

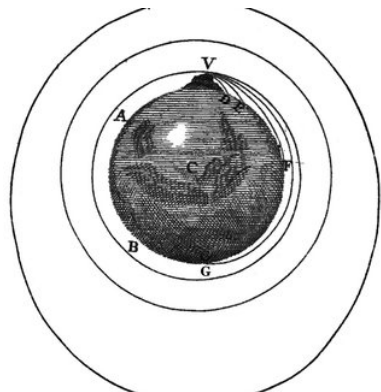
Ihminen avaruudessa

Tapio Hansson



Miten avaruuteen pääsee?

- ▶ Avaruuden raja menee n. 100 km korkeudella.
- ▶ Lähimpänä avaruudessa olevat kappaleet ovat Maan kiertoradalla.
- ▶ Avaruudessa pysyäkseen on päästävä ainakin kiertoradalle.
- ▶ Periaatteessa avaruuteen päästäkseen riittää ylittää riittävän suuri nopeus.
- ▶ Kuva etäisyyksistä avaruuteen



Kuva Newtonin
ajatuskokeesta Principia
Mathematicassa

Kosmiset nopeudet

- ▶ Kosmisia nopeuksia on kolme:
 1. kosminen nopeus jolla pääsee kiertoradalle (n. 8 km/s)
 2. kosminen nopeus, eli pakonopeus jolla pääsee pois Maan kiertoradalta (n. 11 km/s)
 3. kosminen nopeus, eli pakonopeus jolla pääsee pois Aurinkokunnasta (n. 42 km/s)
- ▶ Ensimmäinen kosminen nopeus saadaan, kun kappaleen sivusuuntainen nopeus on niin suuri, että Maan painovoima pitää kappaleen ympyräradalla, eli

$$\begin{aligned}G &= ma_n \\ \gamma \frac{mM}{r^2} &= m \frac{v^2}{r} \\ v &= \sqrt{\frac{\gamma M}{r}} \approx 8000 \text{ m/s},\end{aligned}$$

Missä M on Maan massa, r Maan säde ja γ gravitaatiovakio. Kappaleen massalla m ei siis ole merkitystä!

Pakonopeus

- ▶ Maan kiertoradalta kappale irtoaa, kun sen mekaaninen energia kasvaa positiiviseksi.
- ▶ Kappaleen gravitaatiokentän potentiaalienergia on

$$E_p = -\gamma \frac{mM}{r}$$

Kun liike-energia on yhtä suuri

$$\frac{1}{2}mv^2 = -\gamma \frac{mM}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\gamma M}{r}} \approx 11,2 \text{ km/s}$$

Kappale pakenee siis, kun sen liike-energia on gravitaatiokentän potentiaalienergiaa suurempi. Potentiaalienergian nollataso on valittu äärettömyyteen.

Pakonopeuksia

Pakonopeuksia eri taivaankappaleilta

Kappale	pakonopeus (km/s)
Merkurius	4,3
Venus	10,4
Maa	11,2
Mars	5,0
Jupiter	60
Saturnus	35
Uranus	21
Neptunus	24
Pluto	1,2
Kuu	2,4
Aurinko	618



Kuva: public domain

Rakettitekniikka

- ▶ Avaruuden tyhjiydessä ei voi ponnistaa, eikä hyödyntää väliainetta liikkumiseen.
- ▶ Polttoaine tulee poistaa raketista suurella nopeudella, jotta Newtonin 3. lain mukaan rakettiin kohdistuu vastakkaissuuntainen voima.
- ▶ Idea on peräisin Heronin höyrypallosta antiikin kreikassa. Luultavasti ensimmäinen laite, joka muuttaa lämpöä liikkeeksi.



Kuva: public domain

Rakettitekniikka

- ▶ Varsinaisia suunnitelmia avaruuslentoihin alettiin tehdä 1900-luvun alussa.
- ▶ Rakettitekniikan pioneereja olivat mm. venäläiset Konstantin Tsiolkovski ja Sergei Koroljov, yhdysvaltalainen Roberd Goddard sekä saksalaiset Hermann Oberth ja Wernher von Braun.
- ▶ Sotavuodet tehostivat rakettitekniikan kehitystä, vaikka suurin osa tiedemiehistä kehitti rakettia kiinnostukseta päästä avaruuteen.
- ▶ Ehkä merkittävin sodanajan tuote oli von Braunin kehittämä V-2 rakettiase.

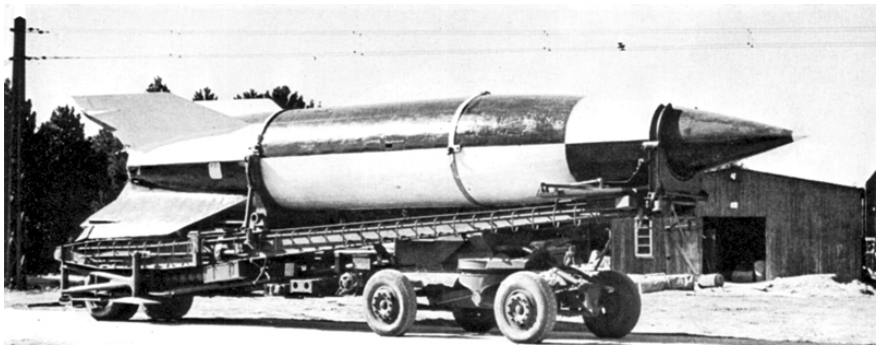
V-2

- ▶ Ensimmäinen esine, joka ylitti avaruuden rajan (100 km)
- ▶ korkeus: 14 m
- ▶ halkaisija: 1,65 m
- ▶ massa: 12 500 kg
- ▶ maksimikorkeus: 200 km
- ▶ kantama: 320 km
- ▶ maksiminopeus: 5760 km/h
- ▶ polttoaine:
etanolin vesiliuos (75 %) 3810 kg
+ 4910 kg nestemäistä happea
- ▶ yhteen rakettiin tarvittiin n. 30 T perunaa



Kuva: public domain

V-2



kuva: public domain

Wernher von Braun



Sodan jälkeen

- ▶ Takavariokoituja V-2 rakettia käytettiin avaruusteknologian pohjana sekä Neuvostoliitossa, että Yhdysvalloissa.
- ▶ Molemmat suurvallat olivat kehittäneet 50-luvulle tultaessa atomipommin, joten ne tarvitsivat myös laitteen, jolla niitä voisi ampua toisten niskaan.
- ▶ Asevarustelua naamioitiin avaruuskilpailuksi, mutta kilpa toimi samalla oman valtion erinomaisuuden pönkittämisessä.
- ▶ Suurvaltojen lisäksi taistelu henkilöityi myös Yhdysvaltoihin siirtyneen von Braunin ja Koroljovin välille, joskin Koroljov pysyi varsin tuntemattomana Neuvostoliiton hajoamiseen asti.

Merkittäviä hetkiä 40-luvulla

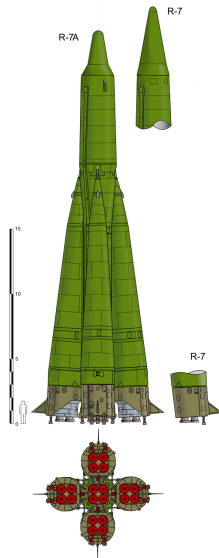
- ▶ 1945: [Jet Propulsion Lab](#) perustetaan Caltechiin.
- ▶ 1947: Ensimmäinen äänen nopeuden ylittänyt lentokone Bell X-1 vuonna.
 - ▶ Ennätysnopeus 1,35 Mach ja maksimikorkeus 22 km
- ▶ 1947: [Kapustin Jarin](#) koeasema perustetaan Neuvostoliittoon. R-sarjan kehittäminen alkaa.
- ▶ 1949: Ensimmäinen kaksivaiheinen raketti. JPL:n Corporal-raketti yhdistettynä V-2:een.



Kuva: Sergei Koroljov, public domain

R-7

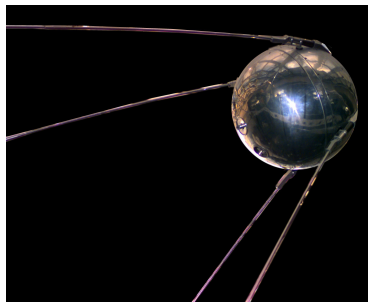
- ▶ Ensimmäinen mannertenvälinen ohjus
- ▶ ensilento 21.8.1957
- ▶ korkeus: 34 m
- ▶ halkaisija: 10 m
- ▶ massa: 280 000 kg
- ▶ kantama: 8800 km
- ▶ maksiminopeus: n. 7 km/s
- ▶ kuljetti ensimmäisen satelliitin avaruuteen
- ▶ yhteensä 32 moottoria



Kuva: Heriberto Arribas Abato,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17400127>

Sputnik

- ▶ Ensimmäinen Maan kiertänyt esine
- ▶ laukaisu: 4.10.1957
- ▶ massa: 83,6 kg
- ▶ korkeus: 215 - 939 km
- ▶ toiminta-aika: 3 kk
- ▶ Sisälsi lämpötila- ja painemittarin sekä kaksi radiolähetintä.
- ▶ Lähetti tiedot Maahan [radiosignaalina](#), jota innokkaat radioamatöörit kuuntelivat ympäri maailman.



Kuva: public domain

Laika

- ▶ Neuvostoliiton toinen satelliitti vei mukanaan Moskovan kaduilta löydetyn kulkukoiran, joka sai nimekseen Laika.
- ▶ Satelliitti laukaistiin lokakuun vallankumouksen 40-vuotispäivänä 7.11.1957.
- ▶ Neuvostoliitto väitti Laikan eläneen neljä vuorokautta tyytyväisenä painottomuudessa.
- ▶ Todellisuudessa koiraparka kuoli kuumuuteen 5-7 tuntia lähdön jälkeen nopeasta aikataulusta johtuneen lämpösuojauksen puutteen takia.



Kuva: luultavasti fair use

Explorer 1

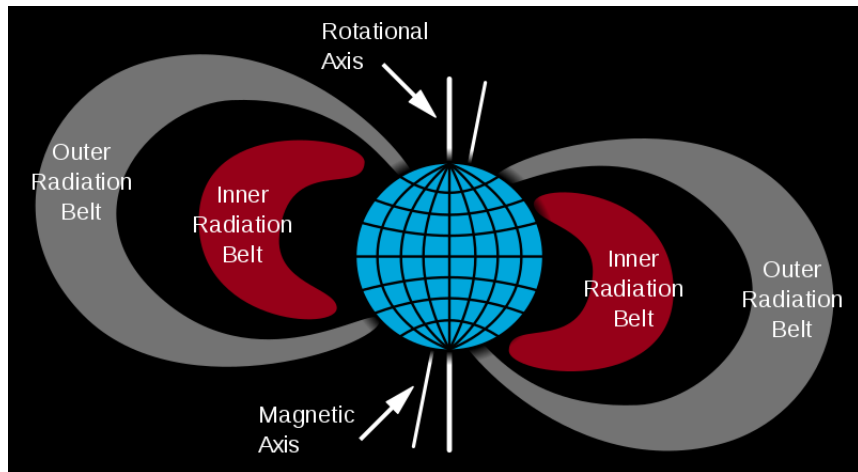
- ▶ Yhdysvaltain ensimmäinen satelliitti.
- ▶ laukaistu: 1.2.1958
- ▶ massa: 14 kg
- ▶ lentokorkeus: 358 - 2 550 km
- ▶ kuljetti Geiger-mittaria, jolla löydettiin Van Allenin vyöhykkeet.
- ▶ paloi ilmakehässä 31.3.1970
- ▶ Van Allenin vyöhykkeiden tarkempi kartoitus tehtiin Explorer 3-satelliitilla.



Kuva: public domain

Van Allenin vyöhykkeet

Maan magneettikenttä kerää runsaasti varattuja hiukkasia tiettyihin kohtiin n. 1000 - 6000 km korkeudelle, sekä 10 000 - 65 000 km korkeudelle.



kuva: public domain

Vanguard 1

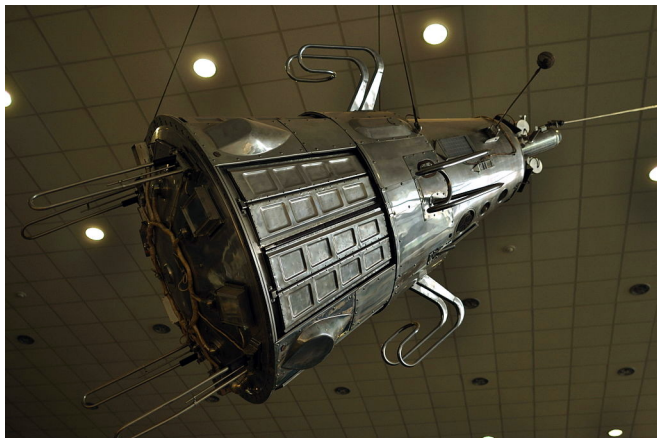
- ▶ Vanhin yhä kiertoradalla oleva satelliitti.
- ▶ Ensimmäinen USA:n laivaston satelliitti.
- ▶ massa: 1,47 kg
- ▶ halkaisija: 15 cm
- ▶ lentokorkeus: 654 - 3 969 km
- ▶ Ensimmäinen aurinkopaneeleja käyttävä satelliitti
- ▶ Lähettimen signaali kuultu viimeksi 1964
- ▶ Pysyy radalla n. 240 vuotta



Kuva: public domain

Sputnik 3

Sputnik 3 laukaistiin epäonnistuneen Sputnik 2:n jälkeen 15.5.1958. Sen massa oli huimat 1327 kg ja sen oli alunperin tarkoitus olla ensimmäinen satelliitti. Nauhurivian vuoksi useista mittalaitteista ei ollut juuri hyötyä.



kuva: CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17939334>

Kohti Kuuta

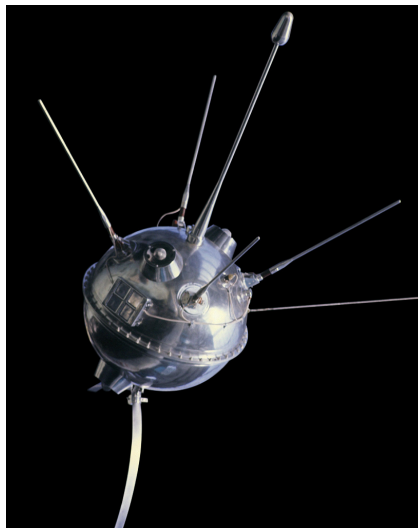
- ▶ Kuuhun pääsemiseen vaaditaan huomattavasti enemmän energiaa kuin Maan kiertoradalle. (vähintään n. 11 km/s nopeus.)
- ▶ Mitä lähempänä Kuu on, sitä vähemmän energiaa tarvitaan, joten laukaisuikkunoita on vain kerran kuussa parin päivän ajan.
- ▶ Kuun pinnasta oli saatava tarkempia tietoja luotaimilla, ennen kuin ihmistä voitiin lähettää sinne.
- ▶ Kuuhun lähetettiin törmäysluotaimia, joiden oli tarkoitus lähettää Maahan mahdollisimman paljon tietoa ennen tuhoutumistaan.

Kilpaa Kuuhun

- ▶ 11.10.1958 Yhdysvaltojen Pioneer 1-luotain pääsi 114 000 km korkeuteen, mikä on n. $1/3$ matkasta kuuhun.
- ▶ Pioneer 2 ja 3 tuhoutuivat loppuvuodesta pääsemättä kovin kauas.
- ▶ Koroljovin rata Kuuhun oli nopeampi kuin Yhdysvaltojen, joten vuonna 1958 he odottivat, että epäonnistuuko Yhdysvaltojen laukaisu, ja jos se onnistuu, he ehtisivät silti ensin lähtemällä perään.
- ▶ Tammikuussa 1959 Neuvostoliiton Luna 1 ohitti Kuun 6000 km etäisyydeltä, ja jäi Aurinkoa kiertävälle radalle.
- ▶ Yhdysvaltain Pioneer 4 pääsi samaan maaliskuussa.

Luna 1

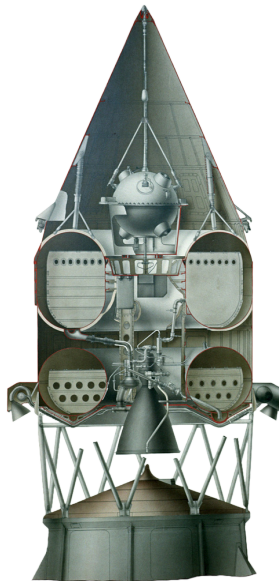
- ▶ Ensimmäinen Maan pakonopeuden ylittänyt laite
- ▶ Havaitsi, ettei Kuulla ole magneettikenttää.
- ▶ Teki havaintoja aurinkotuulesta, kosmisesta säteilystä ja mikrometeoroideista.
- ▶ massa: 361 kg



Kuva: By RIA Novosti archive, image 510848 / Alexander Mokletsov /CC-BY-SA 3.0

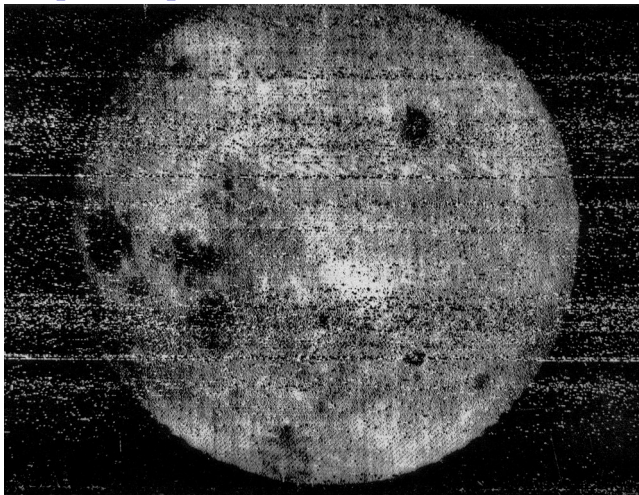
Luna 2

- ▶ Ensimmäinen Kuuhun päätynyt laite.
- ▶ Mittasi jälleen säteilyä ja magneettikenttää.
- ▶ Törmäsi Arkhimedes-kraaterin lähelle, ja levitti alueelle Neuvostoliiton viirejä.
- ▶ Neuvostajohtaja Nikita Hruštšov oli ”sattumalta” valtiovierailulla Yhdysvalloissa ja julisti presidentti Eisenhowerille:
Amerikka nukkuu neuvostokuun alla.



Kuva: By RIA Novosti archive, image 73086 / Alexander Mokletsov / CC-BY-SA 3.0

Kuun pimeä puoli

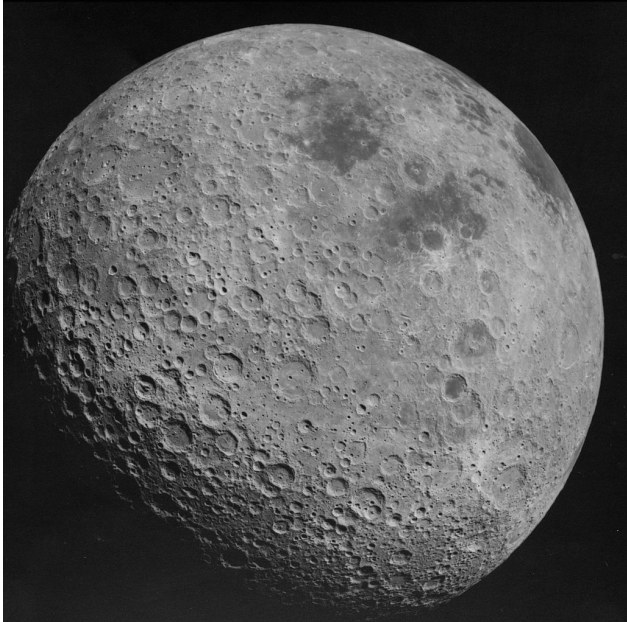


kuva: public domain

Luna 3 luotain kuvasi ensimmäisenä Kuun pimeän puolen.

Kuva oli ensin otettava filmille, filmi kehitettävä luotaimessa, ja sitten skannattava tv-kameralla, koska livekuvaa Kuun takaa ei saa lähetettyä.

Dark Side Of The Moon

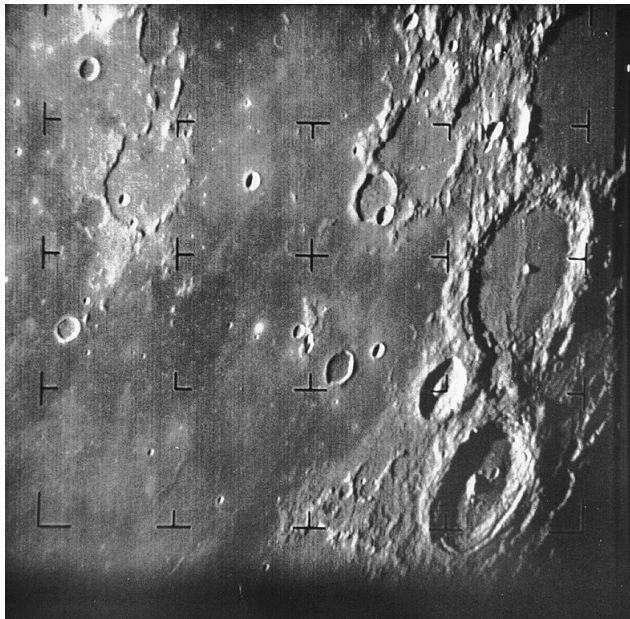


kuva: Apollo 16 1972, public domain

Kuun pinnalle

- ▶ NL ja USA lähettivät Kuuta kohti yhteensä kymmeniä luotaimia.
- ▶ Onnistuneita lentoja oli ehkä n. puolet.
- ▶ Luna-ohjelmassa oli vuosina 1959-76 24 luotainta.
- ▶ Luna 9 laskeutui pehmeästi Kuuhun helmikuussa 1966.
- ▶ Amerikkalaisten ensimmäiset olivat Ranger-luotaimet, joita oli 9 vuosina 1961-65.
- ▶ Onnistuneempi sarja oli Surveyor-luotaimet; viisi onnistunutta seitsemästä. Surveyor 1 oli ensimmäinen amerikkalainen luotain, joka onnistui laskeutumaan pehmeästi Kuun pinnalle.

Ensimmäinen NASA:n kuva Kuusta (Ranger 7 1964)



kuva: public domain

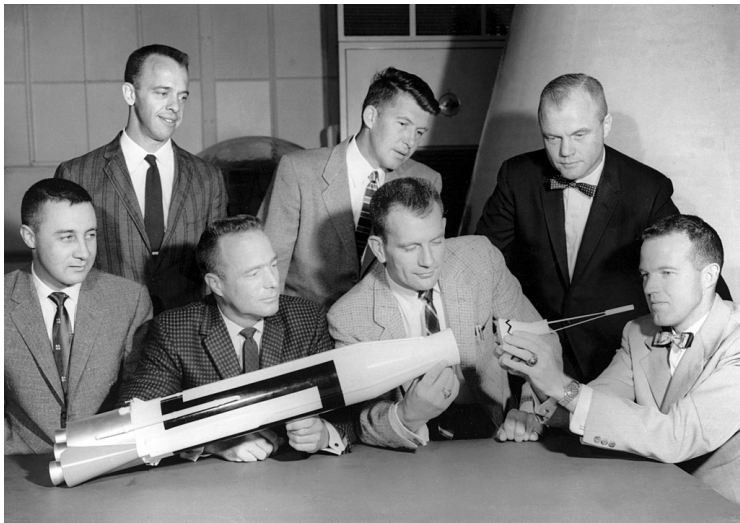
Ihmisiä avaruuteen

- ▶ Avaruuteen pääseminen on itseasiassa vielä helppoa, jos vertaa sieltä pois pääsemiseen.
- ▶ Ilmakehän kitka kuumentaa sen läpi putoavia kappaleita niin paljon, että yleensä ne palavat ja tuhoutuvat kokonaan.
- ▶ Elävän olennon kuljettava kapseli on hidastettava sopivasti, ja tämä vaatii energiaa, eli polttoainetta.
- ▶ Hidastukseen on käytettävä ilmakehän kitkaa, joten kaikki laitteet lämpösuojataan hyvin huolellisesti.
- ▶ Ensimmäinen kädellinen avaruudessa oli Ham the Astrochimp vuonna 1961.



Kuva: public domain

Mercury-ohjelma



kuva: public domain

Ensimmäiset astronautit, Gus Grissom, Alan Shepard, Scott Carpenter, Wally Schirra, Deke Slayton, John Glenn ja Gordon Cooper.

Juri Gagarin

- ▶ Ensimmäinen ihminen avaruudessa 12.4.1961.
- ▶ Kiersi Maan Vostok 1 aluksellaan.
- ▶ Vietti kiertoradalla n. 90 min.
- ▶ Poistui heittoistuimella suunnitelmien mukaan n. 7 km korkeudessa.
- ▶ Ei päässyt enää toiselle avaruuslennolle, korvaamattoman propaganda-arvonsa vuoksi.
- ▶ Alkoholisoitui, päätyi ”kansanedustajaksi” ja Sojuz-lentojen lennonjohtoon.
- ▶ Kuoli hävittäjäonnettomuudessa koelennolla 1968.



Kuva: public domain

Space Race

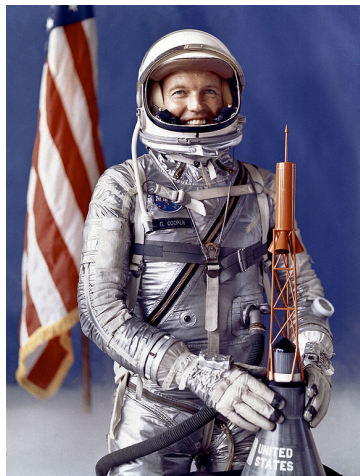
- ▶ Kuukausi Gagarinin jälkeen Alan Shepard lensi n. 15 minuutin avaruusloikan ja Virgil Grissom seurasi kesällä perästä.
- ▶ Molemmissa lennoissa oli hieman lähelläpitilanteita, mutta päättyivät onnellisesti.
- ▶ Neuvostoliitto vastasi 6.8. lennättämällä German Titovin 25 tunnin kierrokselle. Titov sairastui matkalla, mutta pääsi onnellisesti takaisin Maahan.
- ▶ Loppuvuodesta 1961 Yhdysvallat kierrätti Enos simpanssin Maan ympäri kahdesti.



Kuva: public domain
Kuvassa astronauttikokelas Jerrie Cobb Mercury-kapselin kanssa.

Space Race

- ▶ Yhdysvallat jäi jälkeen avaruuskisassa, mutta otti ison askeleen kiinni, kun John Glenn kiersi Maan kolmesti.
- ▶ Scott Carpenter suoritti tieteellisiä kokeita ja viimeisellä Mercury-sarjan lennolla 15.5.1963 Gordon Cooper vietti avaruudessa n. puolitoista vuorokautta.
- ▶ Vostok 3 ja 4 kohtasivat toisensa n. 5 km etäisyydeltä. Kosmonautti Nikkolajev irtautui turvavöistä ja kellui painottomuudessa suorassa TV-lähetyksessä. Hän oli avaruudessa lähes neljä päivää.



Kuva: public domain
Gordon Cooper.

Naiset kiertoradalla

- ▶ Neuvostoliitto lähetti Valentina Tereskovan avaruuteen Vostok 6:n mukana 16.6.1963.
- ▶ Tarkoitus oli innostaa naisia kommunismiin.
- ▶ Seuraava nainen lensi vasta 1982, kun Svetlana Savitskaja lensi Sojuz-aluksella.
- ▶ Ensimmäinen naisastronautti oli Sally Ride Challenger-sukkulalla vuonna 1983.



Kuva: public domain
Valentina Tereskova

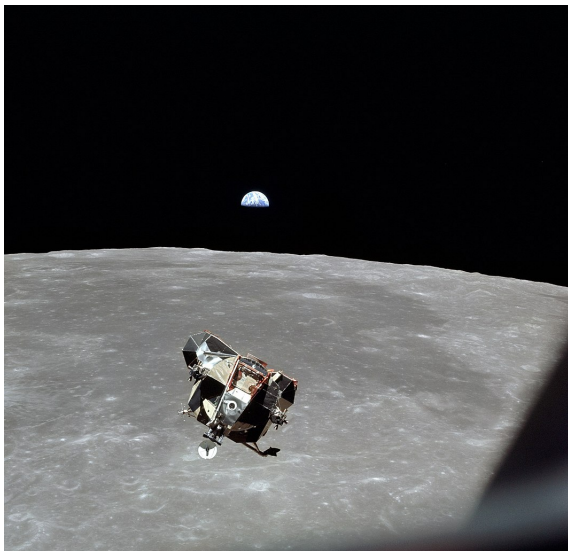
Kilpajuoksi Kuuhun

- ▶ Gagarinin ja Luna 2:n myötä Neuvostoliitto otti poliittisesti tiukan otteen avaruuskilvassa.
- ▶ Yhdysvaltain presidentti John F. Kennedy julisti, että yhdysvaltalainen kävisi kuussa ennen 60-luvun loppua.
- ▶ Kuulentoja valmisteltiin Apollo-ohjelmassa 60-luvun alusta alkaen. Kennedyn ilmoituksen jälkeen ohjelman resurssit paranivat huomattavasti.
- ▶ Neuvostoliitto antoi ymmärtää, että sitä ei miehitetty kuulento kiinnosta, mutta myöhemmin kävi ilmi, että myös siellä oli useita kuulento-ohjelmia.
- ▶ Miehitettyjen lentojen ollessa kehitteillä, myös ohilentojen ja miehittämättömien luotainten kehitys oli tärkeää.

EOR, LOR vai suora lento?

- ▶ Kuuhun on pitkä matka, joten suoran lennon toteuttaminen vaatii valtavan tehokkaan raketin ja runsaasti polttoainetta.
- ▶ Von Braun kannatti tätä ideaa yksinkertaisen tekniikan vuoksi.
- ▶ Toinen vaihtoehto on EOR (Earth Orbit Rendezvous), jossa alus kohtaa Maan kiertoradalla huoltomoduulin.
- ▶ Kolmas vaihtoehto on LOR (Lunar Orbit Rendezvous), jossa huoltoalus on Kuuta kiertävällä radalla. Tähän vaihtoehtoon sisältyy eniten riskejä, mutta se on selvästi energiatehokkaampi.
- ▶ Yhdysvallat päätti selvityksen jälkeen, että LOR on riskeistään huolimatta toteuttamiskelpoisiin.

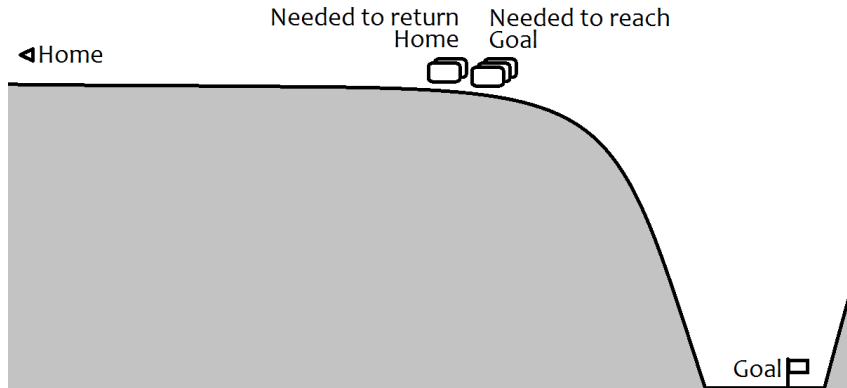
Kotka palaa pesään



kuva: Michael Collins, public domain

Apollo 11 kuumoduuli palaa komentoalukseen.

LOR säästää energiaa



kuva: Tdadamemd, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38915508>

Voshod - Punainen aamunkoi

- ▶ Neuvostoliiton Sojuz-ohjelma ei ehtinyt mukaan Yhdysvaltojen uhkaillessa avaruuskävelyllä.
- ▶ Kiireen vuoksi Koroljov päätyi muokkaamaan Vostokista 2. sukupolven version, johon mahtuisi kolme kosmonauttia.
- ▶ Vanha tekniikka ei sallinut tyhjiötä aluksen sisällä, joten ilmalukon vuoksi yksi paikka jäi pois Voshod I jälkeen.
- ▶ Ensimmäinen testi epäonnistui, mutta toinen onnistui, ja 12.10.1964 Voshod I vei miehistön avaruuteen.
- ▶ 18.3.1965 lähti mahtaan Voshod II, jolla Aleksei Leonov suoritti ensimmäisen avaruuskävelyn.

Leonov ensimmäisellä avaruuskävelyllä



kuva: Ria Novosti, fair use

Voshod II - Avaruuskävely

- ▶ Ensimmäinen avaruuskävely oli varsin lähellä ensimmäistä avaruuskatastrofia.
- ▶ Vostokia ei oltu suunniteltu avaruuskävelyä varten, joten Voshodiin tehdyt muokkaukset eivät aivan riittäneet.
- ▶ Leonov vietti aluksen ulkopuolella n. 10 minuuttia.
- ▶ Ulkoisen paineen pienennyttyä hänen pukunsa pullistui niin ettei hän mahtunut takaisin ilmalukkoon.
- ▶ Leonov laski pukunsa sisäistä painetta, ja sai vaivoin sullottua itsensä takaisin ilmalukkoon.
- ▶ Ilmalukon irrottaminen sai aluksen pyörimään, eikä ilmalukon luukkua saatu suljettua tiiviisti, joten ilmaa vuoti avaruuteen.

Voshod II - Paluu vuoristoon

- ▶ Voshodin jarruraketit eivät käynnistyneet suunnitellusti pyörimisestä johtuen.
- ▶ Kosmonautit saivat käynnistettyä jarruraketit käsin, mutta avaruuspukujen vuoksi siinä kesti niin kauan, että laskeutumispaikka siirtyi 2000 km syrjään keskelle Ural-vuoristoa.
- ▶ Pelastushelikopteri ei voinut laskeutua lumiseen vuoristoon, joten se vain pudotti vaatteita ja tarpeita kosmonauteille, jotka joutuivat viettämään kylmän yön aluksessaan susien ulvoessa ulkopuolella.
- ▶ Seuraavana päivänä kosmonautit saatiin pelastettua.
- ▶ Kävelyn tieteelliset saavutukset jäivät varsin pieneksi, ja mediahuomion vei Hruštšovin joutuminen kotiarestiin ja Brežnevin nouseminen valtaan.

Gemini

- ▶ Yhdysvaltain kahden hengen avaruuslennot alkoivat viikko Voshod II:n jälkeen.
- ▶ Gemini 3 (23.3.1965) kesti n. 5 tuntia, mutta onnistui muuttamaan rataansa ensimmäisenä miehitettynä lentona.
- ▶ Gemini 4 (3.6.1965) kesti jo neljä vuorokautta, mikä toi uusia haasteita ravinnon ja hygienian suhteen.
- ▶ Gemini 4:llä suoritettiin avaruuskävely, jossa astronautti liikkui paineilman avulla.
- ▶ Gemini 5 (21.8.1965) kesti jo 8 vuorokautta.
- ▶ Gemini 7 laukaistiin ongelmien vuoksi ennen Gemini 6:tta, teknisten ongelmien vuoksi. Kuutonen laukaistiin myöhemmin ja alukset kohtasivat vain noin 30 cm päässä toisistaan!

Gemini

- ▶ Gemini 8 lennolla Neil Armstrong ja David Scott onnistuivat telakoitumaan Agena-alukseen.
- ▶ Gemini 10 lennolla astronautti Collins haki Agena-aluksesta mittalaitteen avaruuskävelyllä.
- ▶ Gemini 12 lennolla Buzz Aldrin teki erinomaisesti onnistuneen avaruuskävelyn, jossa astronautin liikkumista oli kehitetty.
- ▶ Gemini-lennot osoittivat, että telakoituminen avaruudessa on käytännössä mahdollista.



Kuva: public domain
Astronautti Elliot See