan observatoriossa vuonna 2003.

Valopaineeseen perusti teoriansa myös ruotsalainen **Svante Arrhenius** vuonna 1906 kuuluisuutta saaneen panspermia-teoriansa avaruuden läpi seilaavista elämän itiöistä.

Äärimmäisen heikon valopaineen kokeellinen toteaminen viivästy i aina vuoteen 1900, jolloin venäläinen **Peter Lebedev** todisti sen täsmälleen Maxwellin teoreettisesti ennustaman suuruusena. Kokeet toisti onnistuneesti 1902 myös amerikkalainen **Ernest Fox Nichols**.

Virtuaalihiukkasilla avaruuden ääriin?

Kvanttifysiikka lupaa meille uusia uskomattomia energianlähteitä, joiden rinnalla ydinvoimakkin vaikuttaa taskulampulta. Nykyisin puhutaan yhä useammin niin sanotusta tyhjiöenergiasta. Nykykäsitteiden mukaan avaruuden tyhjiö ei suinkaan ole tyhjää täynnä, vaan se pitää sisällään kvanttivaatua, jossa hurjana kiehuvat energiat synnyttävät joka hetki virtuaalihiukkasia. Ne "lainaavat" energiansa jostain ja maksavat sen takaisin häviämällä seuraavassa sekunnin tsiljoonasosassa.

Jos tämä energia pystyttäisiin valjastamaan, riittäisi tavallisen hehku-

lampun kuvun sisältämä tyhjiö kiehauttamaan valtameret kuiviin. Näin ainakin uskoo **Arthur C. Clarke**, astronomi ja scifin vanha sotaratsu.

Vakavat fyysikot pudistavat taas surullisina päätään. Tyhjiö- eli nollapiste-energian – jos sitä ylipäättään löytyy – määrää kuvaavaan termiin täytyy miinuspotenssin perään liittää kolminumeroinen luku. Aivan merkityksetön ei asia kuitenkaan ole, muun muassa Stephen Hawking pohtii, että virtuaalihiukkasit voisivat päästä karkaamaan jopa mustan aukon kurimuksesta. Siten nekin haihtuisivat aikaa myöten, kun olisi kulunut ehkä kymmenen potenssiin sata vuotta. Ei siis aivan huomispäivän huolia!

Uskomattominta asiassa on, että on esitetty tutkimus, jossa tätä energiaa todellakin on voitu eristää pieniä määriä.

Olemmeko aurinkomme vankeja?

Me olemme aurinkomme vankeja, ainakin nykyisin näköpiirissä olevan tekniikan puitteissa. Vaikka saisimmekin rakennuttua avaruuslaivan, jolla pääsisimme pois aurinkokunnastamme, laiva olisi 4,3 valovuoden päässä olevaan lähimpään aurinkokuntaan suuntautuvaan matkaan suhteutettuna kuin hiljaa kelluva lastu valtameren toisella laidalla.

Pari viime vuosina tehtyä ehdotusta kannattaa silti ottaa esiin. Alun perin Yhdysvalloissa fyysikko **Free-**

man Dysonin 1958–65 vetämään Orion-projektiin pohjautuva brittien Daidalos käyttäisi lähteenään pieniä pieniä vetypommiträjähdysä.

Valopurjetta kokeillaan jo tänä vuonna?

■ CORNELLIN yliopiston professori **Thomas Gold** sai keväällä 2004 aikaan laajan debatin tiedemiesten parissa väitteellään, ettei valopurje voi toimia, koska se rikkoo fysiikan peruslakeja. Goldin entinen oppilas, yksityisen amerikkalais-venäläisen Cosmos 1 -projektin johtaja **Louis Friedman** luonnollisesti kiisti tämän ja sanoi Goldin sokevan vanhaa termodynamiikkaa kvanttifysiikkaan.

Cosmos 1 -projekti aikoo vielä tänä vuonna ampua pyöreälle, 800 kilometrin korkuiselle kiertoradalle avaruudessa kokeiltavan valopurjeen. Laukaisuun käytetään sukellusveneestä Barentsinmereltä ammuttavaa entistä Neuvostoliiton mannertenvälistä Volna-ohjusta.

Purje koostuisi kahdeksasta 14-metrisestä kappaleesta alumiinotua Mylar-kalvoa, ja sen kokonaispinta-ala olisi 600 m². Kalifornian Jet Propulsion Laboratory aikoo myöhemmin kokeilla Cosmos-purjeen paimentamista mikroaaltoäteilyllä joko maasta tai satelliitista käsin.

Gold todistelee homman mahdottomuutta Crookesin radiometrillä. Englantilainen kemisti ja fyysikko **Sir William Crookes** rakensi nimeään kantavan laitteen jo 1800-luvulla.

Suunnitelma kaatui jo siihen, ettei kukaan vielä ole esittänyt toimivaa tennispallon kokoista fuusiopommiä. Puhtaasti teoriassa tällainen he-

Crookesin radiometrissä on lasikuputyhjiöön laitettu erittäin herkästi pyörivä kevyt roottori, jonka akselilla on pystyssä neljä metallilevyä, joiden toinen puoli on peilitetty ja toinen musta. Kun roottoriin suunnataan valo, se alkaa hiljaa pyöriä. Se ei kuitenkaan pyöri niin, että mustat pinnat kulkisivat edellä, kuten pitäisi tapahtua, jos fotonien impulssi työntäisi peilipinnasta heijastuessaan kaksinkertaisesti mustaan pintaan absorboitumiseen verrattuna, vaan juuri päinvastoin.

Siitä, mikä Crookesin radiometrin pyörimisen aiheuttaa, on kiistelty reilun vuosisadan ajan, ja jopa itse **Albert Einstein** otti osaa keskusteluun.

Valopurjeuskovaisten ja -uskottomien kiista menee puoliksi ainakin siinä, että laskelmien mukaan valo ei missään tapauksessa voi aiheuttaa riittävää voimaa pyörimiseen. Todennäköisin selitys tälle voimalle on mustapintaisten levyjen edessä olevien lämpenevien kaasumolekyylien paine, riittävän suuressa tyhjiössä ilmiötä ei pitäisi esiintyä.

Tulee olemaan erittäin mielenkiintoista nähdä, mitä tapahtuu, kun valopurje ensimmäisen kerran levitetään avaruudessa.

Liekasatelliitit – avaruuskulkuneuvo ilman polttoainetta

■ SATELLIITTIIEN ratakorjauksiin kuuluu paljon korvaamatonta polttoainetta. Se rajoittaa niiden elinikää matalilla LEO-radoilla, jotka ovat Maan kiertoratoja 350–1 400 kilometrin korkeudessa.

Tyypillisesti 200 kilometrin korkeudella radalla oleva satelliitti jarruntuu, eli sen nopeus hidastuu siellä vielä olevien vähäisten ilmamolekyylien takia ja tuhoutuu alempaan ilmakehään pudotessaan muutamassa päivässä, 400 km:n korkeudessa kiertävä muutamassa kuukaudessa ja 1 000 kilometrissä oleva noin 2 000 vuodessa.

Esimerkiksi 360 kilometrin radalla kiertävä kansainvälinen avaruusasema ISS tarvitsee lasketun kymmenen vuoden ikänsä aikana 77 tonnia polttoainetta vain ratakorkeudellaan pysyttelemiseen. Yksin tämän polttoaineen rahtaminen ISS:lle maksaa halvimman arvon mukaan lähes miljardi euroa.

Tether- eli liekasatelliitit ovat innovaatio, jota on jo vuoden 1967 Gemini 11:n lennosta alkaen kokeiltu matalilla Maan kiertoradoilla. Se ei vaatisi raketivoimaa ollenkaan alaspäin tuloon ja selviäsi huomattavasti raketia vähäisemmällä energialla radalla pysymisessään tai radan korkeammaksi korjaamisessa.

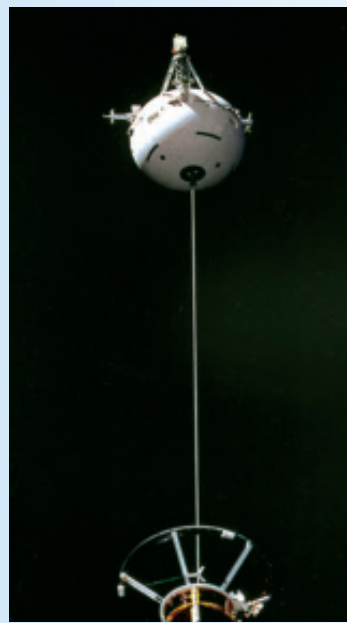
Ilmiö perustuu siihen, että kun kaksi eri korkeudella mutta samalla rata-

tasolla kiertävää satelliittia yhdistetään sähköä johtavalla kaapelilla, yhdistelmä toimii kuin generaattorin ankkuri kehitetyn sähkövirran satelliittien välille, kun se lentää Maan sähköisesti varatun ionosfäärin magneettikentän voimaviivojen läpi.

Tämä voima ei ole mitenkään vähäinen. Matalan kiertoradan noin 7,5 km/s nopeudella 20 kilometrin pituinen kaapeli kehittää sähköenergiaa noin 40 kW. Jos tämä energia hyödynnetään, jarruntuu satelliittien yhdistelmä, ja jos sähköä päinvastoin syötetään kaapeliin, kasvaa satelliittien ratanopeus.

Sähkö saadaan esimerkiksi aurinkokennoista, ja suljettu piiristä tulee sähköä johtavan ionosfäärin kautta. Ionosfääri on Auringon hiukkastuulen ionisoima osa atmosfääriä. Energia tähän kaikkeen tulee Maan pyörimisliikkeestä, joka hidastuu, mutta maapallon mahtavan massan ja liikemomentin takia hidastumista ei pystytä edes mittamaan.

Muille planeetoille mentäessä voidaan jarruttaa ilman raketteja niiden ionosfäärissä. Toisin kuin maapallolla, Jupiterin ionosfääri jatkuu sen GEO-radan (88 500 km) yläpuolellakin, minkä ansiosta Jupiterin magneettikentässä voidaan liekasatelliittia jarruttaa GEO-radan alapuolella ja kiihdyttää sen yläpuolella hyödyntäen Jupiterin pyörimisliikettä. GEO-rata on se korkeus, jolla satelliitti päiväntasaajatasossa pysyy



NASAN hahmottelema Terminator Tether. Kun satelliitin elinikä tulee täyteen, siitä purkautuu 50-metrinen sähköä johtava kaapeli, joka liekasatelliitin periaatteella jarruttaa sitä Maan magnetosfäärissä. Lopuksi se syöksyy alempaan ilmakehään ja palaa poroksi eikä siten jää haitalliseksi avaruusrojuksi kiertoradalle.

paikallaan Maahan nähden.

Kun tavallisissa satelliiteissa planeetan painovoima, gravitaatio ja keskipakovoima ovat tasapainossa sen painopisteessä, asetuu systeemin painopiste liekasatelliittiparissa niitä yhdistävän kaapelin puoliväliin. Tällöin ylemmän satelliitin keskipakovoima tulee painovoimaa suuremmaksi ja alemman painovoima keskipakovoimaa suuremmaksi, mikä synnyttää satelliitteja erilleen vetävän voiman, joka puolestaan pitää kaapelin kireänä.

Tähän perustuu niin sanottu avaruushissi. Pisimmät avaruudessa kehitellut lieat ovat olleet 20 kilometrin pituisia, tällaisia olivat muun muassa NASA:n SEDS-2 ja TSS-1R.

NASA hahmottelee liekasatelliittiperiaatteen käyttöä Terminator Tetherissä. Avaruudessa alkaa olla jo erilaisia rojua kiusaksi asti, kuten toimintansa lopettaneita satelliitteja ja raketien viimeisiä vaiheita. "Terminator" olisi jokaiseen satelliittiin lisättävä puola, joka satelliitin täytettyä tehtävänsä purkautuu siitä 50-metrinen, johtavasta aineesta tehdyn kaapelin, joka liekasatelliitin periaatteella jarruttaisi satelliittia, kunnes se syöksyisi ilmakehään ja tuhoutuisi. Näin saataisiin vaikkapa tuo tuhannen kilometrin korkeudella radalla pari vuosituhatta pysyvä satelliitti eliminoitua alle kuukaudessa.

lium 3-tritium-pilleri kenties voitaisiin räjäyttää suuntaamalla siihen suuri määrä voimakkaita lasersäteitä. Tällaista apulaitteineen korttelin-kokoista systeemiä vasta kokeillaan fuusioreaktion tutkimuksissa.

Niin kutsuttu Bussardin avaruuskulkija taas olisi kilometrien kokoinen "trumpetti", joka haalisi matkallaan energialähteeksi avaruuden harvoja vetyatomeja. Tämä Ramjet siis saisi polttoaineensakin matkan varrelta.

Kaikki mainitut keinot voidaan kuitenkin suurta vääryyttä tekemättä laittaa vielä pitkäksi aikaa Mission impossible -mappiin.

Mutta ei menetetä toivoa. Koskaan emme tiedä, mitä huomien tuo tullessaan teknologiassa. Ehkä avaruudessa liikkuminen vuosisadan kuluttua on yhtä helppoa kuin nyt jumbojettiin astuminen ja mantereelta toiselle lentäminen. Wrightin veljesten ensimmäisiä, nyt säälittäväiltä vaikuttavia rima-kangas-häkkyroitä huvittuneena katseleva silinterihattuinen rahoittaja ei varmaankaan olisi voinut silloin aavistaa, miten 2000-luvulla lennetään.

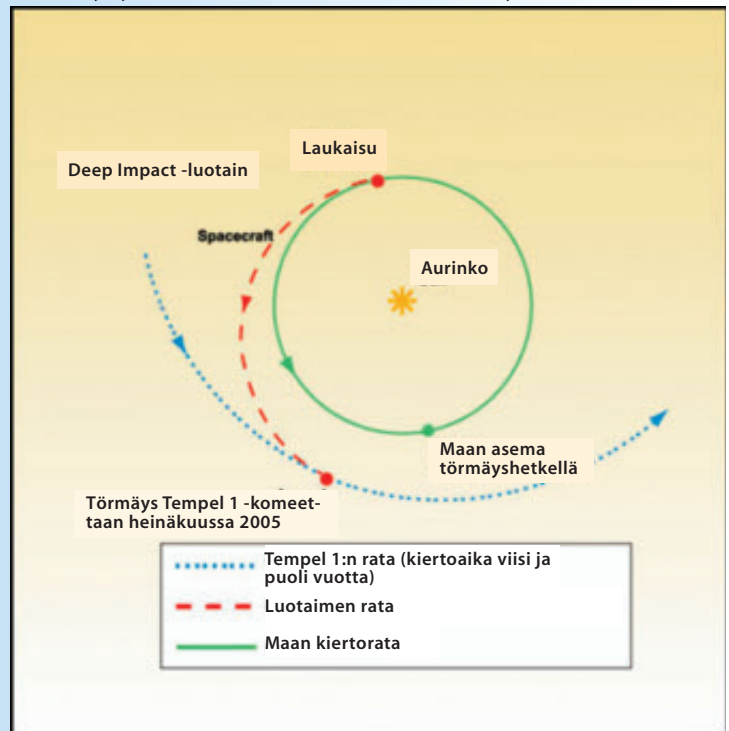
Luvassa viiden trotyylitonin räjähdys

■ NASA-JPL:n Deep Impact – kenties muutaman vuoden takaisen samanimisen katastrofielokuvan mukaan ristitty luotain laukaistiin Cape Kennedystä Floridasta 12. tammikuuta 2005, ja se ohjataan törmäämään Tempel 1 -komeettaan heinäkuussa 2005. Tempel 1, jo 1867 löydetty komeetta kiertää noin 5,5 vuoden radalla, joka ulottuu Marsin ja Jupiterin välimaille. Sen halkaisijaksi arvioidaan noin kuusi kilometriä.

Pesukoneen kokoinen ja 370 kiloa painava luotain syöksyy komeetan ytimeen 10,2 kilometrin sekuntinopeudella ja aiheuttaa komeetan materiaalista riippuen jopa jalkapallokentän kokoinen ja neljätoistakerroksen talon syvyisen kraatterin.

Törmäyksessä lasketaan vapautuvan energiaa 10 gigajoulen verran, mikä vastaa lähes viiden trotyylitonin räjähdystä tai ison omakotitalon kuukaudessa käyttämää energiaa.

Vaikka päätarkoituksena onkin saada tietoa komeetan ytimen rakenteesta ja materiaalista, saadaan sivutuotteena kenties informaatiota siitä, voidaanko tällaisella kineettisellä iskulla muuttaa mahdollisesti Maata uhkaavan kappaleen rataa. Törmäyksen leimahdus pitäisi olla nähtävissä pienehköllä harrastelijakaukoputkelakin.



JET Propulsion Laboratoryn Deep Impact -luotain törmäytetään Tempel 1 -komeettaan heinäkuussa 2005. Kuvassa kaavio radasta.