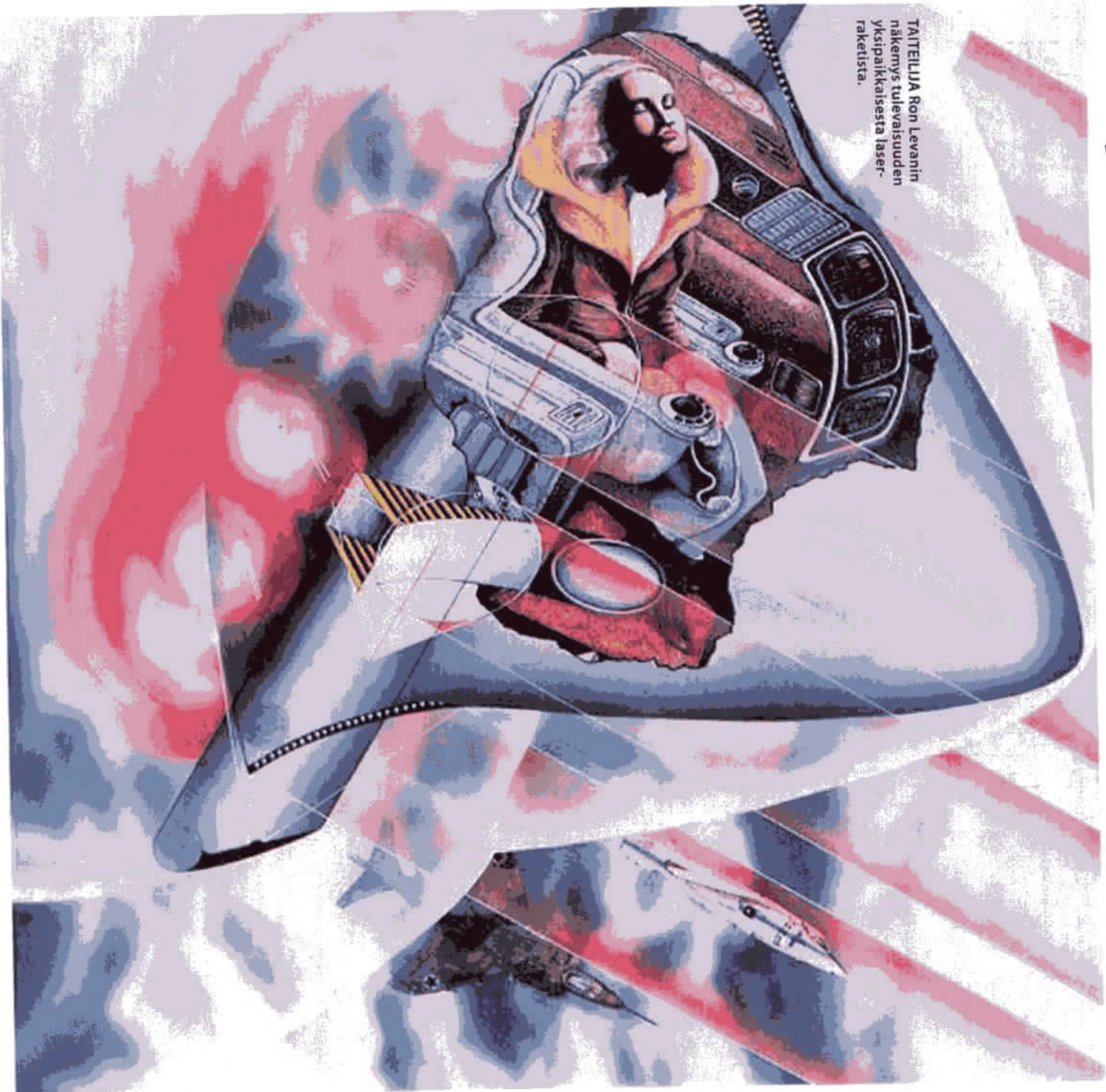


# Avaruuteen ydinvoimalla, laserilla ja lopuksi hissillä?

TAITEILIJAA Ron Levanin  
näkemys tulevaisuuden  
yksipaikkaisesta laser-  
raketista.



Kemialliset raketit ovat hyvin kallis tapa viedä tavaraa avaruuteen. Matalalle kiertoradalle pääsy maksaa kymmenisen tuhatta euroa kilolta, geosynkroniselle radalle noin 36 000 km:n korkeuteen jopa 40 000 euroa. Näillä kustannuksilla ei todellinen avaruuden "valloitus" pääse alkamaan, turismista puhumattakaan. Uusia huimia projekteja on meneillään tehokkaimpien ja edullisempien kulkuvälineiden löytämiseksi, ja aivan uudet materiaalit, kuten hiilinanokuidut tekevät teknisesti mahdolliseksi jopa vuosisadan unelmoidun avaruushissinkin!

**HANNU TANSKANEN**  
NASA, LEIK MYRABO ja  
BRADLEY EDWARDS, kuvat  
RON LEWAN ja SHANE KILDUFF, grafiikka

**T**ehokkaimminkin nykyaikaiset raketit käyttävät kemiallisia polttoaineita, eikä tekniikka pohjimmiltaan eroa jo saksalaisen Wernher von Braunin toisessa maailmansodassa kehittämissä V-2-rakettissa käytetyistä. Avaruussukkulan päämoottori, maailman tehokkain lajissaan, vain polttaa vetyä ja happa Braunin käyttämän alkoholin ja hapen sijaan.

Haaveet ydinakettimoottorista ovat sortuneet tarvittavan säteily-suojauksen painoon, joskin Yhdysvaltain "Nerva"-projektin jatkoa on aika ajoin vällytely. Radioaktiivisuuden riskit onnettomuustapauksissa ovat ydinakettilla paljon suuremmat kuin kemiallisen raketin räjähdys-ioniraketti: sähkövarauksellisia atomeja sähkökentällä kiinnittävä systeemi kärsii myös tarvittavan sähkölämmöksen painosta, eikä ioneja ole helppo tehdä kilokaupalla. Ioniraketta on kuitenkin jonkin verran testattu avaruudessa.

Sitten 1970-luvulla Arthur Kantrowitz Yhdysvalloissa heitti ilmaan val-lankunouksellisen idean: mitä jos jätettäisiin raketin moottori ja painava polttoaine maahan? Vaikka



POPULAR Mechanics -lehden piirros laser-raketista vuonna 1998.



LAWRENCE Livermore-laboratorioiden näkemys laser-raketiasemasta.

ajatus ensi kuulemalta voi vaikuttaa viitsiltä, on Kantrowitzin esittämästä periaatteesta, jossa maanpäällisten sähkövoimaiden halpa sähköenergia keltattaisiin lasersäteenä rakettile, tehty runsaasti tutkimusta viimeisten parinkymmenen vuoden aikana muun muassa Yhdysvaltain avaruushallinto NASAn toimesta.

#### Alkoholista antimateriaan

Rakettimoottorin tehokkuus riippuu pääasiassa kahdesta tekijästä, kaasujen lämpötilasta ja ulos suh-

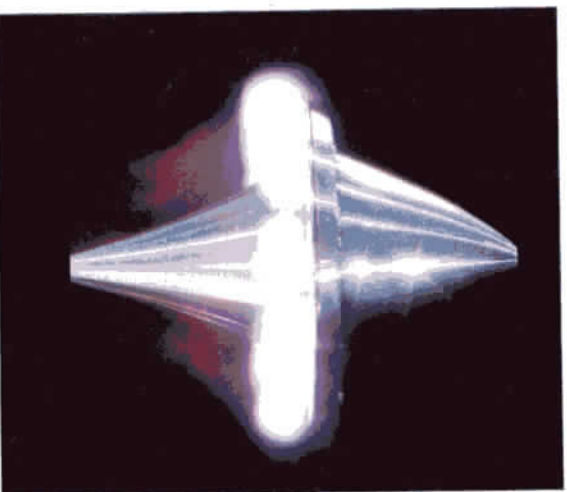
kuavan kaasun molekyylipainosta. Pelkistään, tehokkuus on sitä parempi, mitä korkeampi on lämpötila ja mitä pienempi molekyylipaino. Avaruus-sukkulan päämoottori polttaa vetyä ja happa vedeksi, jonka molekyylipaino vallitsevassa noin 5 000 K-asteen lämpötilassa on osittaisen dissoisioitumisen johdosta keskimäärin 12. Jos voitaisiin sulh-kuttaa pelkästään vetyä, jonka molekyylipaino on kaksi, ja joka teoriasa voidaan kuumentaa laserillä 10 000 - 20 000 asteeseen, pää-

täisiin huomattavasti parempaan tulokseen. Raketin tehokkuuden kavaajaa kutsutaan ominaisimpulssiksi (Specific Impulse), ja sen yksikkö on sekunti. Yksi impulsisekunti vastaa kaasuvirtauksen nopeutta 98 m/s. Maksiminopeus voi olla noin kaksi kertaa äänen nopeus samassa kaasussa ja lämpötilassa.

Verrattain vuoksi, V-2:n impulssi oli luokkaa 200 s, avaruussukkulan vety-happimoottorin noin 455 s, joka onkin lähes teoreettinen tällä tekniikalla, laser-raketin, jossa kaasun läm-



LASER-RAKETIN koekappale White Sandsin koelalueella New Mexicossa.

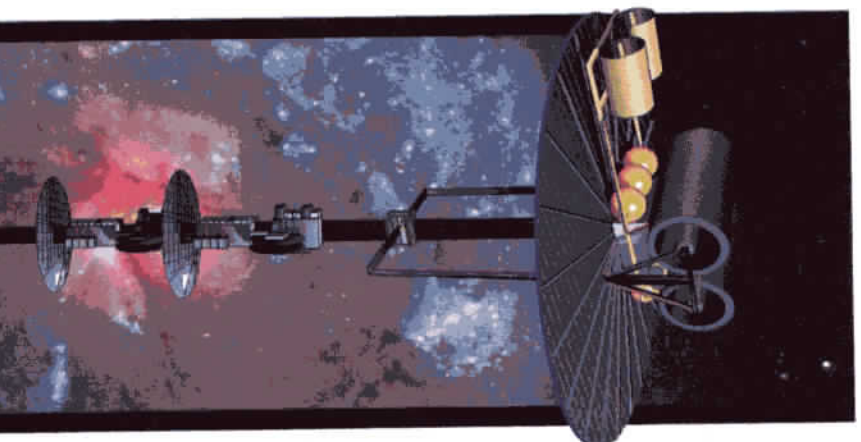


LASER-RAKETIN alapinnalla oleva 10 000-asteinen plasmapihvi.

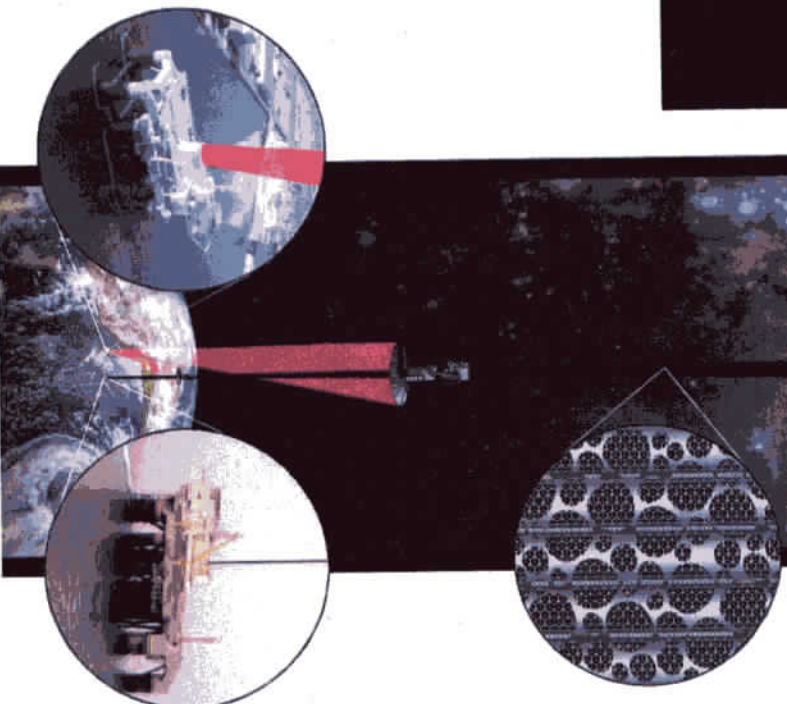
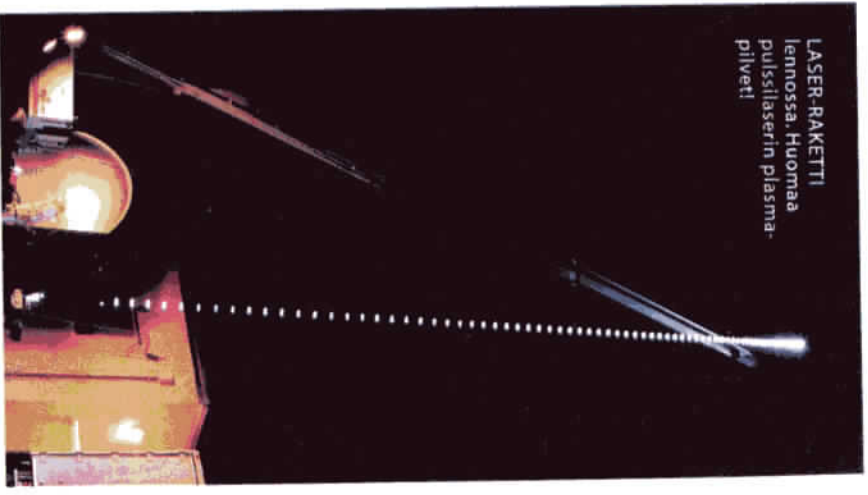
pötlä on 10 000 K, jossain 1 000 s ja 2 000 s välillä. Varsin huomattava parannus siis. Jos lähdetään spekulimaan ydinvoimaa hyödyntävillä raketeilla voisi fissiota, raskaiten ytimien halkaamista käytävä raketti päästä impulsisiin 10 000 s, fuusioita, eli keveliden ytimien yhdistymistä käyttävä 60 000 - 100 000 s ja äärimmäinen ratkaisu eli antimateria-moottori, alkeishiukkasia ja niiden peilikuvia antihukkasia täydelleen energiaksi muuttava, annihiloiva moottori huikkaan impulsisin arvoon 100 000 - 1 000 000 s. Antimateria, vaikkei se toki mellikuvitusta olekaan, on kuitenkin tuntemamme maailman kaikkeuden kallein polttoaine, grammahinta on 62,5 triljoonaa euroa!

### Avaruuteen prosentin kustannuksella

Yhden kilon massan kiertoradalle laukaisemisen hinta-arvio vaihtelee kertojasta riippuen, mutta lienee vähintään 10 000 euroa kilolta matkalle kiertoradalle ja jopa 40 000 euroa geosynkroniselle radalle. Kuitenkin teoreettinen energia matalalle



LASER-RAKETTI lennossa. Huomaa pulssilaserin plasmapihvi!



### AVARUSHISSI nousemassa hiilinanokuitukaapelia pitkin.

(250–400 km) kiertoradalle pääsyyn on tuttuina sähkönkulutussyksikkönä ilmaistuna vain kymmenisen kilowattituntia, taloussähkön kuluttajainmoin siis noin 60 senttiä kilolta. Miksi eivät siis jaska Jokunen ja perhe jo lomalle avaruuden Kanarioidella? Innovoidussa laser-raketissa jäte-

tään kemialliselle reaktioille välttämätön hapetin, nestehappi kokonaan pois lastista, polttoaine voi periaatteessa olla lähes mitä vain, koska sehan on vain ajoainetta, propellantia, joka peillillä kootulla lasersäteellä kuumennetaan huimasti lämpötiloihin.

Teoreettisesti paras olisi tietenkin vety pienimmällä molekyylipainolla, mutta ei ole mitään estettä, etteikö "polttoaine" voisi olla myös aivan tavallista vettä, nesteenä tai jäänä.

Tavallista muistuttavassa raketimoottorissa, jonne kootun lasersäteiden energia johdetaan takaosan "ikkunan" läpi kuumentamaan ajoainekaasua, käytetään jatkuvaa sädetä antavaa laseria. Toisenlaisessa ratkaisussa taas käytetään kiinteää ajoainetta ja pulssilaseria. Se sinkoaa säteen useita kertoja sekunnissa suoraa "moottorin" poistoaukkoon, josta laserisuijen välillä sinkoaa ylitääninopeudella hyvin korkeisiin lämpötiloihin, aina 10 000 - 20 000 Kelviniin kuumennutua ionisoitunutta kaasua, plasmata.

Oleellista tässä on se, mikä on energian konversio, muuntosuhdde, ensin sähköstä laser-energiaksi ja siitä vuorostaan rakettia eteenpäin ajavien kaasumolekyylien kineettiseksi liike-energiaksi.

Tehokkuus kuitenkin itse laser-raketti-ilmiössä on niin korkea luokkaa, että avaruuteenmenokustannusten laskeaan putoavan ehkäpä sadanteen osaan verrattuna kemiallisten raketien vastaavaan. Siis satakunta euroa kilolta ja sataat uhatta euroa jaskalta.

Laskuvirhe? Ei, mutta elämän mukavaksi tekemiseen näillä tulevai-

suuden avaruuden lomakeitaila jaskaan tarvittavan muun muassa tonnin verran happea, vettä ja elintarvikkeita henkeä kohden. Se on vieläkin paljon keskivertotutuille, mutta mahdollistaa jo todellisen avaruuden valloittamisen alkamisen. Avaruuden hyörykäyttö, pysyvät tukkihohdat kuussa ja Marsissa ovat ehkä ensimmäisiä sovellutuksia. Seuraavana voisi olla vaikkapa kaivostöiminta asteroidilla ja NYT kovasti muotiin tullut "tappaja-asteroidien" torjunta. Avaruuden lomakeskukset saattaisivat sijaita Maan kierroradan ja Kuun pinnan lisäksi niin kutsutuissa Lagrangen pisteissä Maan ja Kuun välillä, jossa Kuun, Maan ja Auringon vetovoimat nollaaavat toisensa. Tällaisia on spekuloinut laajasti muun muassa amerikkalainen O'Neil.

### Laser-raketin teoriaa

Laser-rakettimoottorin rakenteesta on esitetty kahdenlaista versiota. Ensimmäinen näistä olisi lähes vastaava nykyisten kemiallisten rakettimoottorien kanssa, mutta kemikaalien palamisen sijaan lämpöenergia suihkurettavalle kaasulle tuotaisiin kotoilla lasersäteellä esimerkiksi kuumuutta kestävästä kvartsisen ikkunasta läpi moottorin takaosassa.

Voimakas laserenergia kuitenkin helposti sulattaisi tämänkin, ja koska tärkeä osa laser-raketin tehosta perustuu ajoaineelle aikaansaatuun erittäin korkeaan lämpötilaan, ainoastaan 10 000 K asti, ainoaksi käytännön ratkaisuksi saattaa jäädä niin kutsuttu aerodynaaminen ikkuna, jossa kuumat kaasut pidetään moottorin sisällä kaasuturbiinin korkeapaineella syöttämällä kylmällä polttoaineella. Kylmän polttoaineen virtaus suojelisi myös rakettimoottorin seinämiä sulamiselta.

Vety, joka teoreettisesti on paras ajoaine pienen molekyylipainonsa johdosta, on kuitenkin läpimäkyvä infrapuna-alueen lasersäteilylle ainoastaan dissosioitumisensa saakka, yli 2 000 K-asteeseen, joten kaasun pitäisi lisätä mukaan jotain polaarista yhdistettä. Ise asiassa, energian tehoakaan siirtymisen laserista kaasulle tekee parhaiten jokin siihen lisätävä niin kutsuttu molekulaarinen absorberenti. Suora hehkuttaminen aikaansa monenlaisia epätoivottuja säteilymuotoja, joissa energiaa karkaa hukkaan. Eräs parhaita tällaisia aineita on rikkihexasufluoridi SF<sub>6</sub>, joka absorboi erityisen tehokkaasti infrapunalaserin energiaa.

Toinen rakennearkaisu, jota on käytännössä kehitelty enemmänkin kuin yllämainittua, pohjautuu niin

### Kelvin – absoluuttinen lämpötila-asteikko

■ KUN me täällä Euroopassa käytämme jokapäiväisessä elämässä ruotsalaisen Anders Celsiusuksen (1701–1744) kehittämää lämpötila-asteikkoa ja amerikkalaiset vastaavasti saksalaisen Daniel Fahrenheitin (1686–1736) jää-veesi-suosikeksesta nollansa (-32 °C) ottavaa, käytetään tieteessä kautta maailman yleisesti kuulun brittifysiikon William Thomson Kelvinin, tunnetumpi Lordi Kelvininä, (1824–1907) esittämää, niin kutsuttua absoluuttista nollapistestä (-273,16 °C) alkavaa Kelvin- eli K-asteikkoa. Celsius-asteista päästetään Kelvin-asteisiin yksinkertaisesti lisäämällä niihin 273 astetta. Jää siis sulaa 273 K-asteessa ja vesi kiehuu 373 K-asteessa.

### GEO-rata

■ TETEISKRJALLUANA tunnetumpi englantilainen tähtitieteilijä Arthur C Clarke esitti vuonna 1945, että telekommunkaation voisi hoitaa koko maailman kattavasti – napa-alueita lukuun ottamatta – vain kolme niin kutsuttua geosynkroniselle kierroradalle sijoitettua viestintäsatelliittia. GEO-lyhenne tulee sanosta geosynkroninen Maan kierrorata, eli kysymyksestä on päiväntasaajan tasossa maata kiertävä satelliitti, joka lentää sellaisella korkeudella, että sen kiertonopeus on sama kuin maan pyörimysaika itsensä ympäri. Tarkasti sanoen 23 tuntia, 56 minuuttia ja 4,1 sekuntia, jolloin se pysyy Maasta katsoen paikallaan. Tämä korkeus on tarkalleen 35 786 km.

kutsuttuun laserlaatioon. Siinä käytetään energian antajana puissilaseria, joka sinkkoa säteen uudelleen ja uudelleen useita kymmeniä kertoja sekunnissa. Puissilaserimoottori käyttää kiinteää ajoainetta. Puissilaserin ideaan päädyttiin tutkittessa laserin käyttöä aseena.

Kun laserisäde, jonka energia ylittää kymmenisen megavattia nelisenttimetrillä, suunnataan metallipintoihin, tapahtuu pinnassa räjähdysnomainen ilmiö, jossa pinnan lähellä oleva ilma ja jopa osa metallipinnasta höyrystyy hyvin kuumak-

si ainoastaan 20 000 K-asteiseksi kaasuksi, joka räjähtää pois päin ylitääninopeudella. Tällaisen laserdetonaatiolimon aikaansaamaa kaasua, joka korkean lämpötilan johdosta on varsin pitkälle ionisoitunutta, tavaataan kutsua plasmaksi.

Tällaisilla superionisilla plasmaalloilla päästetään hyvinkin korkeaan impulssiin arvoon. Vastaavasti kuin kaasussakin, materiaalin pienempi atomipaino parantaa impulsseja. Periaatteessa tämä ajoaine voi olla lähes mitä vain, mielenkiintoinen on ajatus vedestä ajoaineena. Elossapi-

■ YHDYSVALTAIN armeija, lentokonevalmistaja McDonnell Douglas ja avaruushallinto NASA käyttivät 1,4 miljardia dollaria ydinrakettimoottorin kehittelyyn NERVA-projektin puitteissa vuosina 1956–1971 Jackass Flatsin koealueella Nevadan kuululla huipupuosalisten projektien Areas 51:lla.

Testeissä käytettiin uraani-zirkoniu-karbidia grafiittimatriksissa sen korkeiden lämpötilojen siedon johdosta. Testit sinänsä olivat varsin menestyksellisiä, ja kun projekti vuonna 1971 lopetettiin, oli päästy toimivaan ydinrakettimoottoriin, jolla pystyttiin aikaansaamaan yli 100 tonnin työntö-

voima 90 minuutin ajan ja tehoa kutsuiksi termiksi 1 sp 850 s. Se oli vielä kaukana mennelelmällä teoreettisesti mahdollisesta, mutta silti jo lähes kaksinkertainen muun muassa avaruussukkuilan moottorin verrattuna. Ajoaineena oli vety. Vielä sitäkin parempi olisi ollut atomaarinen vety, mutta lämpötila, jossa vetymolekyylit dissosioitu atomiksi, oli ilaan korkeaa käytettävälle materiaaleille.

Presidentti Richard Nixonin kaudella USA:lla oli suunnitelma käyttää ydinraketta miehittelyyn matkaan Marsplaneetalle, mikäli Neuvostoliitto olisi ehtinyt ensimmäisenä Kuuhun. Ydinra-

tojärjestelmien kenties tärkein aine toimisi siis myös polttoaineena!

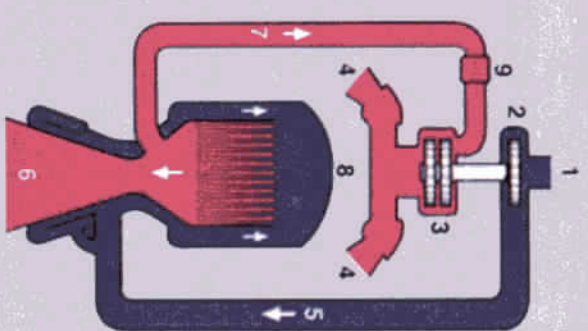
### Hulpeita laseritehoja tarviitaan

Kantrowizin esittäessä ideansa sen käytännön toteutus oli vielä puhdasta science fictionia, mutta nyt, parikymmentä vuotta myöhemmin, alamme lähestyä jo ensimmäisiä todellia toimivia laserraketteja. NASAn ensimmäinen laserrakettiprojekti käynnistyi jo 70-luvun lopulla NASA Marshallin tutkimuskeskuksessa. Teoreettista työtä ilmion parissa on

ketin käyttö olisi yhtenäinen matkaa ja vähentänyt miehistöön kohdistuvaa säteilyä. Tämä saattaa vaikuttaa kummalliselta, mutta vuoden-parin mittaisella matkalla avaruudessa kosminen säteily on merkittävämpi tekijä kuin rakettin ydinmoottorin säteily. Projektiin kuulimiskuna pidetään ilmakehän ydinokkeiden kieltosopimusta vuonna 1963. NERVA-rakettin palokaasut olisivat olleet radioaktiivisia. Ydinrakettisuunnitelmasta on nykyisin taas jossain määrin herätelty uutta keskustelua Yhdysvalloissa.



NERVA-ydinrakettikoe Area 51:lla.



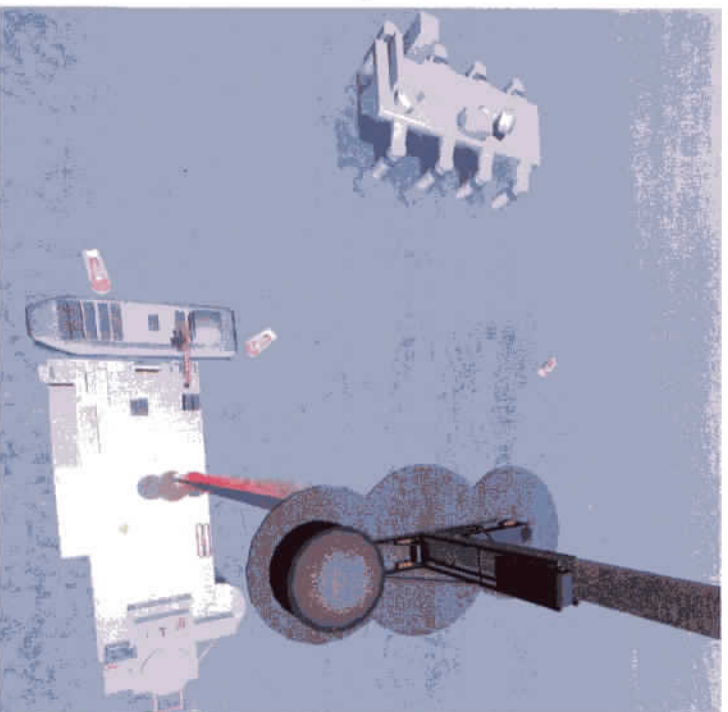
NERVA-ydinrakettin moottori.

tehty useallakin taholla, muun muassa Illinoisin yliopistossa. Ensimmäiset käytännön kokeet teki Lawrence Livermore.

Uudessa Meksikossa ammuskelele arvoitettu Rensselear-yliopiston professori Leik Myrabo 20 sentin alumiinikiekkokäyttökieliaserilla, ja Japanissa Tokion yliopiston professori Yabe puolestaan on lennätellyt foliopäilysteisiä paperilennokkeja niin kutsutulla laser-ablaatiometodilla.

Pisimmällä on kuitenkin NASA:n projekti, jonka aikuperäisen aikataulun mukaan piti jo syyskuun 30. päivänä viime syksynä laukoa aihaiselle kiertoradalle minisatelliitti 100 kW:n hiilidioksidilaserilla. Alkatarauksen jälkeenkin venyivät, ainakaan haastattelemamme professori Myrabo ei sitä vahvista.

"Olkkiden" avaruusajusten laukomiseen laserilla on vielä toki matkaa, se vaatisi laskevien mukaan kymmenien tai satojen megawattien tehoisia lasereita. Nämä eivät kuitenkaan enää sinikkaan ole utopiaa. Sotilaskäyttöön otettiin tämän vuoden alussa Boeing-jumboon sijoitettu kemiallinen "eximer"-laser (energia saadaan kemiallisesta reaktiosta ja siirretään sopivalle lasovalle aineelle), joka mahdollistaa jo melkoisten



**AVARUSHISSI nousemassa ankkurilaatataan päivätasajajalla.**

lastien nostamisen yläilmoihin. Suora sähköenergiaa muutosta laserenergiksi tutkitaan huikkaskihti-timen tapaan toimivassa "vapaaelektronilasensissa", joka hyvinvoinnolla tulevaisuuden ratkaisu.

Näemmekö siis lähitulevaisuudessa valonsäteiden päässä tavallisin nousevia raketteja? Emme.

Eduullisin ja käytetyin lasertyyppi toimii infrapunaisten, lämpösäteilyn alueella, jossa "ilmanvastus" eli hä-

viöt ilmakehässä ovat pienimmät. Tähtitiljoiden kuitenkin täytyy esittää tämä näkyvän valon alueella, eihän se muuten juuri millitään näyteriä.

### **Avarushissit – lopullinen ratkaisu?**

Eräiden tieteskirjailijoiden harrastamat "avaruuskielidytimet", "poimurajot" ja "antipainovoimat" eivät kestä tarkastelua nykyisin tunnnettujen fyysikan lakien pohjalta, joskin uusimmat supersäieteorian antavat viitteitä jopa niinkin miellikuksellisen matkustusmuodon kuin teleportaation mahdollisuudesta.

Sen sijaan, lähes yhtä huimassa ideassa niin kutsutusta avarushissistä ei ole mitään, joka soitsi jo tunnettuja fyysikan lakeja vastaan. Itse asiassa, hiilinanokuiduiksi kutsuttu uusi äärimmäisen luja materiaali saattaa tehdä siitä jopa teknisesti mahdollisen lähivuosikymmeninä. Onpa NASA myöntänyt äskettäin puolen miljoonan dollarin määrätähän seattelilaiselle yhtiölle "Highlift Systems" -konseptin laatimista varten avarushissistä. Tri Bradley Edwards, NASA:n NIAC (NASA Institute for Advanced Concepts) -projektin vetäjä antoi meille ystäväillisesti kuvia ja materiaalia artikkelillemme varten.

## **Laser-raketti korvaa kemialliset raketit 5–8 vuoden kuluttua?**

YHDYSVALTALAISEN professori Leik Myrabon ryhmä testaa laser-ablaation perustuvaa raketta armeijan White Sandsin ohjustutkikohdassa New Mexicossa.

Myrabo on alan hallitseva pioneeri, jolla on pitkä tausta muun muassa lasereiden tutkimuksessa ja hallussaan laserilennättyksen "virtailinen" maailmanennätys tähän mennessä: 71 m 5,5 sekunnissa 2. lokakuuta 1999.

Nykyinen ilmailu alkoi Wrightin veljesten lähes samoilta lukemilla 1903! Uusi laser-rakettiprojekti on alkamassa piakkoin myös Alabaman yliopistossa professori Andrew Paktomovin johdolla. Myös tri Paktomov on antanut arvokasta apua tämän artikkelin kirjoittamisessa.

**Tri Myrabo, kuka keksi ensimmäisenä ajatuksen laser-rakettista?**

– Arthur Kantrowitziä pidetään tässä maassa yleisesti ensimmäisenä laser-propulsiokonseptin vetäjänä. Ensimmäiset alan kokeet tehtiin AVCO Everett Research Laboratoryssa.

Tavallisilla (kemiallisilla) raketeilla tarvitaan useita rakettivaiheita kiertoratanopeuden (n. 7,9 km/s) saavuttamiseen. Onko mahdollista saavuttaa sama nopeus vain yhden vaiheen laseriraketeilla?

– Ehdottomasti, käyttämällä yhdistettyä rakettia/ilmaa hyödyntävää moottoria jopa niinkin aihaisella massaa-



**PROFESSORI Leik Myrabo**

suhteella kuin 2 (ts. 50 % laukaumasasta on ajoainetta), ilmaa ajoainetta käyttäen on mahdollista saavuttaa ensin kuusinkertainen äänenopeus ja 30 kilometrin korkeus käyttämättä ollenkaan vielä varsinaista ajoainetta ja tästä eteenpäin ajoainetta käyttäen ainoa kiertoradalle asti. Ajoainetta voi olla nestevetyä, nestetyyppiä tai jopa vain tavallista vettä.

Mikä on laser-rakettin kokonaisekonoma verrattuna kemiallisiin raketteihin, täytyyhän siinä sähköenergia (tai eximer-laserissa kemiallinen ener-

gia) ensin muuttaa laserenergiksi ja se vuorostaan siten kaasumolekyylien kineettiseksi energiaksi?

– Täytyy huomioida, että laser-rakettissa vaihosa moottorista (laser-lähetysasema – se on kallis) pysyy Maassa eikä sitä riskeerata lennolla. Tällaisen energiaa keilaavan infrastruktuurin rakentaminen on ehdottoman välttämätöntä laser-propulsioon omistumiselle. Kun se kerran on alkaansaatu, sitä voidaan käyttää uudelleen ja uudelleen tuhansia, ellei miljoonia kertoja ja rakennuskustannukset voidaan jakaa kaikille tuleville käyttäjille.

Varovalsen arvion mukaan laser-raketti tulee pudottamaan avaruuslennon kustannukset sadanteen osaan nykyisistä verrattuna kemiallisiin raketteihin 3–7 vuoden investointien kuuletuksen aikataululla. Loppuvuorilla uskon tulevaisuuden kehittyneempien energian keilaamissysteemien pudottavan kulu nykyisistä aina tuhanteen osaan.

Onko jo olemassa sellaisia lasereita, jotka mahdollistavat merkittävien lastien lähettämisen kiertoradalle tällä periaatteella, vai on se vielä kaukaisia tulevaisuutta?

– Karkeasti megavattiluokan jatkuva-aaltainen (cw) COIL-laser (Chemical Oxygen Iodine Laser) on toistaiseksi testattu vain ohjusten torjuntaan lentokoneissa, ei laser-rakettikokeissa jotta tuen paljolti sen erittäin korkeista käy-

tökustannuksista: miljoona dollaria alle minuutin toiminnasta. Uuden vastaavan ABL (Air Borne Laser) -laserin huhutaan olevan toteutavasti joku sillä päälle kerraisen, ja toivotavasti joku sillä päälle tekemään rakettikokeita, kun se on käytettävissä. Kuitenkin useat asiantuntijat pitävät näiden uusien cw-lasereiden "nostokyykyä" kerralluokkaa huonompana kuin nyt käytetyjen pulssilasereiden (rp) vastaavaa.

Mitä mutta sovellutuksia kuin raketit näkisitte laser-propulsioilla, soveltuuko se esimerkiksi lentokoneen voimansiirtokkeiksi?

– Minun näkemykseni mukaan BEP (Beamed Energy Propulsion) tulee korvaamaan kaupallisen lentoliikenteen koko maailmaa koskevilla matkoilla. Matkustajat voidaan poimia mukaan suoraan kotoa tai paikalliselta "Lightportilla" ja heittää 45 minuutissa minne tahansa maapallolla tai kiertoradalle nykyisen kansainvälisen lentoliipun hinnalla.

Millioin arvioisitte keilaatun energian korvaavan kemialliset raketit?

– Riittävillä investoinneilla Maassa oleviin laukaisuasemiin ensimmäinen laser-spurttik- tai laser-exploreriarosatelitit voitaisiin laukaista viidessä vuodessa, ja ensimmäinen yksipaiikkainen "valoalus" voisi tehdä avaruuslupun siitä noin kolmen vuoden päästä.

Avaruushissin ideaalla on monta keksijää. Jo "Venäjän Jules Verne", Konstantin Tsiolkovski (ks. Tieteen Maailma -palsta TM 19/03) spekuloi sellaisella nähtyään Eiffel-tornin vuonna 1895. Tunnetuimmaksi suurrelle yleisölle avaruushissin teki ken-ties tieteiskirjailija Arthur C. Clarke romaanssaan 1975.

Avaruushissin perusideana on lyhyesti se, että jos geostationaarisesta, Maahan nähden paikallaan pysyvistä satelliittista noin 35 800 km:n korkeudesta lasketettiin alas Maahan ulottuva köysi, sitä pitkin voitaisiin kiivetä avaruuteen ja unohtaa kaikki hankalat sekä kallit raketit.

Teoriassa sinähän ei ollut mitään vikaa, puuttui vain riittävästi lujaa materiaali köydeksi. Teräslanka katkeaa omasta painostaan ja noin viiden kilometrin mittaisena, Clarke perusti hissiköyrensä timanttiseen kuituun, jonka lujuus onkin omaa luokkaa-

sa, jos sitä vain pystyttäisiin valmistamaan. Vasta viime vuosina on kuitenkin onnistuttu aikaansaamaan materiaali, joka täyttää avaruushissin vaatimuksia, jopa ylittääkkin sen -hiilinanokuitu.

Avaruushissi ei enää ole pelkästään teoriaa ja SciFia. Hiilinanokuidulla se muuttuu ainostaan tekniseksi ja taloudelliseksi ongel-maksi.

### Tri Edwardsin avaruushissikonsepti

NASA:n Institute for Advanced Concepts (NIAC) rahoittaa Tri Bradley C. Edwardsin projektia, joka esittää viidessätoista vuodessa ja kymmenellä miljardilla taalalla toteutettavaa alustavaa hissiä, joka pystyisi nostamaan joka kolmas päivä 13 tonnin lastin GEO-radalle. Jo tämä "köyhän miehen versio" pudottaisi avaruuteen menon kustannukset 500 dollarin kilolta ja myöhemmät suuremmat hissit aina kymmeneen taalaan kilolta, peräti neljä kertaluokkaa halvemmaksi tai kymmenenteen tuhanteen osaan nykyisestä!

Suunnitelmassa vietäisiin ensin kahdeksalla muunnellulla avaruussukkulalla ensimmäiset rullat nankuitua geosynkroniselle radalle ja laskettaisiin sieltä päivänrasaajalle merelle rakennettuun ankkurilautaan. Tämän siemenköyden tai parremminkin nauhan pekkusuu olisi 5-11,5 senttimetriä ja paksaus vain muutamia mikroneja eli millimetrein tuhannesosia. Silti se pystyisi kantamaan 495 kg:n lasteja.

Tätä alustavaa nyöräitä pitkin sitten kilpeliisi seuraavaan kahden ja puolen vuoden ajan köydenvahventaja-

## Hiilinanokuidut – lanka, joka maksaa miljoona euroa kilolta

■ HILINANOKUITUJEN löytäminen liittyy fullereiden, 60 hiiliatomia sisältävien C60-pallojen, keksimiseen. Siihen liittyvistä tutkimuksista Robert F. Cuiel, Harold W. Kroto ja Richard E. Smalley saivat Nobel-palkinnon vuonna 1996.

Hiilinanokuidut havaitti ensimmäisenä japanilainen Sumio Iijima NEC:n laboratorion elektronimikroskooppilla vuonna 1999. Hiilinanokuidut ovat rakenteeltaan kuin heksagonaalinen grafiittivevy oli kätketty saunattomaksi putkeksi, jonka halkaisija on juuri fullereeni-molekyylin suuruinen, nanometrin eli metrin tuhannesmiljoonasosan kokoinen.

Hiilinanokuituja valmistetaan yleisimmän kuumentamalla hiilikohotilaseilla siten, että muodostuu ionisoitunutta hiilipilasta. Muodostuneet nano-

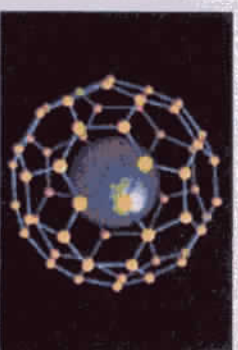
robotteja, jotka saivat energiansa 840 nm:n vapaalektroniserialla 13-metrinen pelinissä välityksellä. Ylös kiivenneet robotit jäivät sitten vastapainoksi aina 100 000 km pitkän köyden yläpäähän. Jatkossa sinne voitaisiin painoksi kenties pyydystää pieni asteroidi.

Lopullinen köysi olisi sekkin metrin levyinen kalvo, edelleen vain muu-

kuidut huuhdotaan sitten argonkaasulla vedellä jaahdytettynä kupariseen keräysloukkuun. Hiilinanokuitujen sekä sähköiset optiset että mekaaniset ominaisuudet ovat omaa luokkaansa, ja niille ennustetaan monenlaista käyttöä muun muassa elektronikkassa. Hiilinanokuidun voidaan kuvata olevan yksiliuotteinen kvanttiöhidin, jossa elektronit voivat liikkua vain yhteen suuntaan sen akselilla.

Avaruushissin kohdalla merkittävä ominaisuus on niiden tavaton mekaaninen lujuus. Ainakin sata kertaa terävä luempina ja joustavina ne mahdollistavat tuon 100 000 km pitkän köyden avaruuteen. Lujuuden havainnollistamiseksi voidaan ajatella puolen lyijyköyden paksumista nanokuituköyrtä, jolla voidaan nostaa ilmaan 40 henkilöä-

taman mikronin vahvuinen, poikkipinnaltaan kaksi nelimillillä, mutta kykenevä kannattamaan 20 tonnia taakkaa. Tällainen avaruusajajerin muoto kestäisi parhaiten siihen mahdollisesti törmäävät meteoritit. Seuraava vaihe hissiä pystyisikin siten nostamaan avaruuksiin aina 200 tonnia kerralla ja mahdollistaisi todellisen avaruusturismin ja edulliset



C60 Fullereeni-molekyylit.

matkat Kuuhun sekä planeettoille.

Matkat Kuuhun sekä planeettoille. Millie voitaisiin jatkossa rakentaa omat avaruushissinsä. Tse hissi toimisi suprajohhteisiin pohjautuvilla lineaarimagneeteilla, vähän niin kuin pystyyn nostettu magneettilevtaatiojuna. Matka GEO-radalle veisi viisi vuorokautta, senhän vie nyt matka Japanin Siperian rataa pitkin. Eivät tällekin matkalle tarvitaani

## Hissillä avaruuteen vuonna 2020?

■ TOHTORI Bradley Edwards on NASA:n rahoittaman avaruushissikonseptin vetäjä. Projektin toteuttajana on West Virginian nopeimminkin kasvava korkean teknologian yritys, Institute for Scientific Research Inc., joka tekee tutkimusta NASA:n lisäksi Thydsyvaltain puolustusministeriölle, ja jonka tunnetuin tuote on kenties Black Diamond, eräs maailman nopeimpia superterokoneita. Yrityksen hallitukseen kuuluu muun muassa armeijan kenraali.

Tri Edwards oli 12.-15.11.2003 Santa Fessa New Mexicossa pidetyin toisen kansainvälisen avaruushissikonferenssin organisoija. Konferenssin järjestäjänä ovat ISR ja Los Alamos National Laboratory. Kunniavieraina ja ensimmäisenä esitelmöitsijänä oli itse Sir Arthur C. Clarke.

Tri Edwards, kuka ensimmäisenä esitti idean avaruushissistä?

– Siihen onkin vaikea vastata, koska kysymyksestä on koko ajan kehittyvä konsepti. Uskoakseni ensimmäisenä nykyikäisen version esitti venäläinen Art-sutanov vuonna 1960, vaikkakin myös usat Clarke (Clarke, Pearson, Isaacs) esittivät sitä samoihin aikoihin.

Onko avaruushissi "vapaaillpu avaruuteen", eli saadaanko ylös menevän massan energia takaisin alas tulevan massan energiana?

– Ei aivan. Johtuen vaihtelevasta gravitaatorkentästä tavanomaisen hissin



TOHTORI Bradley Edwards.

vastapainojätus ei toimi tässä. Ylös kilpellevät hissit tarvitsevat energiaa.

Arvoitte ensimmäisen vaiheen avaruushissin kustannuksiksi noin 10 miljardia dollaria. Miten suuri tämä summa on verrattuna vaikkapa ensimmäisten kuulentojen kustannuksiin?

– Apollo-ohjelman, sukulaiohjeleman ja useiden muiden laajojen projektien kustannukset muutettuna tämän päivän dollarieliksi ovat vastaavia tai suurempia.

Jos teemme avaruushissin "köy-

den" ulottumaan pidemmälle kuin GEO-radan noin 36 000 km ja irtotamme avaruusaluksen tämän köyden päästä, pääsemmekö toisille planeettoille tulevaisuudessa kokonaan ilman raketteja?

– Kyllä. Suunnittelemaamme nauha on 100 000 km pitkä. Sillä voimme lähettää lasteja Kuuhun, Marsiin, Venukseen ja asteroidille. Vain hieman pidempänä se mahdollistaa matkat kaikille aurinkokuntamme planeettoille.

Jos ihmiskunta jossain kaukaisessa tulevaisuudessa siirtää erittäin suuria määssoja GEO-radalle, hidastaako se Maan pyörimisliikettä koska momentin tulee säilyä samana, eli tulevatko päivät pidemmiksi?

– Teknisesti kyllä, mutta päivän pidentyminen tulee olemaan vain äärimmäisen pienen osan sekunnista ja tuskin mitattavissa useihin vuosisatoihin, jos koskaan."

Kun NASA:n tapainen organisaatio tukee tällaisia erittäin futuristista projekteja sen on oltava vankalla pohjalalla. Koska arviolisitte ensimmäisen ihmisen nousevan ylös avaruuteen avaruushissillä?

– Suunnitelmamme on saada ensimmäinen avaruushissi toimivaksi noin 15 vuodessa tavaran kuljetukseen ja ihmiset voisivat liikkua sillä pian tämän jälkeän.