

Realismia sci-fi:iin, eli Todellinen avaruusmatkailu

Henrik Kahanpää

10.8.2008

Ropecon



Osa I:

Avaruustekniikan
perusteet

Avaruusmatkailun fysiikka, osa 1:

Mekaniikan peruslait

Laki 1:

Kappale jatkaa suoraviivaista liikettä vakionopeudella tai pysyy paikallaan, jos siihen ei vaikuttavien ulkoisten voimien summa on nolla.

Laki 2:

Kappaleeseen vaikuttavien voimien summa F antaa kappaleelle kiihtyvyyden a , joka riippuu kappaleen massasta m

$$F = m \cdot a \quad \longleftrightarrow \quad a = F/m$$

(Laki 3:

Jos kappale A vaikuttaa kappaleeseen B voimalla F , vaikuttaa kappale B kappaleeseen A yhtä suurella, mutta vastakkaisen suuntaisella voimalla $-F$.)

Avaruusmatkailun fysiikka, osa 2:

Painovoimalaki

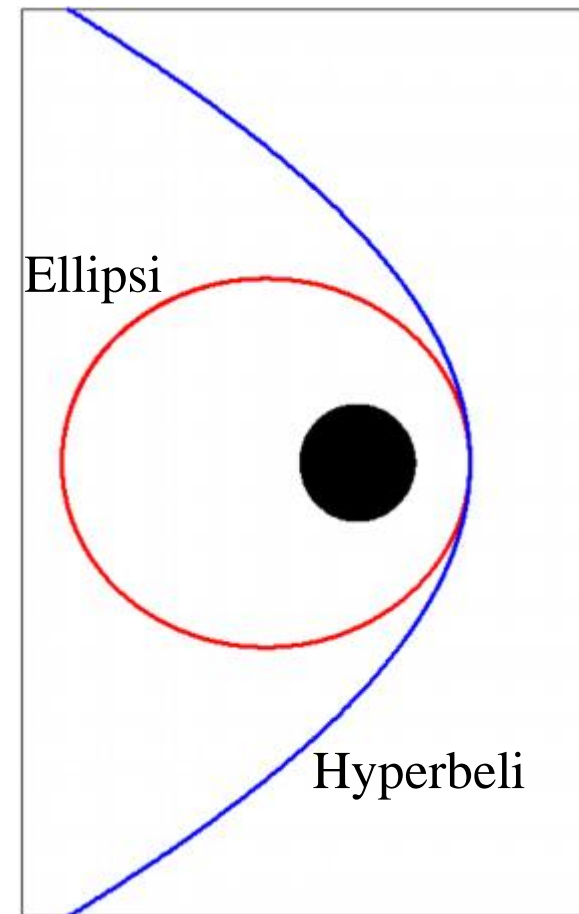
Jokainen kappale aiheuttaa muihin kappaleisiin kohdistuvan voiman, joka

- suuntautuu suoraan kohti voiman aiheuttajaa ja
- jonka voimakkuus on
 - suoraan verrannollinen voiman aiheuttajan massaan m_1 ja kohteen massaan m_2 ja
 - kääntäen verrannollinen voima aiheuttajan ja kohteen välisen etäisyyden r neliöön

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Liike taivaankappaleen painovoimakentässä

- Yleensä ainoat avaruusalukseen vaikuttavat ulkoiset voimat ovat lähimpien taivaankappaleiden painovoimat
- Tavallisesti vain yhden taivaankappaleen painovoima tarvitsee ottaa huomioon
- Aluksen rata yhden taivaankappaleen painovoimakentässä voi olla ellipsi tai hyperbeli



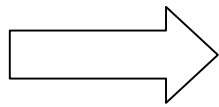
Maan kiertorata

Nimi	Korkeus km	Rata- nopeus km/s	Radan korkeuden saavuttami- seen tarvittava nopeus km/s	Kierto- aika h
LEO	200	7.8	2.0	1.5
	1000	7.3	4.1	1.75
GEO	36000	3.1	10.3	24

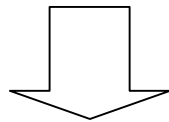
Liikemäärän säilyminen

- Liikemäärä = massa kertaa nopeus: $L = m \cdot v$

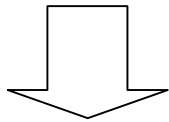
Mekaniikan
peruslait



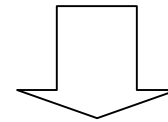
Jos kappaleeseen ei vaikuta ulkoisia
voimia, sen liikemäärä säilyy.



Ainoa tapa mutata aluksen nopeutta
ilman ulkoisia voimia on muuttaa
sen massaa.



Avaruudessa ainoa
merkittävä ulkoinen
voima on painovoima



Jos halutaan lentää jotakin muuta reittiä kuin painovoiman
määräämää (kierto)rataa, on aluksen massaa muutettava!

Rakettimoottorin toimintaperiaate

- Aluksen nopeuden muutos Δv riippuu pakokaasun lähtönopeudesta v_e ja aluksen massan muutoksesta

$$\Delta v = v_e \ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)$$

m_0 = aluksen massa ennen raketin polttoa

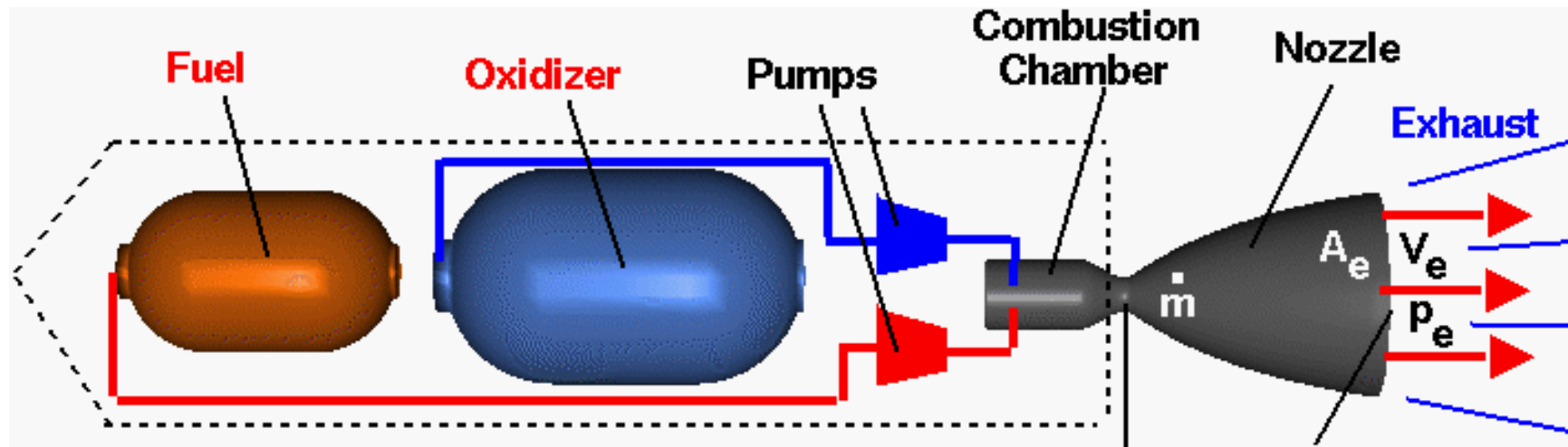
m_1 = aluksen massa raketin polton jälkeen

- Raketin työntövoima F riippuu
 - pakokaasun lähtönopeudesta v_e ja
 - aluksen massan muuttumisnopeudesta $\Delta m/\Delta t$ (kg/s).

$$F = v_e \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

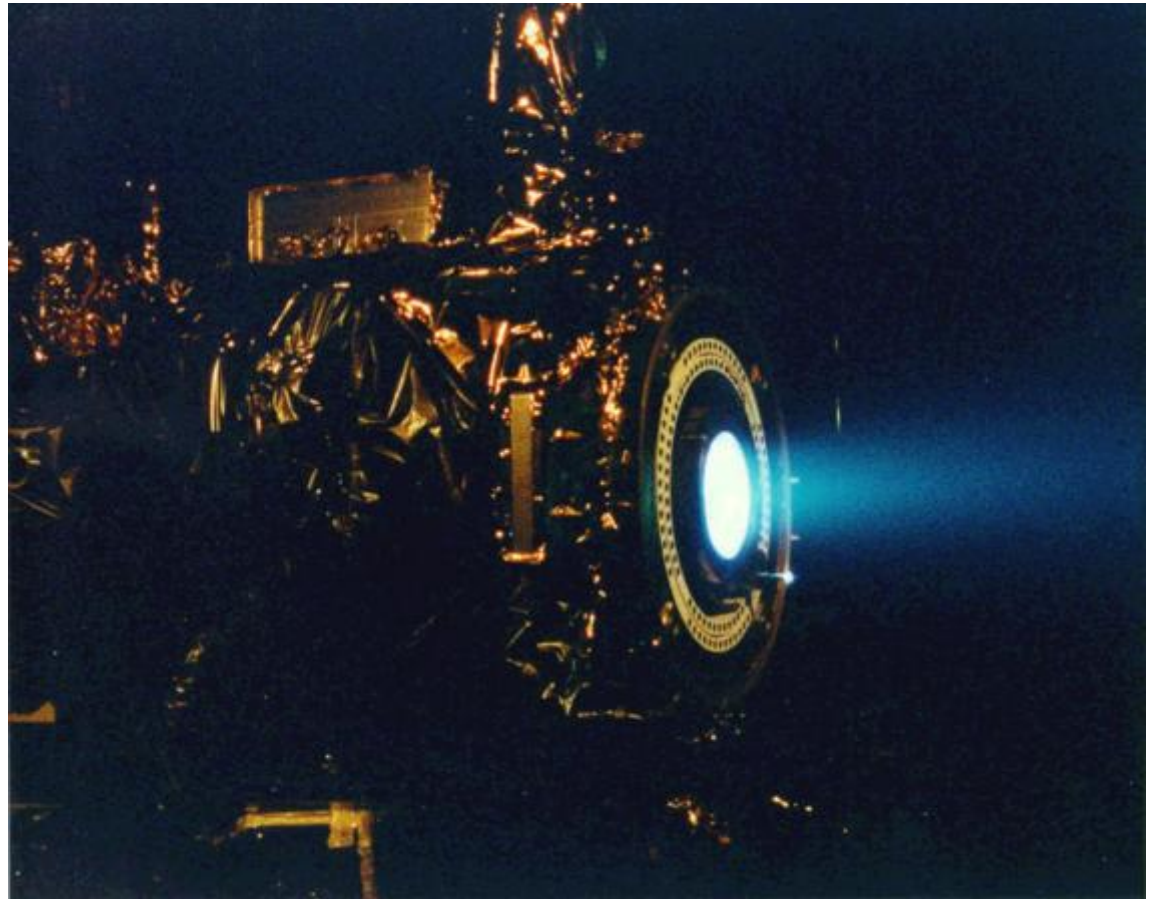
Kemiallinen rakettimoottori

- Perustuu palamisreaktioon
- Polttoaine joko nestemäistä (esim. vety + nesteytetty happi) tai kiinteää (esim. ruuti)
- Suuri työntövoima
- Melko pieni pakokaasun lähtönopeus, max. 4 km/s



Ionimoottori

- Ionisoitua kaasua (ajoainetta) kiihdytetään sähkökentän avulla
 - Energia saadaan aurinkopaneeleista
 - Hyvin pieni työntövoima, max. muutama Newton
 - Ajoaineen lähtönopeus selvästi suurempi kuin kemiallisella raketilla, jopa, 30 km/s
- ⇒ Ajoainetta tarvitaan paljon vähemmän samaan nopeuden muutokseen.



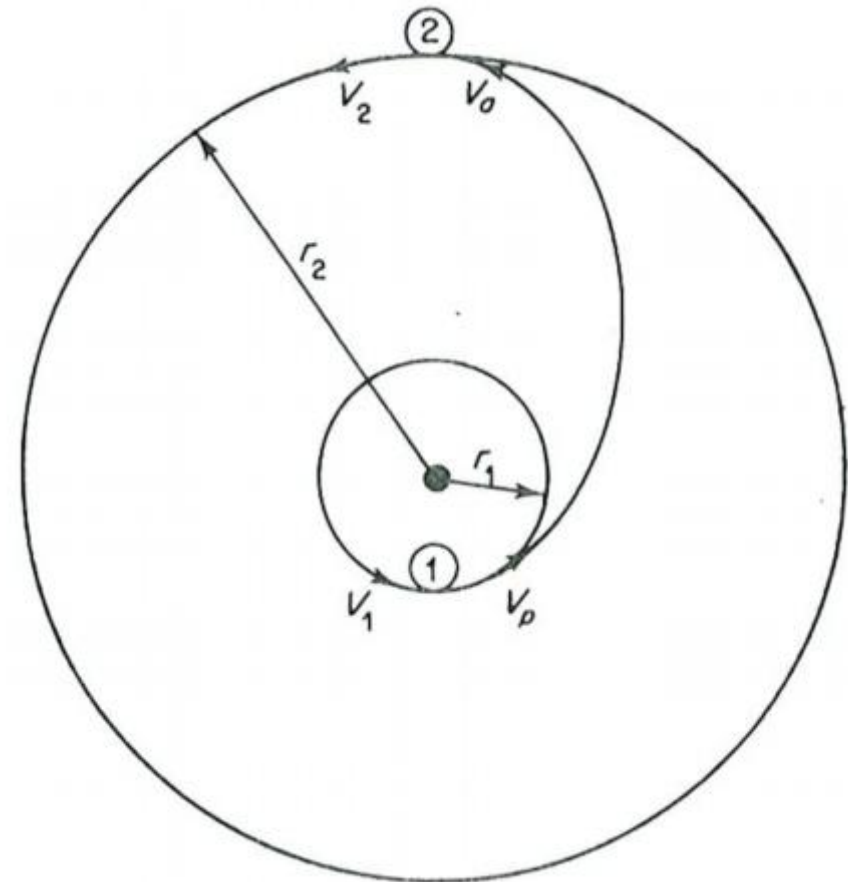


Kantoraketti

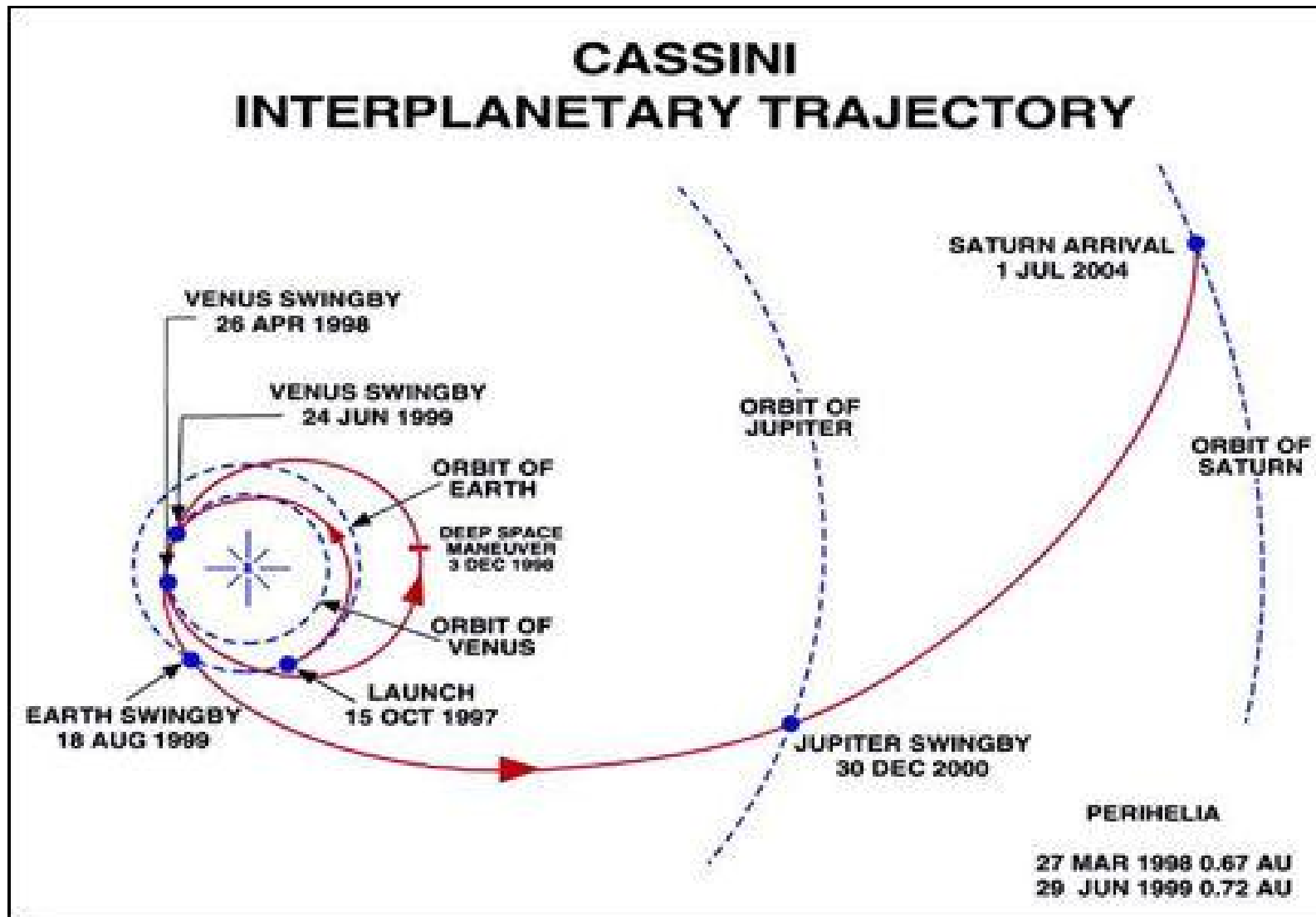
- Vain kemiallinen raketti soveltuu kantoraketiksi tarvittavan työntövoiman takia
- Matalalle kiertoradalle pääsemiseksi tarvittava kiihdytys
 $\Delta v = 9.5 \text{ km/s}$
 $\Rightarrow m_1/m_0 = 0.08$
- Pelkkä tyhjä polttoainetankki painaa n. 10 % sisällöstään
 \Rightarrow Yksivaiheinen kantoraketti on mahdoton!

Edullisin reitti toiselle planeetalle, osa 1: Hohmannin ellipsi

Planeetta	Tarvittava nopeuden muutos yht. eli Δv	Matka-aika
Venus	3.5 km/s	0.4 v
Mars	3.6 km/s	0.7 v
Jupiter	6.3 km/s	2.7 v
Pluto	8.4 km/s	45 v
Ulos Aurinkokunnasta	8.5 km/s	-



Edullisin reitti toiselle planeetalle, osa 2: ”Kosminen biljardi”



Avaruusaluksen anatomia

- Moottori
- Asennonsäätöjärjestelmä
 - kaasusuihkuttimet, magneetit, gyroskoopit
- Sähköjärjestelmä
 - aurinkopaneelit, polttokennot, ydinparistot, reaktorit, akut
- Lämmönsäätö
- Telemetry
 - radio, laser
- Datankäsittelylaitteisto
- Elossapitojärjestelmä

Osa II:

Menneet ja
nykyiset miehitetyt
alukset

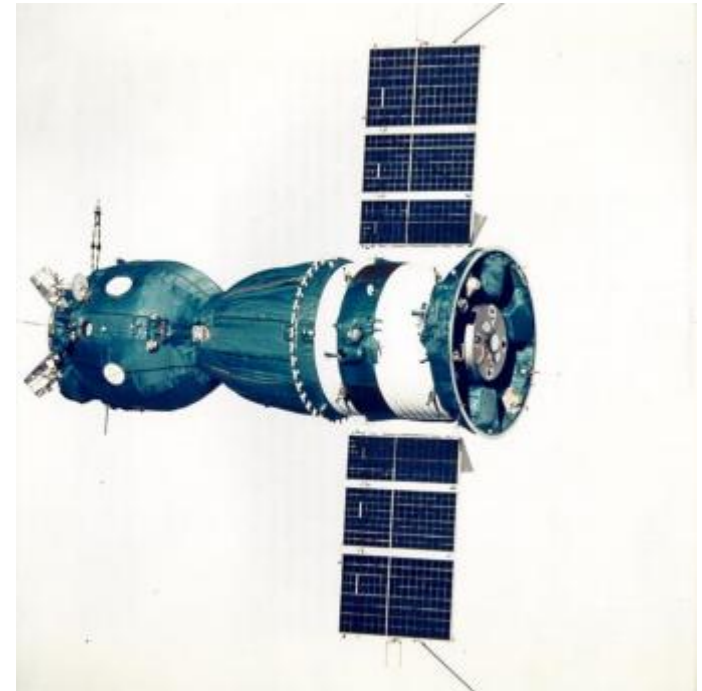
Historialliset miehitetyt alukset

- Vostok/Voshod (Neuvostoliitto)
 - käytössä 1961 - 1965
- Mercury (USA)
 - käytössä 1961 - 1963
- Gemini (USA)
 - käytössä 1964–1966
- Apollo (USA)
 - käytössä 1968-1975



Nykyiset miehitetyt alukset

- Sojuz (Neuvostoliitto/Venäjä)
 - ensilento 1967
 - Yli sata lentoa tähän mennessä
 - 2 onnettomuutta (1967 ja 1971)
- Avaruussukkula (USA)
 - ensilento 1981
 - 125 lentoa, 2 onnettomuutta
 - Poistuu käytöstä 2010
- Shenzhou (Kiina)
 - ensilento 2003
 - 2 lentoa tähän mennessä



Kansainvälinen avaruusasema (ISS)



- Hanke alkoi 1983
- Ensimmäinen osa avaruuteen 1998
- Valmistuu 2010?
- Mitat (2007 helmikuussa)
 - Leveys: 73,15 m
 - Pituus: 52,8 m
 - Korkeus: 27,4 m
 - Massa: 232 693 kg
 - Elintila: 425 m³

Osa III:

Lähtöleveys

Paluu ~~tulevaisuuteen~~ menneisyyteen

- 14. tammikuuta 2004 Presidentti George W. Bush julkaisi USA:n uuden avaruusstrategian:

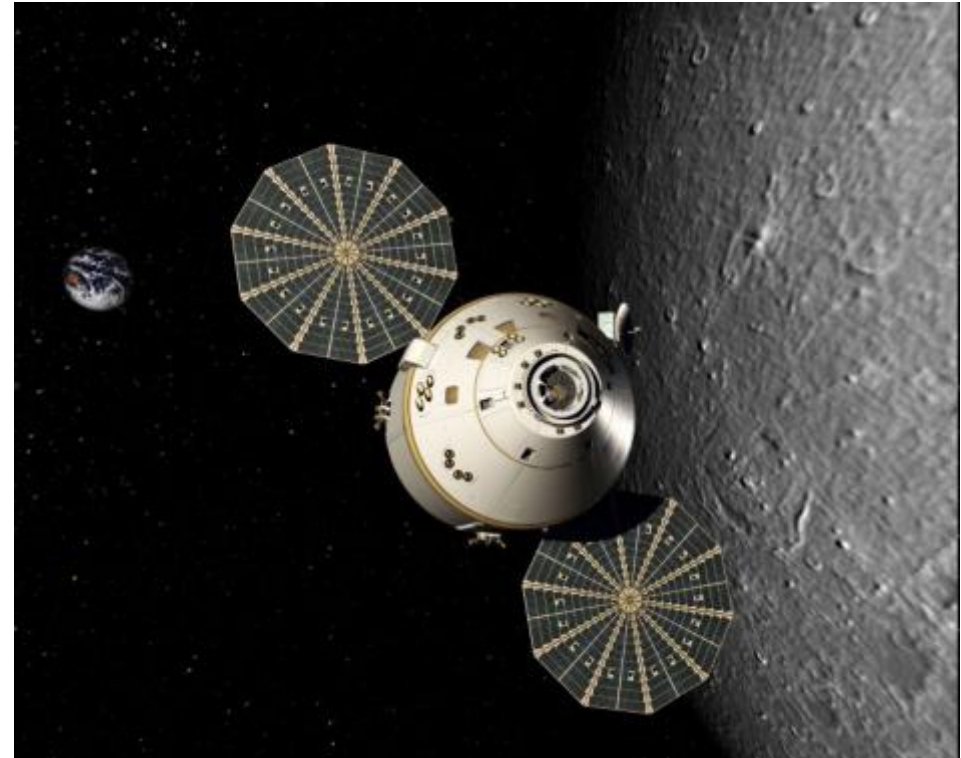
Vision for Space Exploration

”In preparation for future human exploration, we must advance our ability to live and work safely in space and, at the same time, develop the technologies to extend humanity’s reach to the Moon, Mars, and beyond.”

- Tämän uuden strategian ansiosta NASA on jälleen tosissaan alkanut suunnittelemaan miehitettyjä lentoja Kuuhun, Marsiin ”ja muualle”.

Uudet miehitetyt alukset (1/2)

- Orion (USA)
 - Avaruussukkulan korvaaja
 - Ensilento suunnitteilla 2014?
 - Kehitetty Apollon pohjalta, mutta 2 kertaa suurempi
 - Monikertakäyttöinen. Samaa kapselia voisi käyttää ehkä 10 kertaa



Uudet miehitetyt alukset (2/2)

- Kliper (Venäjä)

- Sojuz:in korvaaja

- Ensilento 2015??

- Pieni sukula, joka laukaistaan kantoraketilla. Paluu siipien ja nostava rungon avulla



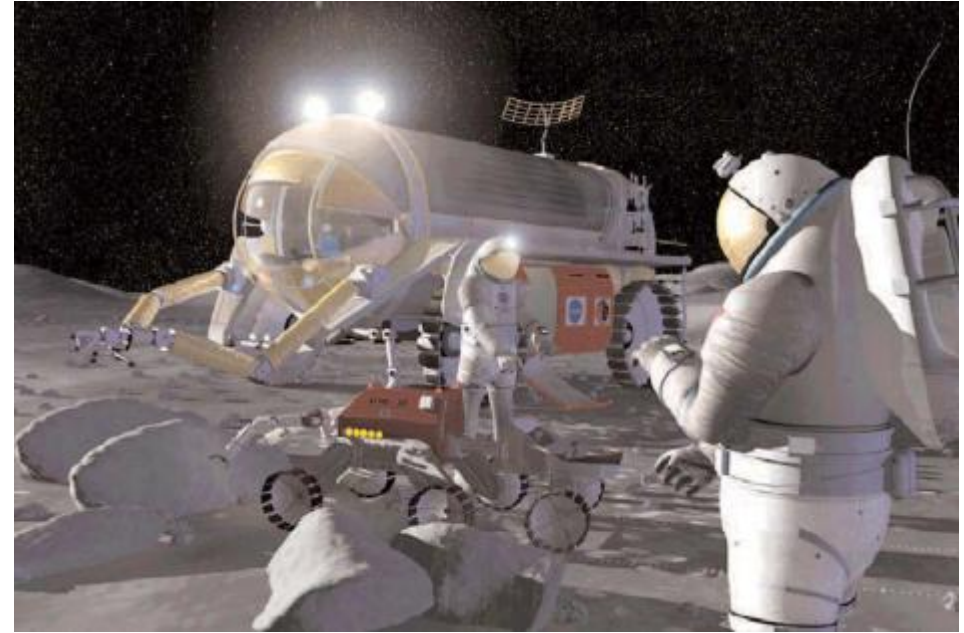
- Voidaan käyttää uudelleen 25 kertaa.

- Pääsee vain n. 200 km korkeuteen. Kansainväliselle avaruusasemalle pääsemistä varten (n. 350 km) tarvitaan ”avaruushinaaja” Parom, johon Kliper telakoituu avaruudessa

Kuuhun ...

- USA

- Paluu Kuuhun 2020 (virallinen tavoite).
- Aluksen suunnittelu pitkällä.
- Miehitetyn aseman rakentamisesta on puhuttu, mutta ei se ei ole virallinen tavoite.



- Venäjä:

- Omat miehitetyt kuulennot eivät virallisella asialistalla.
- Pyrkii yhteistyöhön Euroopan avaruusjärjestön, Kiinan ja Intian kanssa.
- Marraskuussa 2008 ESA:n ministerineuvosto tulee päättämään, yritetäänkö toteuttaa ESA:n ja Venäjän yhteinen suunnitelma kuulennosta v. 2018.

- Kiina

- Laskeutuminen Kuuhun 2022 (virallinen tavoite)
- Miehitetty asema suunnitteilla

... Marsiin ...

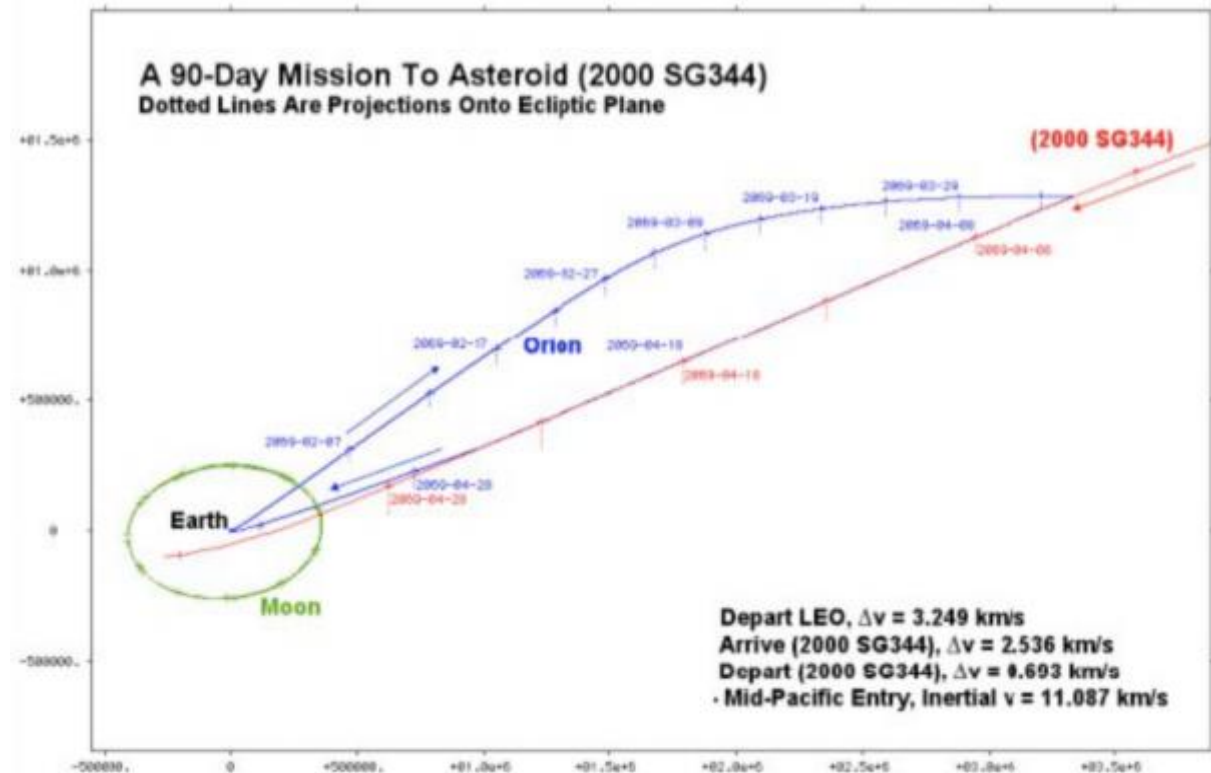
- Miehitetty lento Marsiin kuuluu sekä NASA:n, että Euroopan avaruusjärjestön (ESA) pitkän tähtäimen suunnitelmiin.
- Toteutuu aikaisintaan 2030 luvulla.
- Edestakaisen lennon kesto n. 17 kuukautta



- Perillä mahdollista olla joko n. 3 kk tai n. 19 kk
⇒ koko mission kesto 2-3 vuotta.

... ja kauemmaksi

- NASA on laatinut tänä vuonna selvityksen Orion-
aluksen käyttämiseksi asteroidin tutkimiseen.
- Tulos oli, että jos kohteeksi valittaisiin asteroidi, jonka
rata kulkee läheltä Maata, olisi lento toteutettavissa
ehkä jopa
halvemmallalla ja
helpommin kuin
Kuu-lento.
- Ehkä jo 2020
luvulla.
- Lennon kesto 90
... 180 päivää.



Planeettojen välisen lennon ongelmat

- Nousu toisen planeetan pinnalta
 - Kantoraketti mukaan?
- Elossapitojärjestelmiä
 - Ruuan tuotanto
 - Ilman, veden jne. kierrätys
- Säteilily
- Pitkä oleskelu painottomuudessa
 - ⇒ luuston heikkeneminen
- Psyykkiset ongelmat

Avaruusturismi

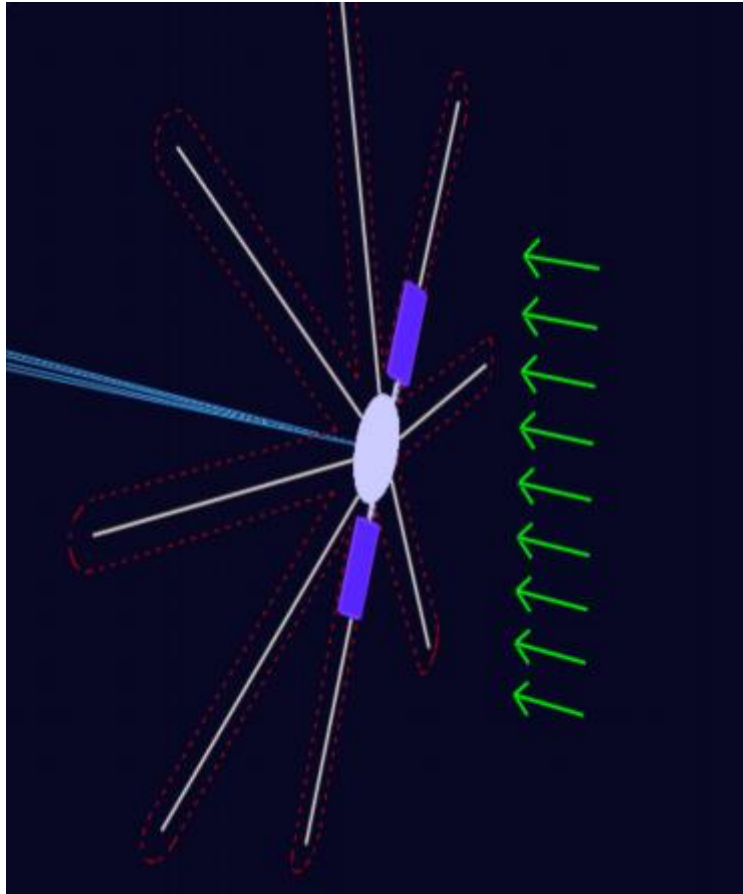
- Suunnitteilla on useita aluksia lyhyitä, kaupallisia avaruuslentoja varten.
- Muutama minuutti painottomuutta yli 100 km korkeudessa.
- Käytössä ehkä jo vuonna 2009.
- Ensimmäinen avaruuslentoyhtiö, ”Virgin Galactic”, on perustettu.
- Lippujen hinnat n. 200,000 \$, mutta hinta voi laskea vähitellen.
- Lippuja voi varata jo nyt: <http://www.virgingalactic.com>



Aurinkopurje ja sähköpurje (1/2)

- Painovoima ei tarkkaan ottaen ole ainoa ulkoinen voima avaruudessa. Onhan Auringon säteilypaine ja aurinkotuulen hiukkasvirran paine.
- Etu: Ajoainetta ei tarvita lainkaan.
- Työntövoima mitätön, mutta pitkän ajan kuluessa ”naurettavat nopeudet” mahdollisia.
- Myös Aurinkoa kohti ”luoviminen” mahdollista
- Kokeiluja varmasti tulossa seuraavien vuosikymmenten aikana.
- Tullaan tuskin käyttämään miehitettyihin lentoihin meidän elinaikanamme.

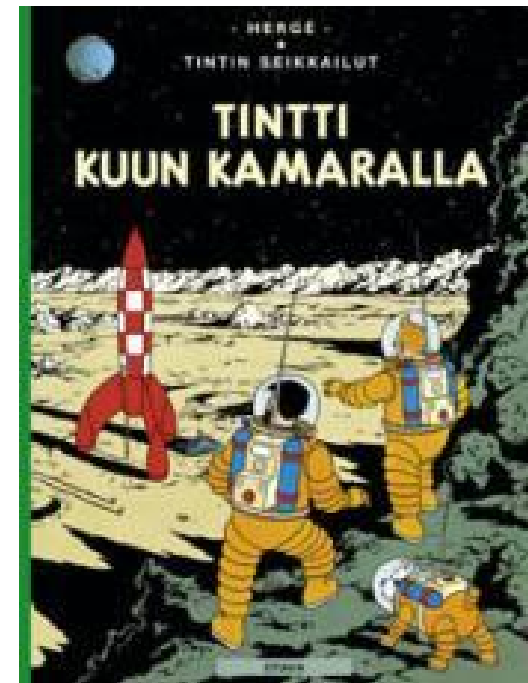
Aurinkopurje ja sähköpurje (2/2)



- Kaukaisessa tulevaisuudessa paras ratkaisu tulevaisuudessa planeettojenvälisen lentojen ”moottoriksi”.
- Sähköpurje: suomalainen keksintö
 - Esim. 200 kg alus, jossa 100 kpl. 20 km pitkä lankaa
 - Työntövoima 0.001-0.002 N
 - Vuodessa 30 km/s nopeuteen
 - Teoreettinen maksiminopeus n. 300 km/s = 0.1 % valon nopeudesta.

Lämpöydinraketti

- Ydinreaktorin tuottaman lämmön avulla kuumennetaan ajoainetta.
- NERVA-ohjelma 1959 – 1972
 - Eteni moottorin maanpäällisiin testeihin asti
 - 300 kN työntövoima
 - $V_e = 8 \text{ km/s}$
- Testejä avaruudessa suunnitteilla 2015 - 2018



Ionimoottori + ydinreaktori

- $V_e = 70$ km/s.
- 100 km/s nopeus saavutettavissa

Osa IV:

Aurinkokunnan
valloitus

Kiertoradalle halvemmalla

- Nykyistä laajamittaisemman avaruustoiminnan pahin este on laukaisukustannukset
- Lähitulevaisuudessa ei ole näkyvissä ratkaisua tähän
- Kaukaisemmassa tulevaisuudessa mahdollisia ratkaisuja
 - Avaruuslentokone
 - Tykillä kiertoradalle!
 - Avaruushissi

”Asuttamiskelpoisia” taivaankappaleita

- Kuu
- Mars
- Asteroidit
- Jupiterin kuut

Marsin ja Venuksen maankaltaistaminen

- Ilmastonmuutos -> planeetan kaasukehän muuttaminen nopeastikin on mahdollista, vaikka ei edes yrittäisi.
- Periaatteessa mahdollista, mutta vie aikaa ehkä 100 000 vuotta
- Magneettikentän puute todellinen ongelma

Osa V:

Ad Astra

Galaktiset etäisyydet

- 1 valovuosi = 150 miljoonaa kertaa Maan ja Auringon välinen etäisyys
- Alfa Centauriin 4.2 vv
- Linnunradan läpimitta 100 000 vv
- Jos Linnunradan läpimitta olisi 60 km, olisi Aurinkokunnan koko (Pluton radan säde) vain 1 mm.