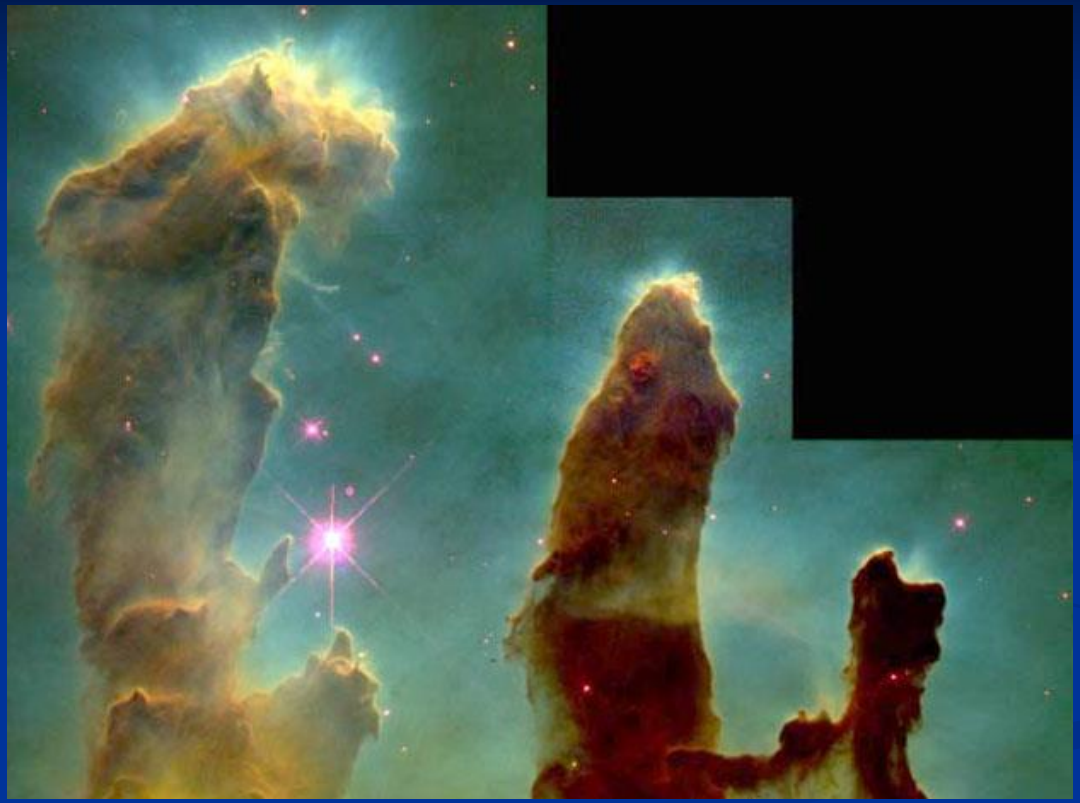
Aurinkokunta

Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa

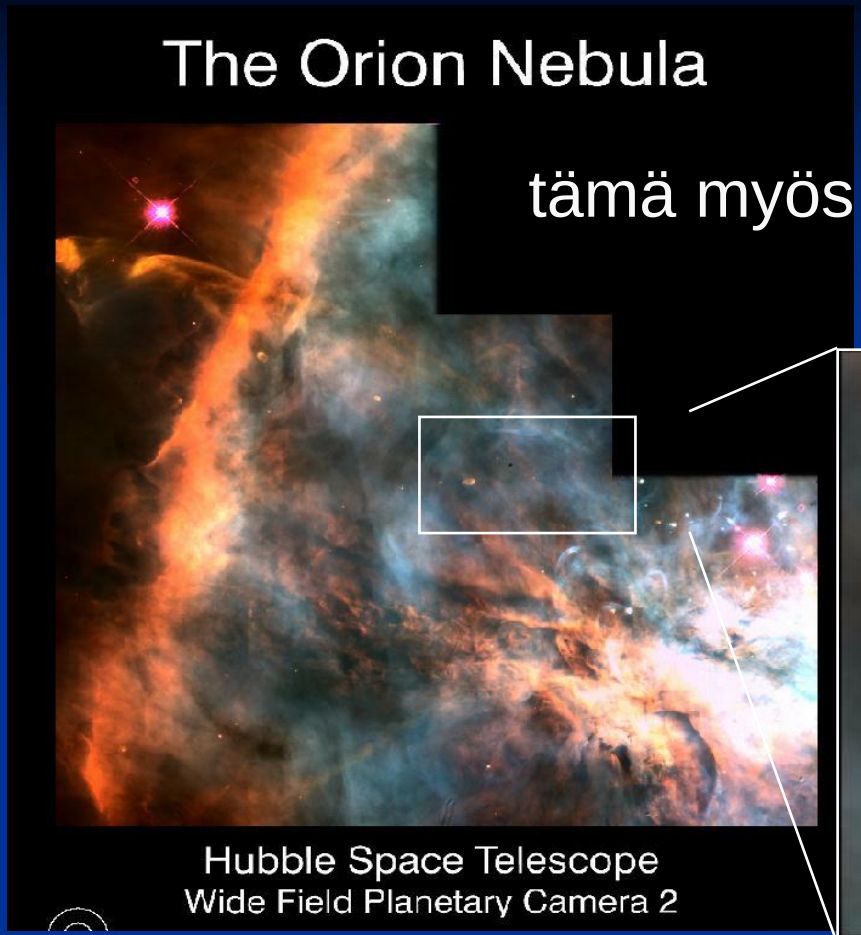
International Astronomical Union
Astronomical Institute of the Romanian Academy, Romania
ITeDA and National Technological University, Argentina
University of the Republic, Uruguay

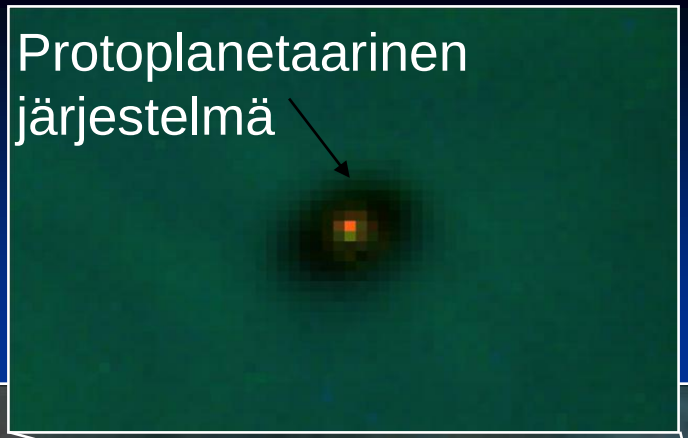
Tämä on paikka, jossa tähtiä syntyy



Messier 16, Luomisen pilarit

Lähde: Hubble-avaruuskaukoputki


The Orion Nebula
tämä myös
Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

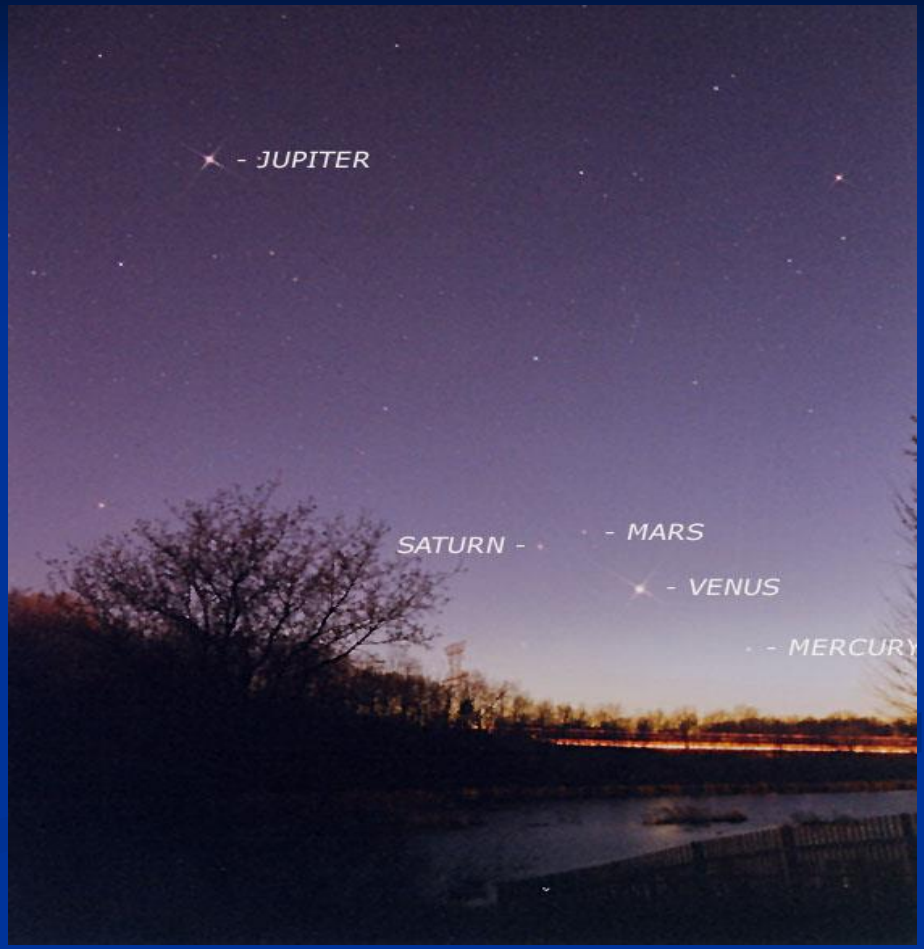

Protoplanetaarinen
järjestelmä

Planeetat entisaikoina: Näkyminen paljain silmin

Merkurius
Venus

Näkyvissä auringon-nousun tai -laskun aikaan

Mars
Jupiter
Saturnus

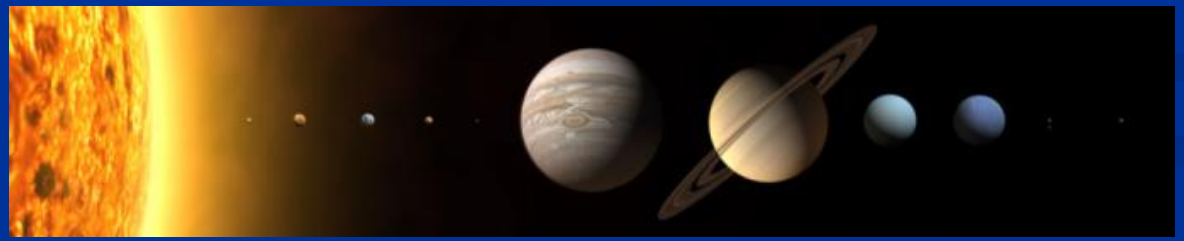


Planeetat linjassa taivaalla toukokuussa 2002

Aurinkokunta tänään

Koostuu Auringosta ja kaikista sen ympäri kiertävistä kappaleista

- **8 planeettaa**
- **Sadat planeettojen luonnoliset satelliitit**
- **Kääpiöplaneetat (esim. Ceres, Pluto, Haumea, Makemake ja Eris)**
- **Tuntematon määrä pieniä kappaleita: Asteroideja, komeettoja, transneptuniset kappaleet - jäänyt irralleen planeettojen muodostuessa**



Missä aurinkokunta sijaitsee?

Orionin haarassa, yhdessä Linnunradan haaroista.

Linnunradassa on noin 200,000 miljoonaa tähteä ja sen halkaisija on noin 100,000 valovuotta.

Aurinkokunta sijaitsee ~25,000 valovuoden päässä galaksin keskustasta (eli noin puolen halkaisijan päässä), ja sillä menee 250 miljoona vuotta kiertää galaksin keskustan ympäri. Vauhti on 220 km/s (800 000 km/h)

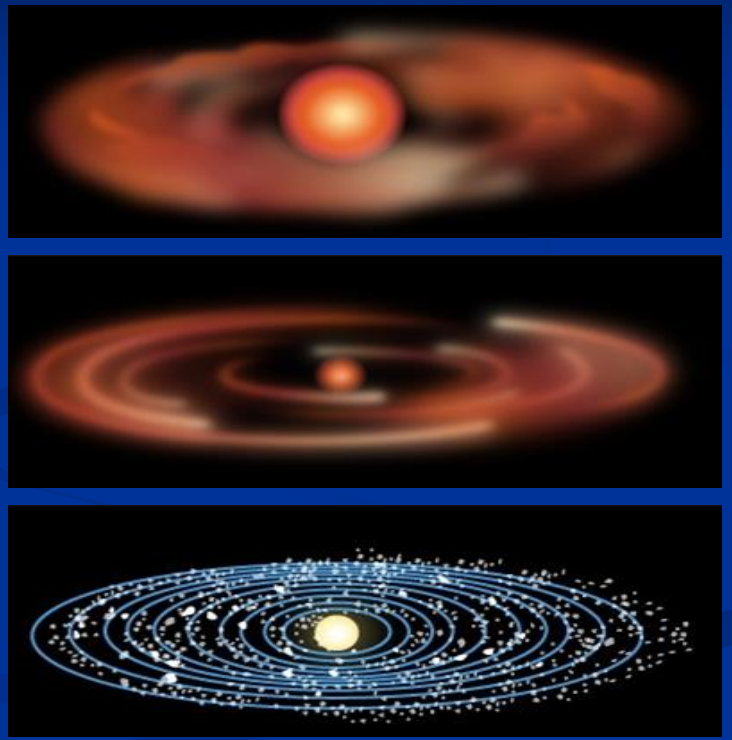
Malli Linnunradasta, Spitzerin infrapunahavaintojen perusteella (2005). Galaksimme on sauvaspiraaligalaksi.

Aurinkokunnan muodostuminen

- Vallitsevan teorian mukaan Aurinkokunta muodostui 4,6 miljardia vuotta sitten tähtienvälisen kaasun ja pölyn tiivistyessä painovoiman takia. Pilven luhistuminen alkoi voimakkaasta häiriöstä (mahdollisesti supernovaräjähdyksestä), jonka takia painovoiman vetovoima ylitti kaasun paineen.
- Pyörimismäärän säilyminen aiheutti pilven pyörimisen kiihtymisen, litistymisen sekä prototähden syntymisen sen keskelle ja protoplanetaarisen kiekon syntymisen prototähden ympärille.

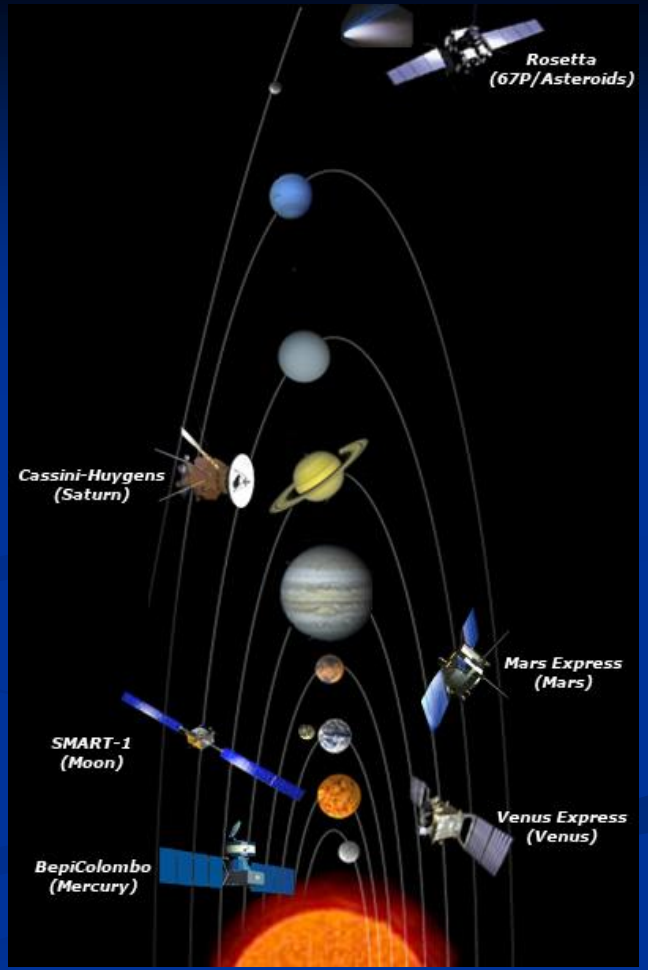
Aurinkokunnan muodostuminen

- Protoplanetaarisessa kiekossa tiivistyi pieniä, kiinteitä ytimiä (planetesimaalit), jotka sitten kasaantuivat yhteen muodostaen planeetat
- Yllä kuvailtu standarditeoria on hyväksytty, koska sen ennustamia protoplanetaarisia järjestelmiä nuorten tähtien ympärillä on pystytty kuvaamaan korkearesoluutioisilla radiokuvilla, ja koska se selittää näissä järjestelmissä olevien planeettojen muodostumisen.



Aurinkokunnan tutkiminen

Aurinko kattaa yli 99,8 % Aurinkokunnassa olevasta massasta, kun taas 98 % pyörimismäärästä on planeettojen kiertoliikkeessä.
Tällä hetkellä Aurinkokunnan tutkimusta tehdään paitsi maasta käsin, myös avaruuskaukoputkien sekä avaruuteen ja jopa planeettojen pinnoille laskeutuvien tutkimusvälineiden avulla.



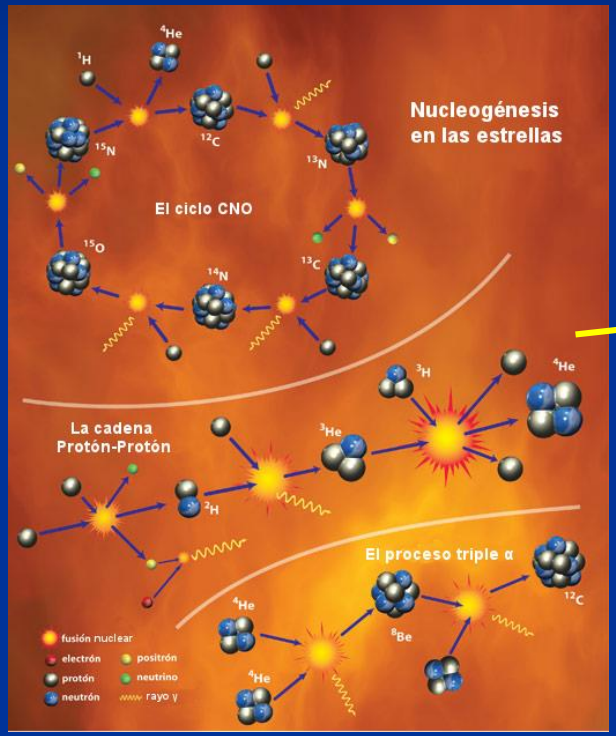
Credit: NASA

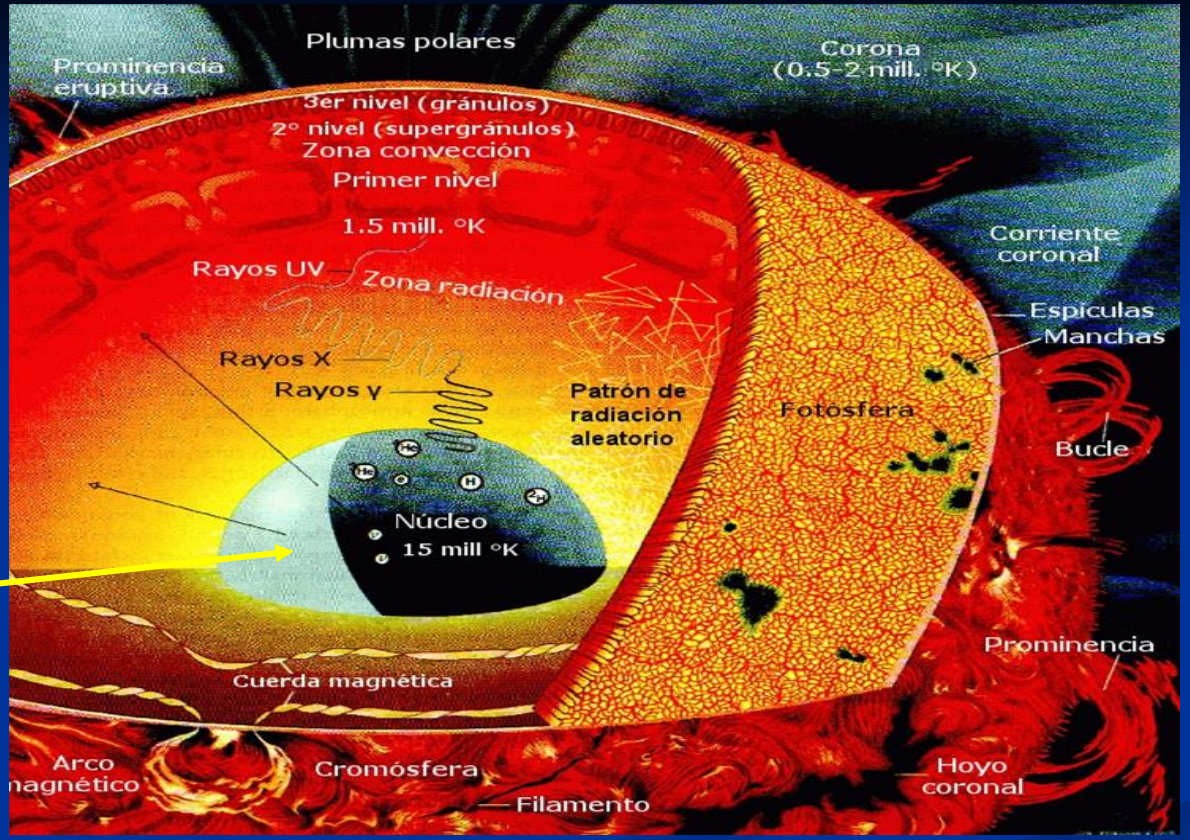
Tähtemme Aurinko

- Aurinko on nyt, 4 600 miljoona vuotta vanhana, suunnilleen puolivälissä elinkaartaan.
- Joka sekunti Auringon ytimessä 4 miljoonaa tonnia ainetta muuttuu energiaksi, synnyttäen suuren määrän neutroneita, positroneja ja säteilyä.

74% Auringosta on vetyä, 25% heliumia ja loppu painavampia alkuaineita

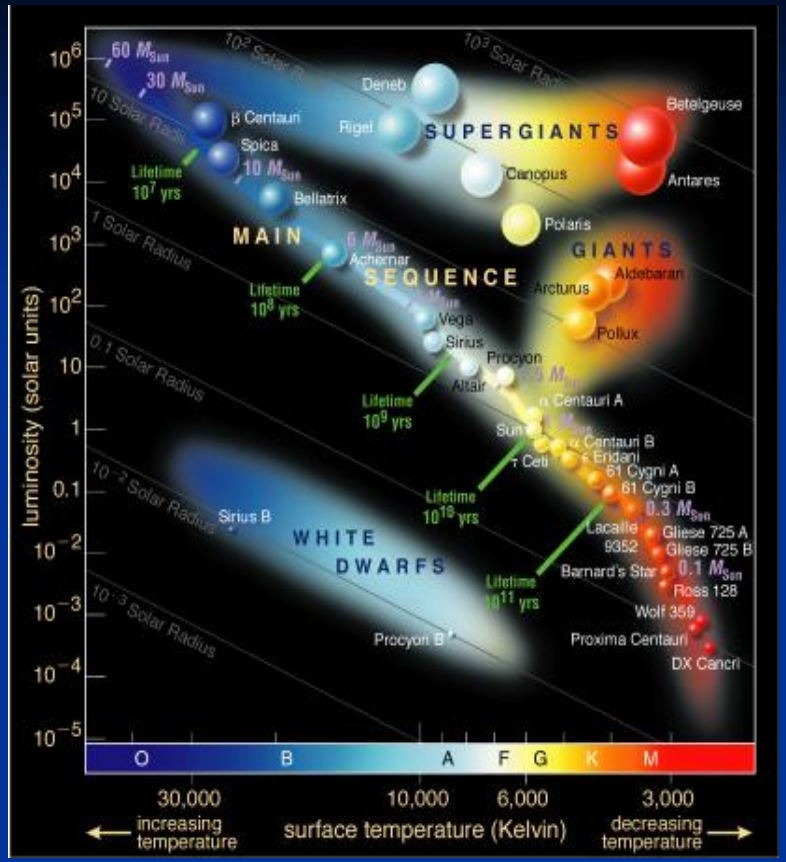
Auringon rakenne

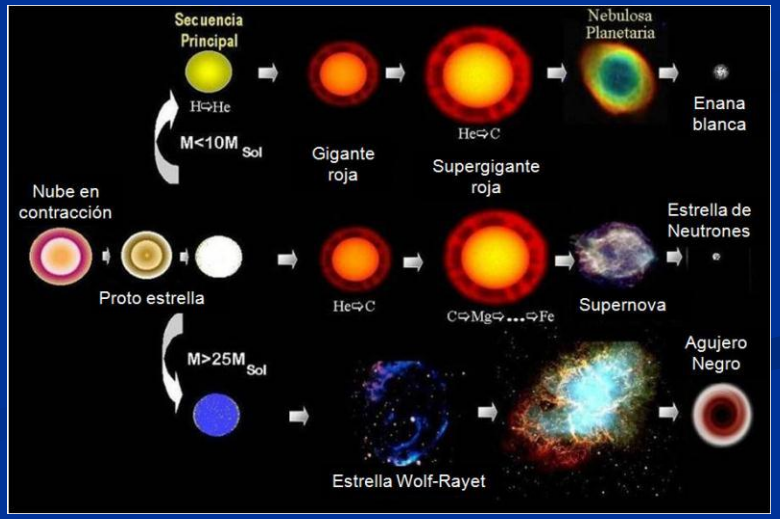




Energiantuotanto: Fuusio ytimessä

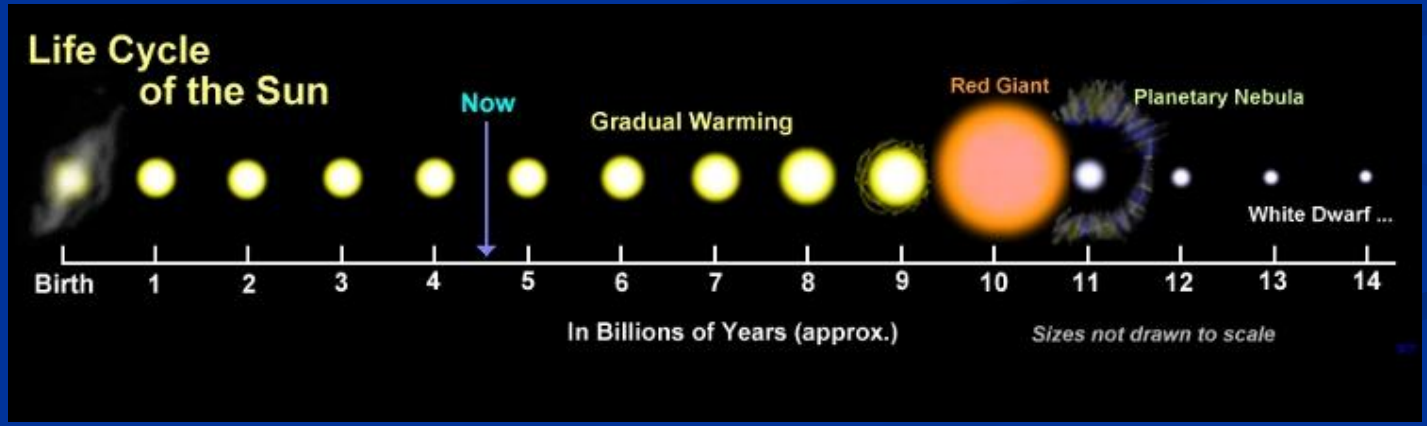
Tähtien elämä riippuu niiden massasta





Auringon elämänkaari

5 000 miljoonan vuoden päästä Aurinko alkaa laajeta ja muuttuu punaiseksi jättiläiseksi. Se heittää uloimmat kerroksensa ulos, mikä synnyttää planetaarisen sumun, jonka keskelle jää pieni, valkoiseksi kääpiöksi kutsuttu tähti, joka viilenee hitaasti.



Planeetat

XXVI IAU-AG Resolution, Praha, 2006:

Aurinkokunnassa, planeetta on kappale

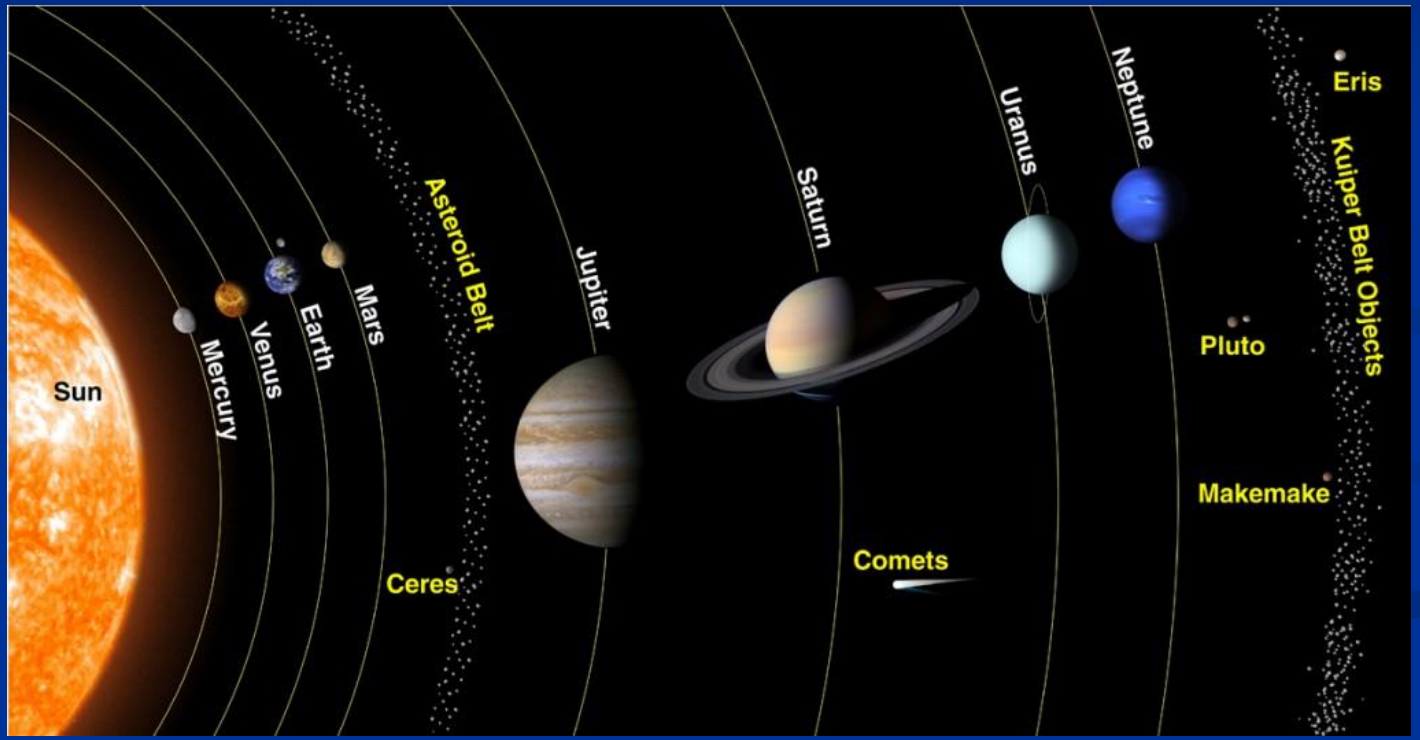
1. joka kiertää Aurinkoa,
2. jolla on riittävän suuri massa, jotta sen itseensä kohdistama painovoima voi muotoilla kappaleen hydrostaattisessa tasapainossa olevaan pallomaiseen muotoon ja
3. joka on puhdistanut ratansa lähiympäristön muista kappaleista.

Kappale, joka täyttää vain kaksi ensimmäistä kriteeriä ja joka ei ole sateliitti, luokitellaan kääpiöplaneetaksi.

Kappale, joka täyttää vain ensimmäisen kriteerin ja joka ei ole satelliitti, luokitellaan aurinkokunnan pienkappaleiksi.

Aurinkokunta tänään

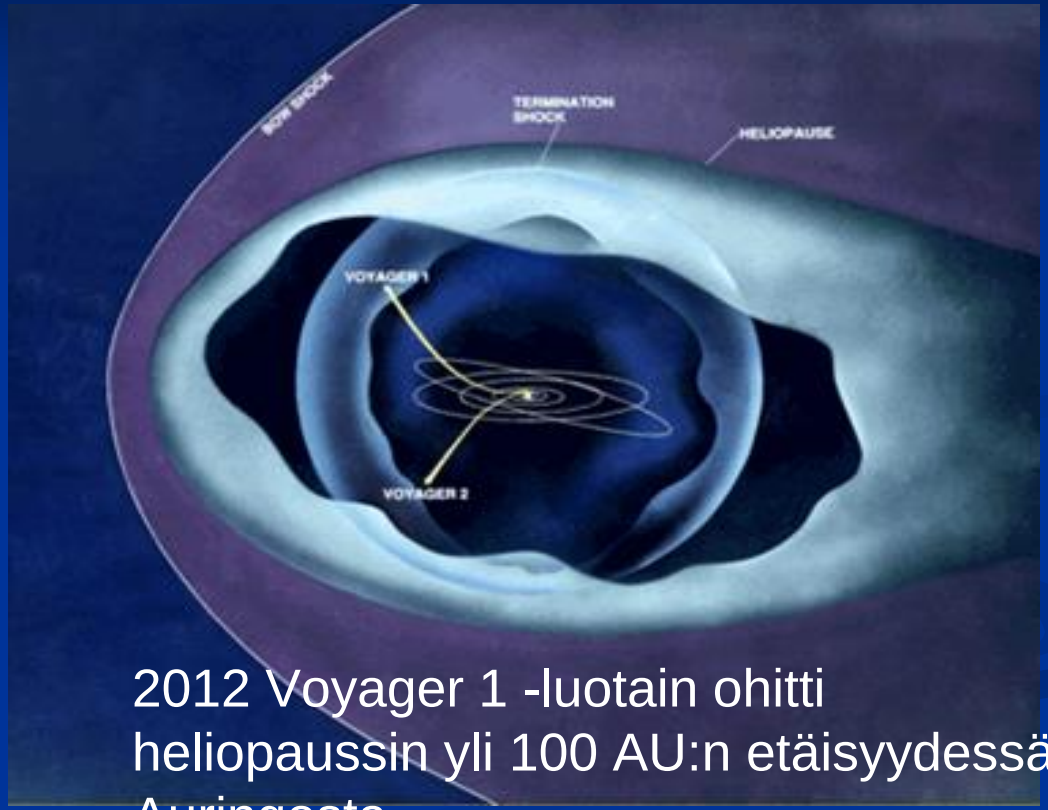
(kappaleet koon mukaan oikeassa mittasuhteessa)



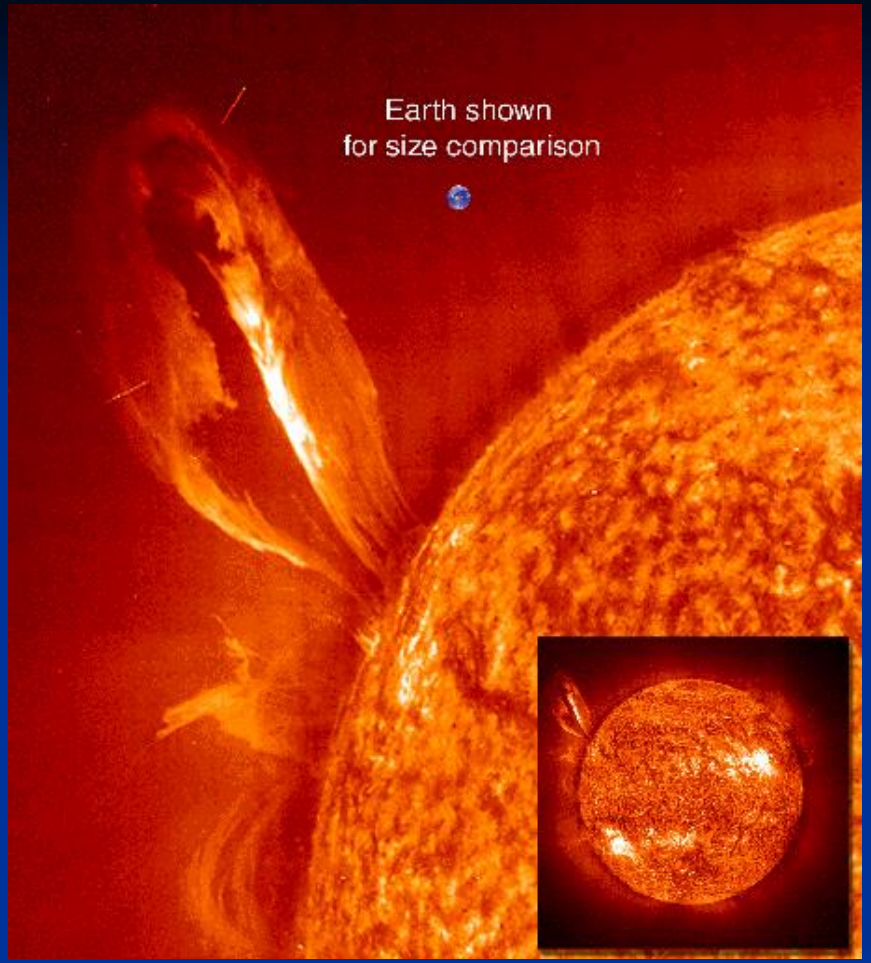
Aurinkokunnan raja

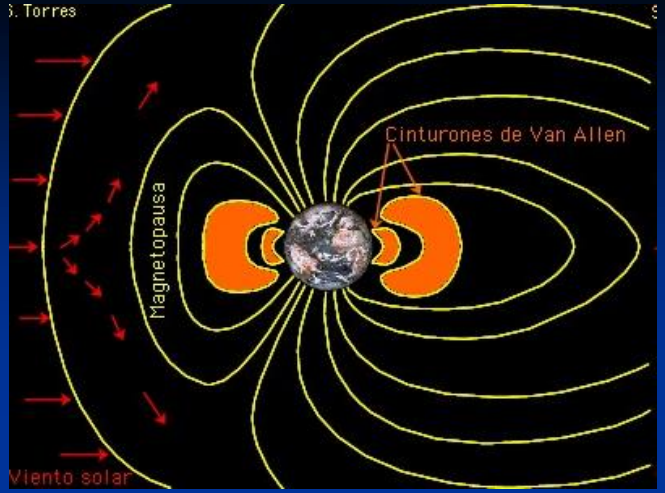
Kaikki planeettojen kiertoradat ovat heliosfäärissä, avaruuden alue, jossa on Auringosta peräisin olevia magneettikenttiä ja plasmaa (aurinkotuulta)

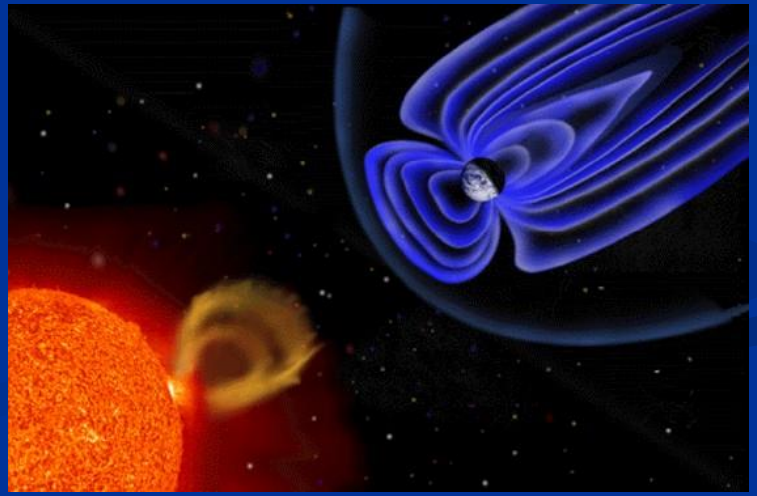
Heliopaussi on heliosfäärin ulkoraja, jossa aurinkotuuli sekoittuu tähtienväliseen aineeseen



2012 Voyager 1 -luotain ohitti heliopaussin yli 100 AU:n etäisyydessä Auringosta



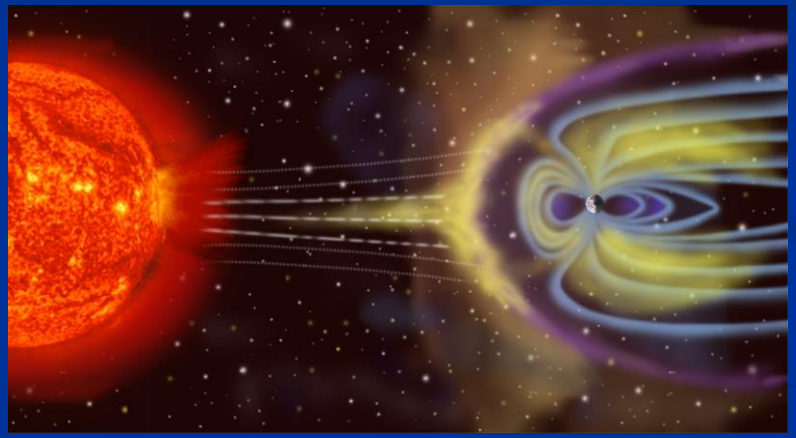




Aurinko-Maa-ympäristö

Planeettojenvälinen aine

Auringosta lähtee sähkömagneettista säteilyä ja plasmaa (jatkuva virta varattuja hiukkasia ja plasmaa).



Aurinkotuuli liikkuu 1,5 miljoonan kilometrin tuntinopeudella, luoden heliosfäärin, heikon ilmakehän, joka kattaa koko Aurinkokunnan noin 100 AU:n päähän Auringosta. Tämän ulkoraja on heliopaussi.

Maan magneettikenttä suojelee ilmakehää aurinkotuulelta ja synnyttää revontulet ja eteläntulet

Heliosfääri antaa Aurinkokunnalle osittaisen suojan kosmiselta säteilylä, suoja, joka on vahvempi planeetoilla, joilla on magneettikenttä.

Avaruussäätä tarkkaillaan kellon ympäri

Planeetat

Aurinkokunnan kahdeksan planeettaa voidaan jakaa

- **4 maankaltaiseen planeettaan** Aurinkokunnan sisäosissa (Merkurius, Venus, Maa ja Mars). Kivisiä, tiheydet keskimäärin 4-5 g / cm^3.
- **4 jättiläisplaneettaan** Aurinkokunnan ulommissa osissa. Nämä voidaan jakaa edelleen:
  - **kaasujättiläisiin**: Jupiter ja Saturnus. Näissä on paljon vetyä ja heliumia, ja kemiallinen koostumus on samantapainen kuin Auringossa
  - **jääjättiläisiin**: Uranus ja Neptunus. Jäätä on näissä kaasuja enemmän. Niiden kemiallinen koostumus poikkeaa Auringosta paljon
- Jättiläisplaneetat ovat vähemmän tiheitä kuin maankaltaiset planeetat. Niiden tiheys on 0,7(Saturnus)-2 g/cm^3.

Jättiläisplaneetat muodostuivat 10 miljoonan vuoden aikaskaalalla. Maankaltaisilla planeetoilla meni noin 100 miljoona vuotta.

Ne eivät muodostuneet nykyisillä kiertoradoillaan, vaan muodostumassa olevien jättiläisplaneettojen ja muualle siirtyneiden tai Aurinkokunnasta täysin sinkoutuneiden planetesimaalien väliset kiertoliikkeiden vuorovaikutukset aiheuttivat paikkojen muutoksia

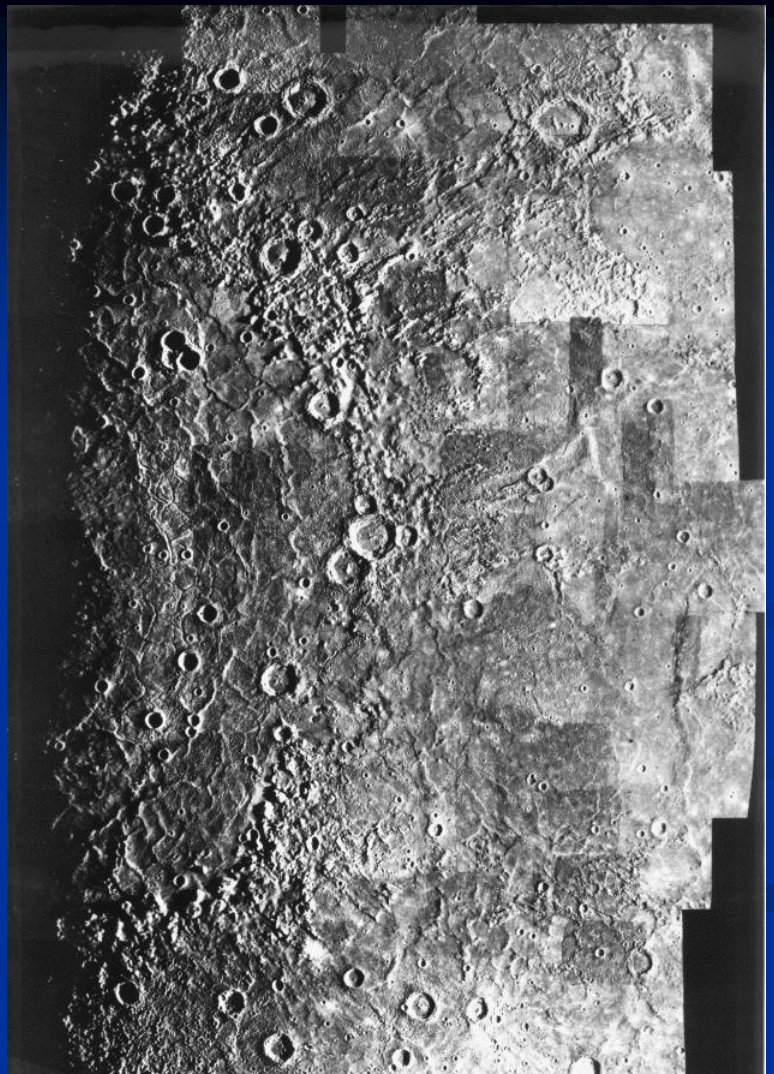
Maa

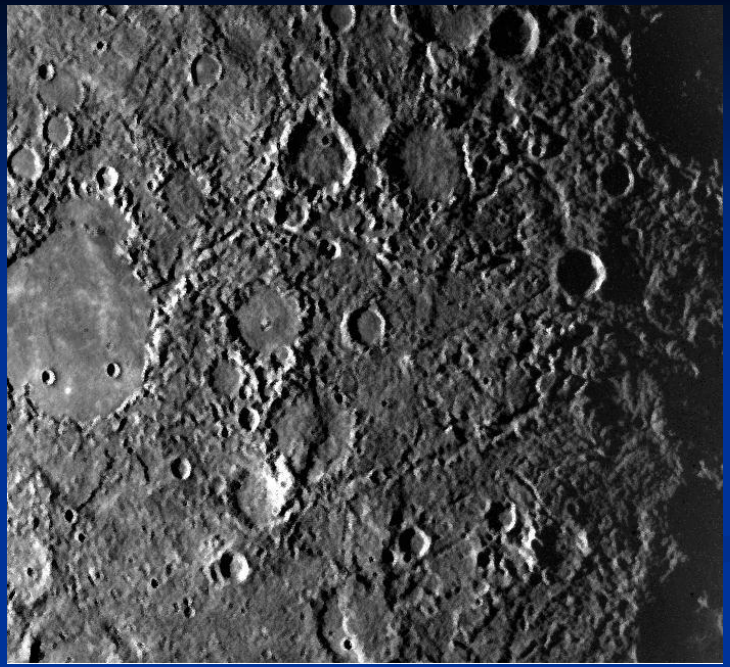
Maa-Kuu-järjestelmä Galileo-luotaimen kuvaamana sen ollessa matkalla Jupiteriin 1998

12.4.1961 Ensimmäinen avaruuslento Maan ympäri, lentäjänä Juri Gagarin

Merkurius

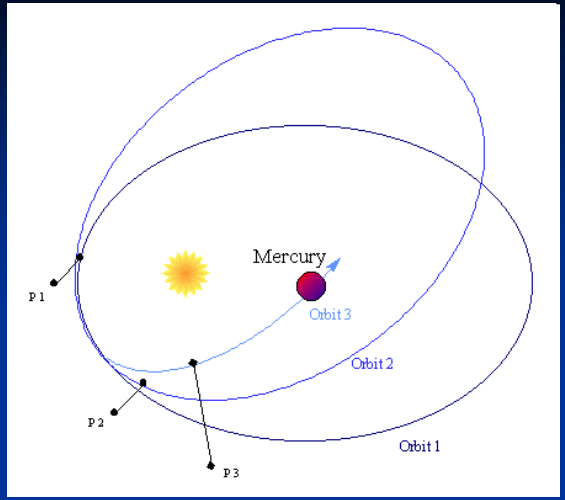
Aurinkoa kaikkein lähimpänä, pinta täynnä törmäysjälkiä





Kaikkein tärkein kraattereista on Caloriksen allas (1 500 km halkaisijaltaan): Sen aiheuttanut törmäys tuotti aaltoja, jotka hajottivat pinnan vastakkaisilla puolilla planeettaa (kuva).

Merkuriuksen perihelin siirtyminen



Merkuriuksen perihelin siirtyminen on nopeampaa, kuin Newtonin klassinen taivaanmekaniikka ennustaa.

Einsteinin yleinen suhteellisuusteoria ennusti perihelin liikkumisen.

Se johtuu Auringon aiheuttamasta avaruuden kaareutumisesta. Se on vahva todiste yleisen suhteellisuusteorian oikeellisuudesta.

Venus

Maasta pienellä kaukoputkella katsottuna

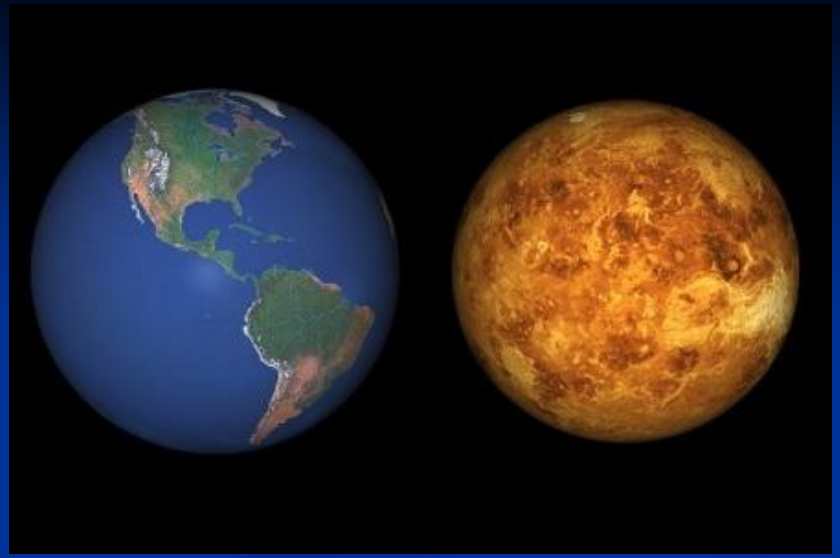
Hubble-avaruuskaukoputkella katsottuna

VENERA (1976)

Magellan-luotain (1990-1994)

Venuksen mitat ja geologinen rakenne on maankaltainen. Sen luona on käynyt useita eri luotaimia.

Venus ja Uranus ovat ainoat planeetat, joilla on retrogradinen liike: Ne pyörivät itsensä ympäri eri suuntaan kuin Auringon ympäri.



Venuksen vuosi = 224 Maan päivää
Venuksen päivä = 243 Maan päivää

CO_2:n ja tiiviiden rikkidioksidipilvien yhdistelmä luo voimakkaimman kasvihuoneilmiön koko Aurinkokunnassa. Venuksen lämpötila voi nousta 460º C:n, ja jopa Merkuriusta lämpimämmäksi.

Ilmanpaine on 100-kertainen suhteessa Maan ilmanpaineeseen, ja Venuksella on rikkihappopilviä ja ehkä -sadettakin.

Venuksen ylikulku

Kun Venus kulkee Maan ja Auringon välistä, sen varjo kulkee Auringon pinnan editse.

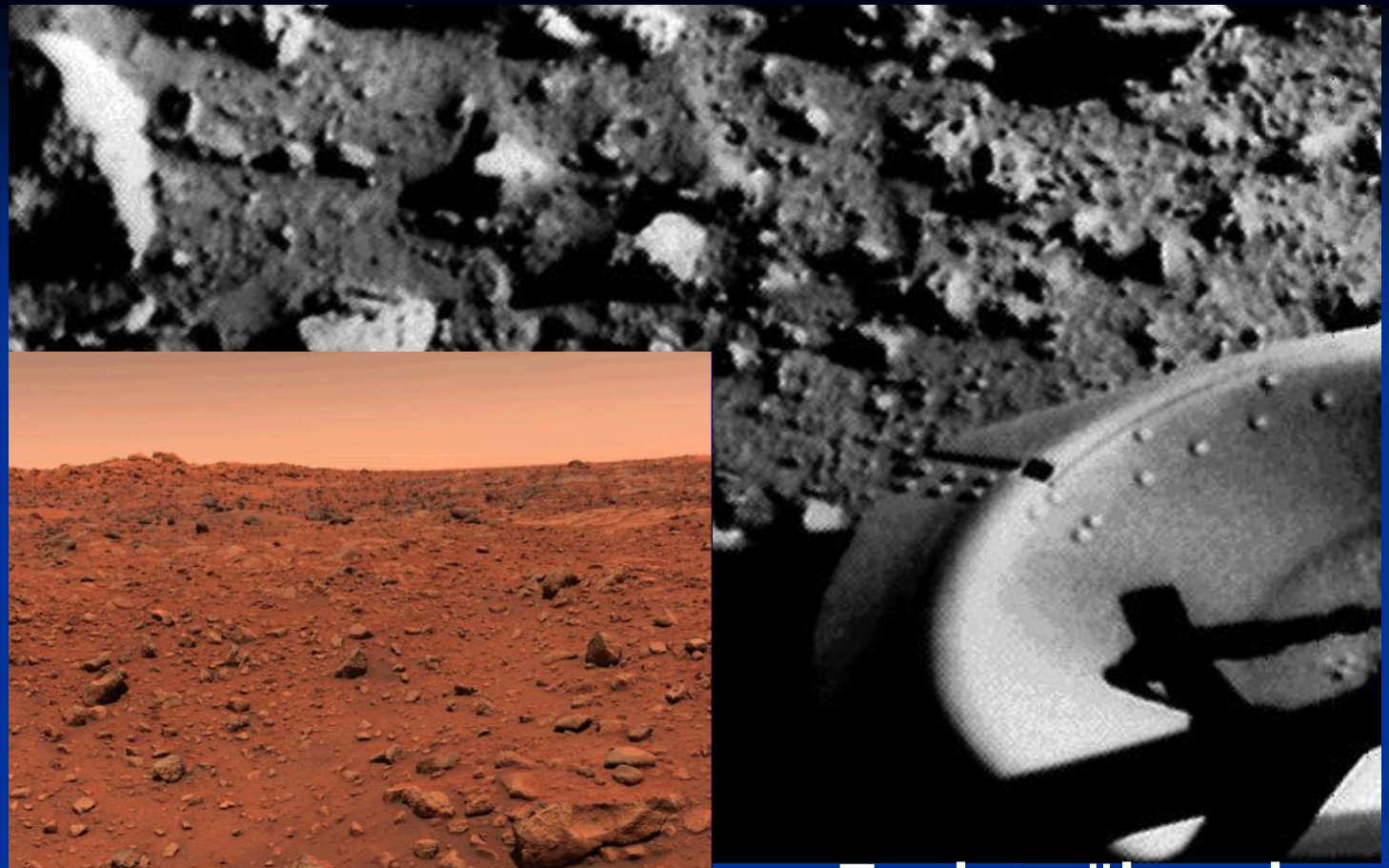
Venuksen kiertoradan kallistumisen vuoksi ylikulku voi esiintyä vain sen ollessa Maan kiertotasossa, joka voi tapahtua kerran kahdeksassa vuodessa, tai seuraavaan menee yli vuosisata (105,5 tai 121,5 vuotta).

Viimeisimmät ylikulut olivat kesäkuussa 2004 ja kesäkuussa 2012. Seuraava on vasta 11.12.2117

Mars

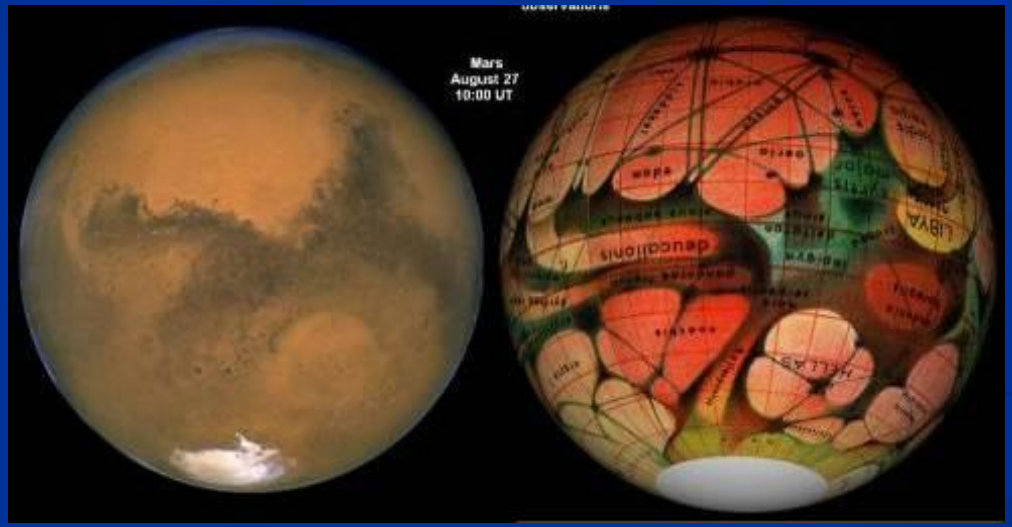
Olympus mons (26 000 m)

Sillä on ohut, lähinnä hiilidioksidista koostuva ilmakehä. Ilmanpaine on sadasosa Maan ilmanpaineesta.



Ensimmäinen kuva Marsin pinnalta, Viking I, 1976

Mars on inspiraationlähde monille scifi-kirjailijoille, Giovanni Schiaparellin 1800-luvun lopussa sen pinnalta löytäminen *canalien* takia. Termi käännettiin englantiin *canals*, saaden ne kuulostamaan ihmisten tekemiltä rakennelmilta. Italian *canali* voi tarkoittaa kanaalien lisäksi myös uria tai uurteita.



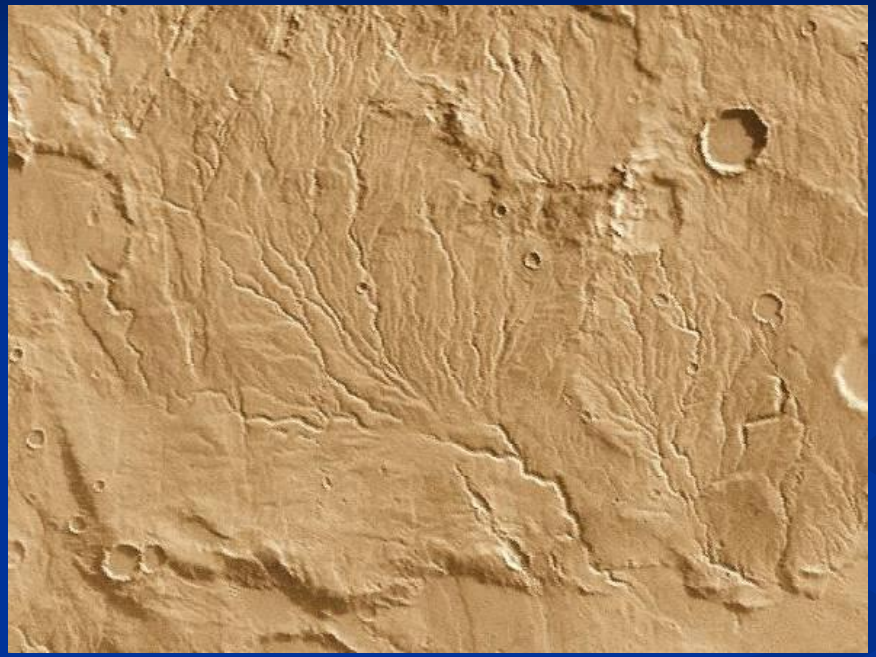
Marsin punainen väri johtuu raudan oksidista (ruosteesta), jota löytyy sen pintamateriaalista.

Cydonia – Viking I, 1976

Cydonia
Mars Global Surveyor
1998

Cydonia -Mars Express – Sep., 2006
© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum), MOC (Malin Space Science Systems)

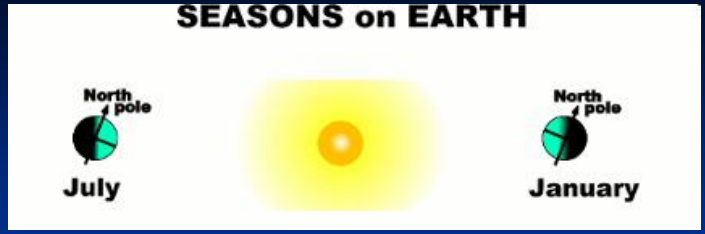
Marsin pinnalla on muinoin nestemäisen veden olemassaoloon viittaavia jälkiä.

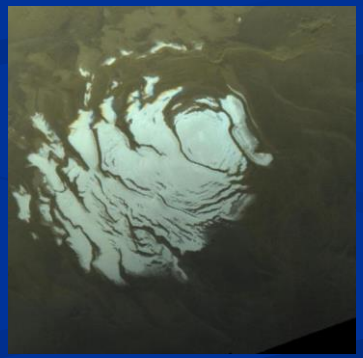


Tämä vesi saattaa nyt olla jäätyneenä maaperässä.

Kuten Maassa, myös Marsissa on vuodenajat, koska sen pyörimisakseli on vinossa suhteessa kiertorataan ja koska planeettojen kiertäessä Aurinkoa akselikallistuma pysyy samana ja samansuuntaisena.

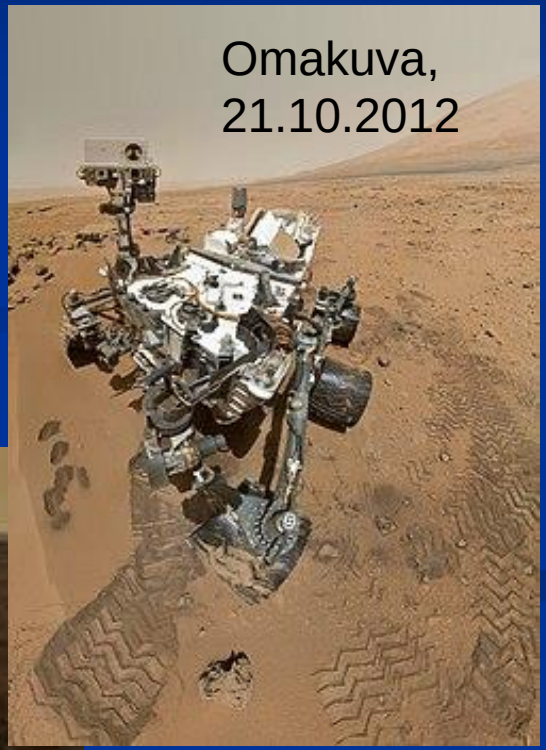
Marsilla on navoilla kaksi jäästä ja hiilidioksidista koostuvaa jäätikköä, joiden koko vaihtelee vuodenajan mukaan.





Marsin etelänapa

Curiosity Marsissa (2004-nykypäivä): Siinä on mikrobiologian laboratorio. Onnistunut tarina tieteestä ja teknologiasta



Insight: saapui Marsiin 28.11.2018

InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport)

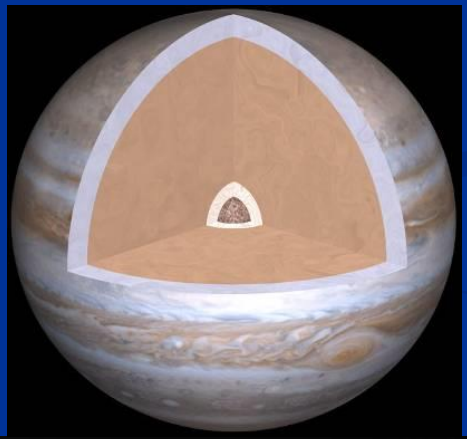
TEHTÄVÄ: Vie Marsiin geofyysinen robotti, jossa on laitteistoa planeetan sisustan, peruspohjan, lämmönsiirron ja maaperän liikkeiden tutkimiseen sekä sen varhaisen geologisen evoluution analysointiin

Jupiter

Aurinkokunnan massiivisin planeetta, jolla on yli 90 kuuta. Vuonna 1610 Galileo löysi niistä neljä, joita hän kutsui Medici-tähdiksi. 1614 Simon Marius antoi niille nimet Io, Europa, Ganymedes ja Kallisto.

Revontulia, kuva Hubble-kaukoputkella

Suuri punainen pilkku (pyörremyrsky)



Jupiterilla on luultavasti pieni, kiinteä ydin, 10-15 Maan massainen.

Renkaat

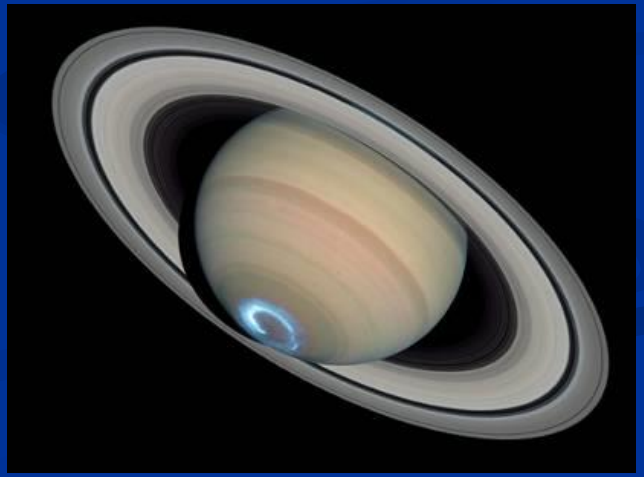
Saturnus

Aurinkokunnan pienitiheyksisin planeetta

Sillä on yli 80 kuuta, joista osa on renkaiden välissä. Nämä järjestelevät rengasjärjestelmää dynaamisesti, ja niitä kutsutaan "paimenkuiksi".

Rengasjärjestelmä muodostuu pölystä ja jäähileestä

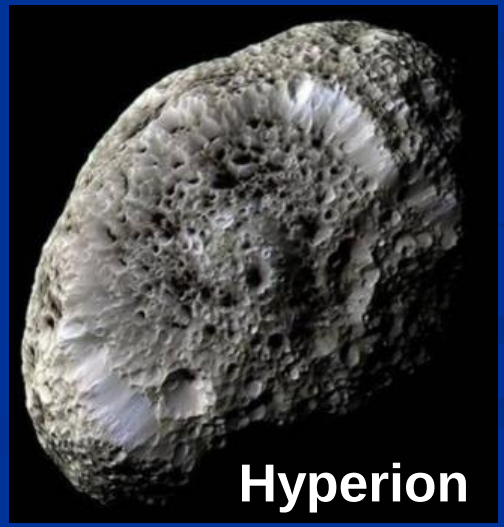
Revontulia Saturnuksella, kuvan on ottanut Hubble-avaruus-kaukoputki



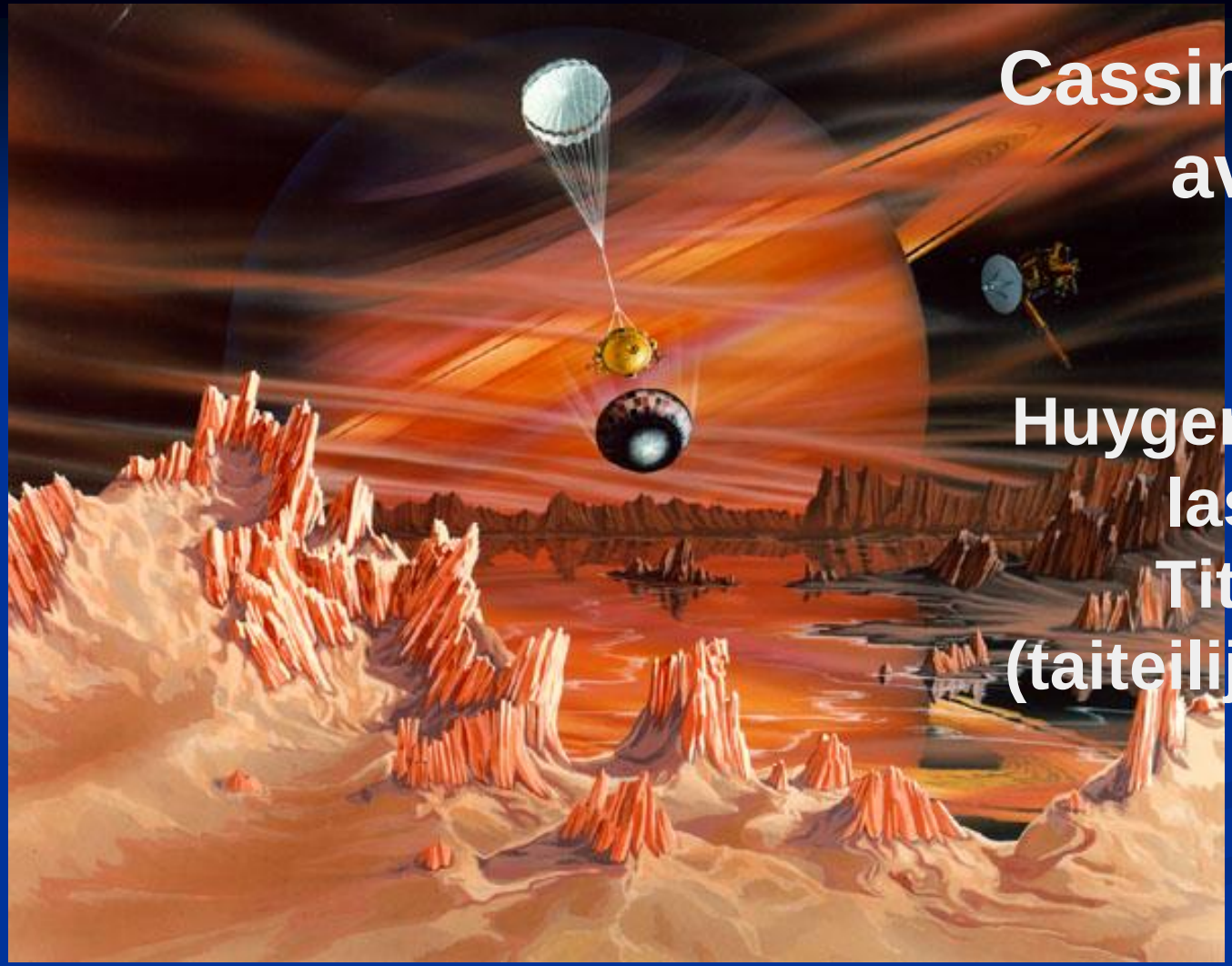
Saturnuksella on yli 80 kuuta, joista vain 7 on tarpeeksi suuria olemaan pyöreitä.

Suurin kuista on Titan, joka on Merkuriusta ja Plutoa suurempi. Se on ainut Aurinkokunnan kuu, jolla on tiheä ilmakehä.

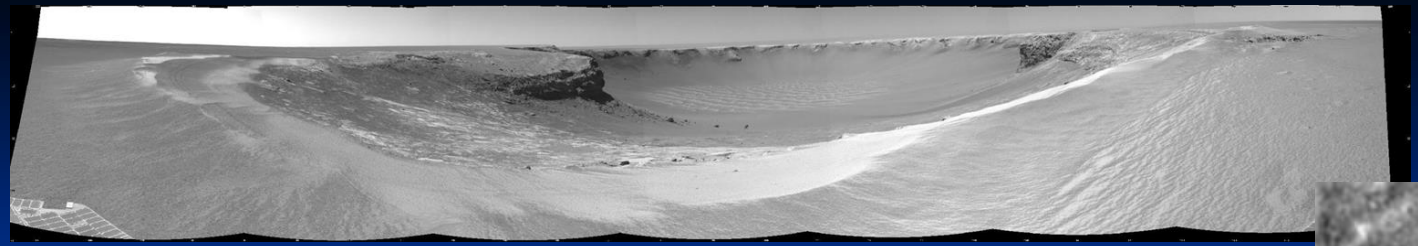
Titan


Hyperion

Cassini-Huygens-avaruuslento

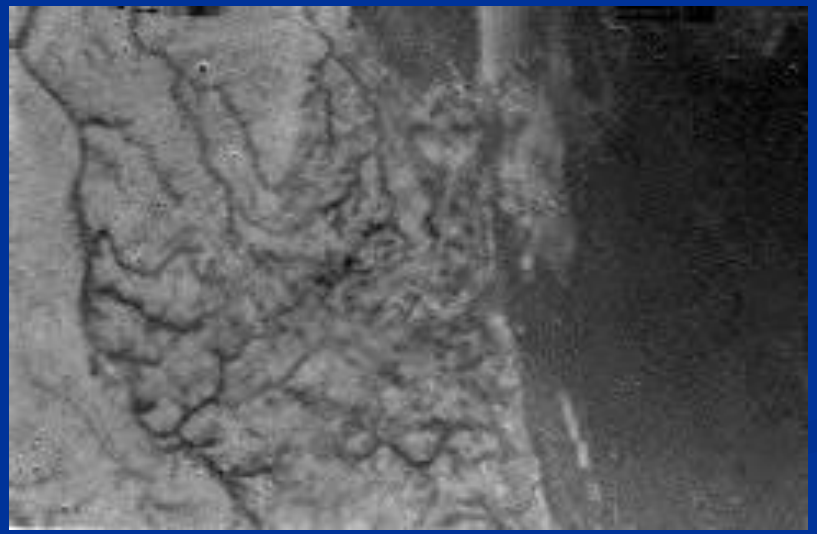


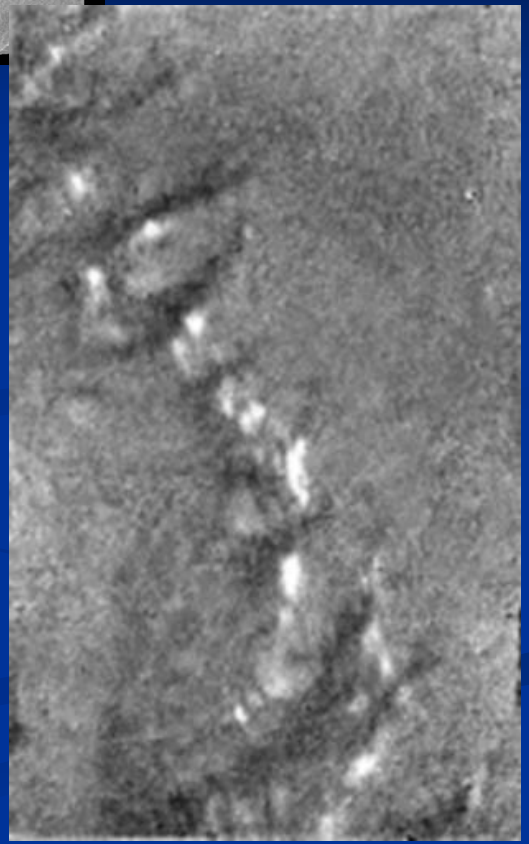
Huygens-laskeutuja laskeutumassa Titanin pinnalle (taiteilijan näkemys)



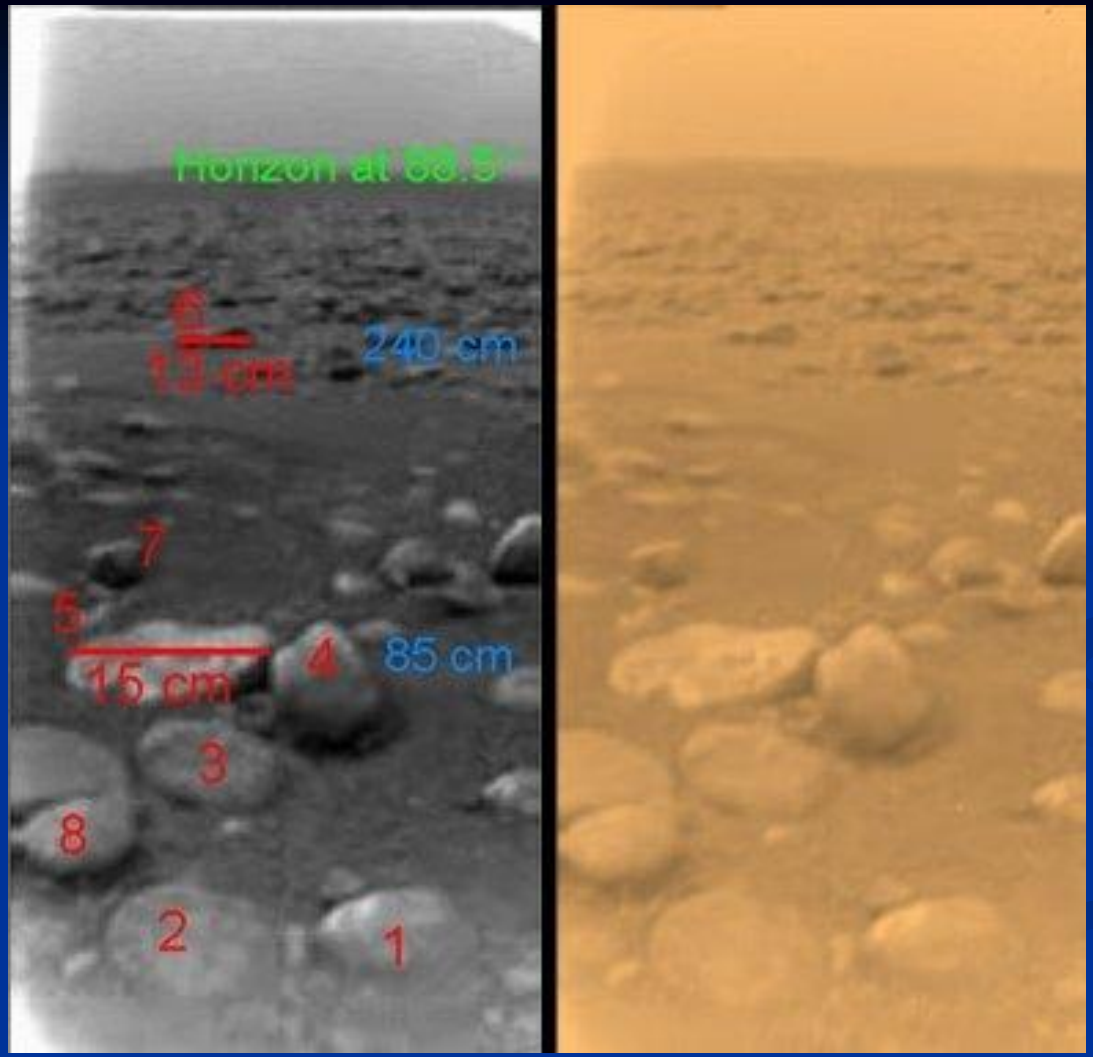
Huygens-laskeutuja Titanin pinnalla, ensimmäinen panoramakuva 2004

Titanin metaanimeriä, -jokia ja -järviä





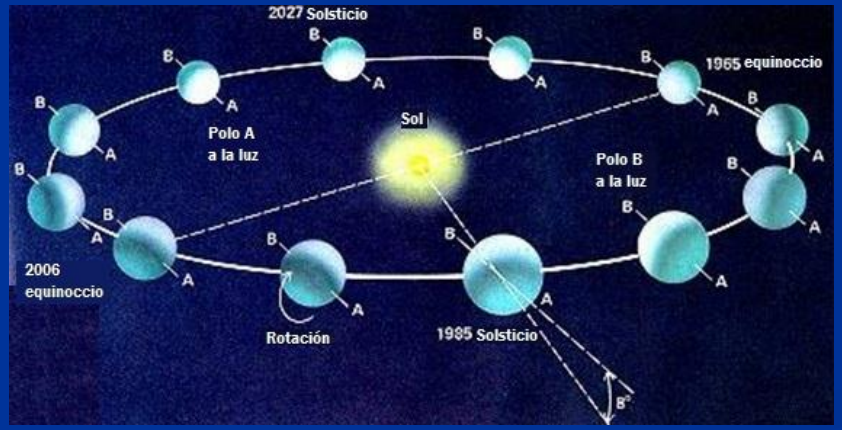
Viimeinen kuva Titanin pinnalta, Huygens-laskeutuja

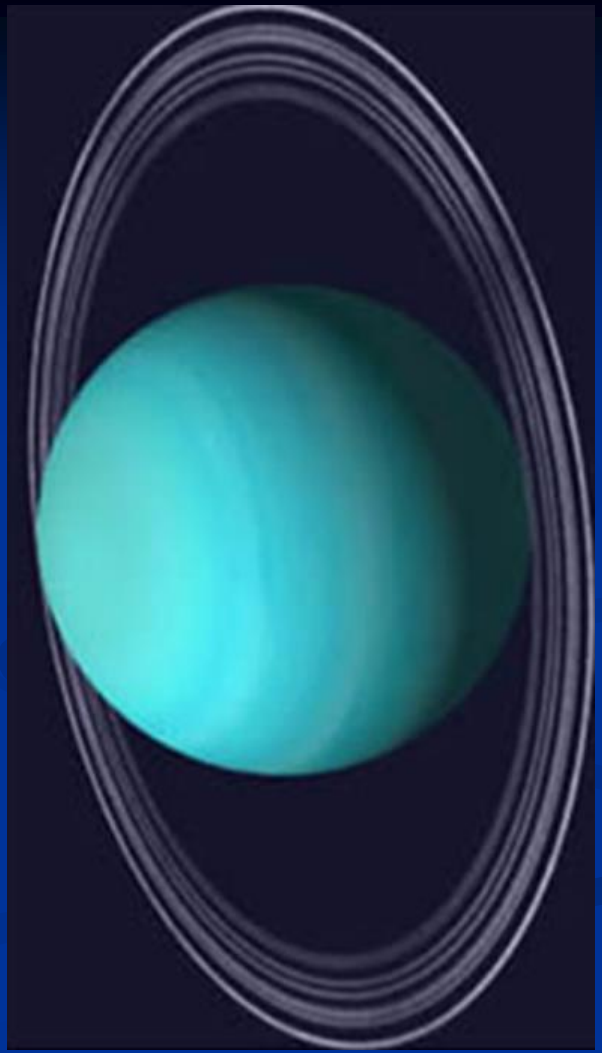


Pinta

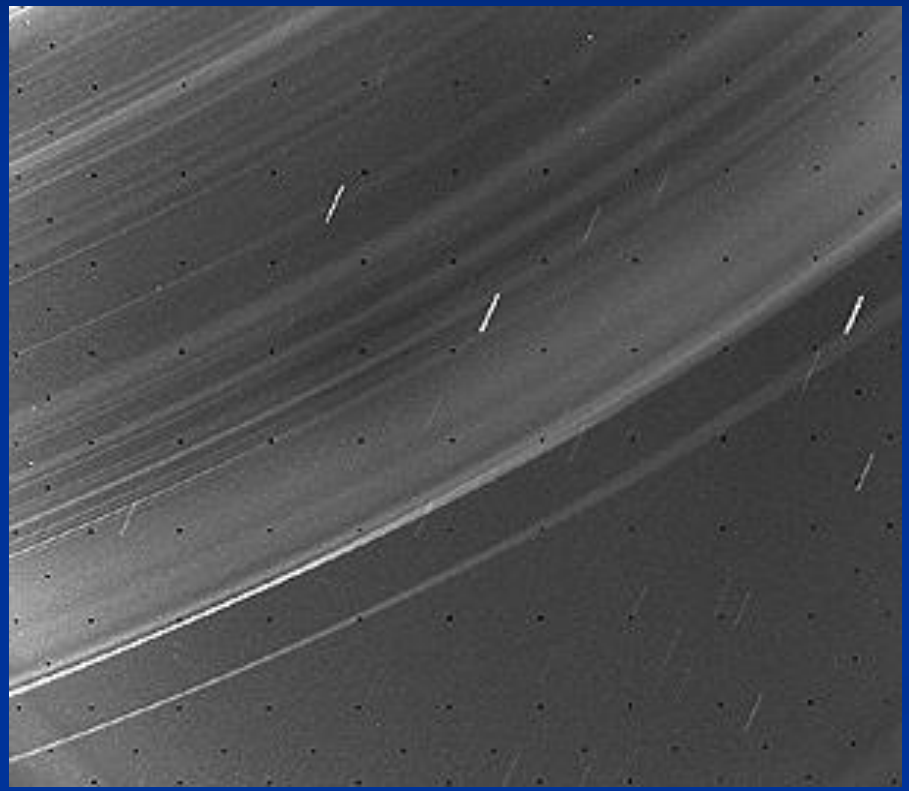
Uranus

Pyörimisakseli on käytännössä poikittain kiertorataan nähden

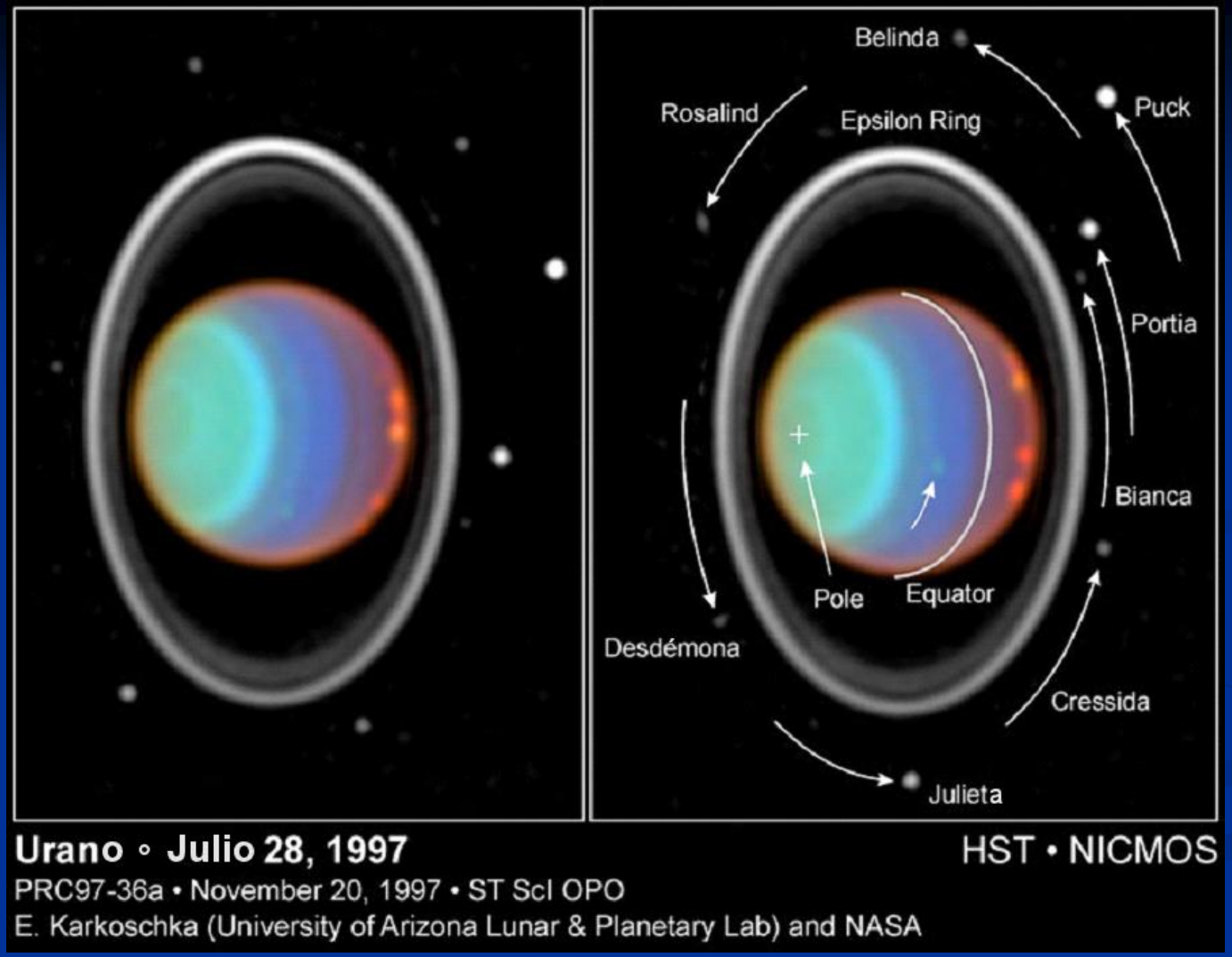




Uranuksen renkaat



Uranuksella on vähintään 27 luonnollista satelliittia. Ensimmäiset kaksi löysi William Herschel vuonna 1787: Titania ja Oberon.

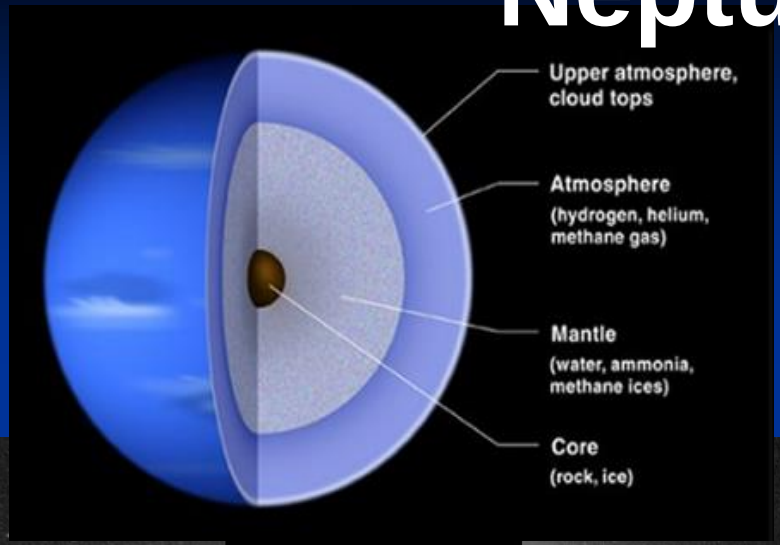


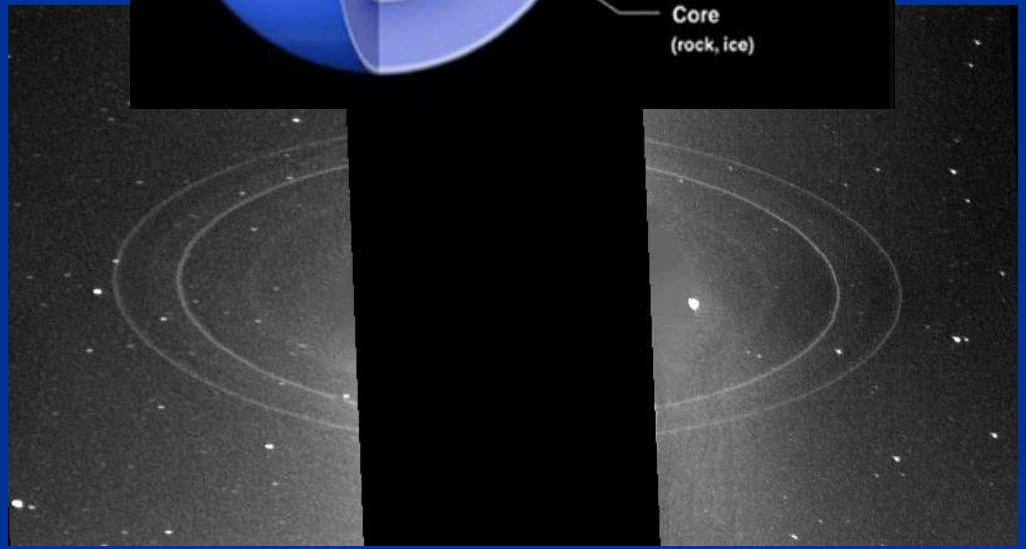
Uranuksen kuut ovat saaneet nimensä Shakespearen näytelmien sankarittarilta

Neptunus

Väri johtuu ilmakehässä olevasta metaanista, joka imee punaista ja infrapunavaloa.

Neptunus



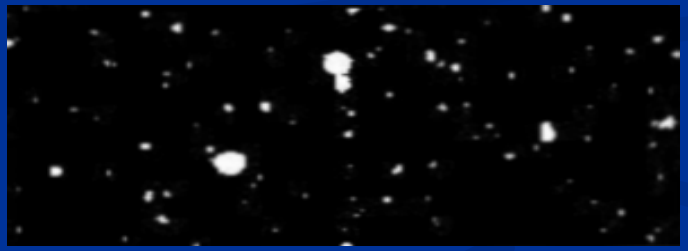


Uskotaan, että sillä on kiinteä, silikaateista ja raudasta koostuva, suunnilleen Maan kokoinen ydin.

Ytimen päällä on kuori jäätä, metaania, typpeä ja vähän heliumia.

Sillä on useita tummia renkaita, joiden alkuperä on tuntematon.

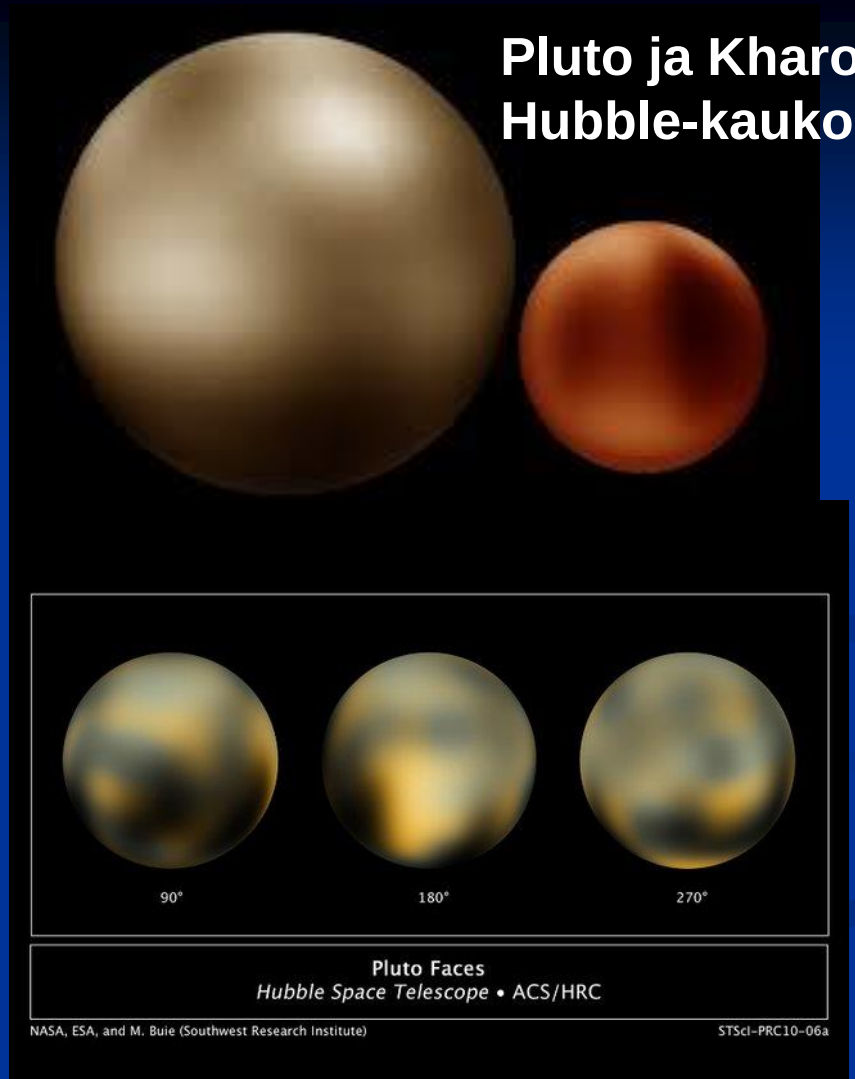
Clyde Tombaugh löysi Pluton 18.2.1930.



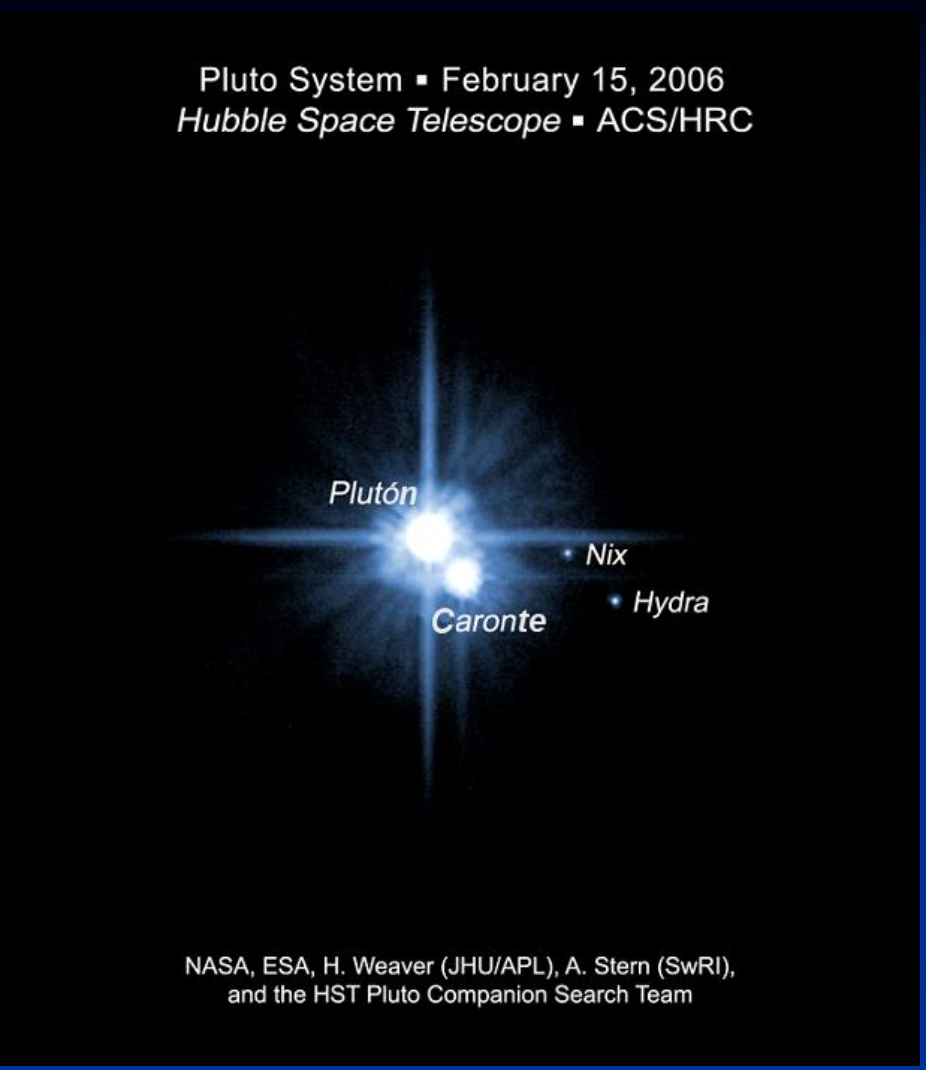
Kuva löydöstä (1930)

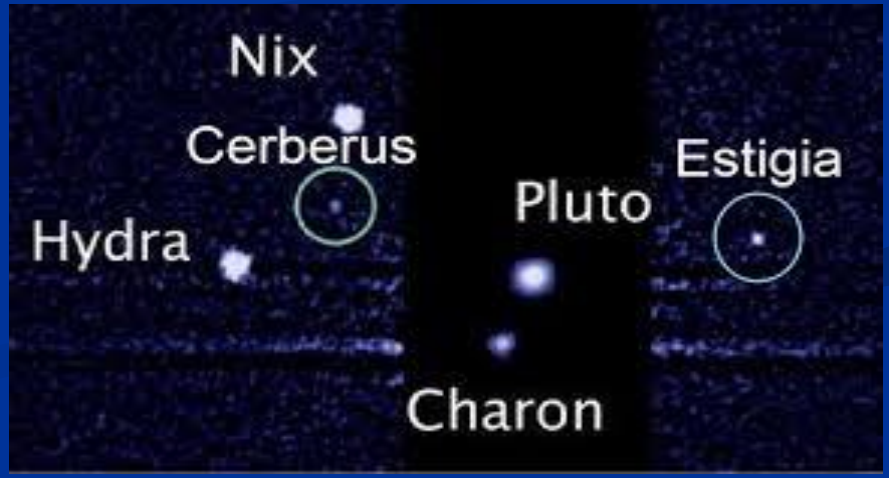
Pluto on liian pieni häiritsemään Neptunuksen kiertorataa niin paljon, että sen olemassaolo olisi siitä pääteltävissä, vaikka Lowell yritti kovasti laskea löytääkseen sen. Clyde Tombaugh löysi Pluton (magnitudi ~ 13.5) valokuvaamalla Aurinkokunnan tasoa systemaattisesti.

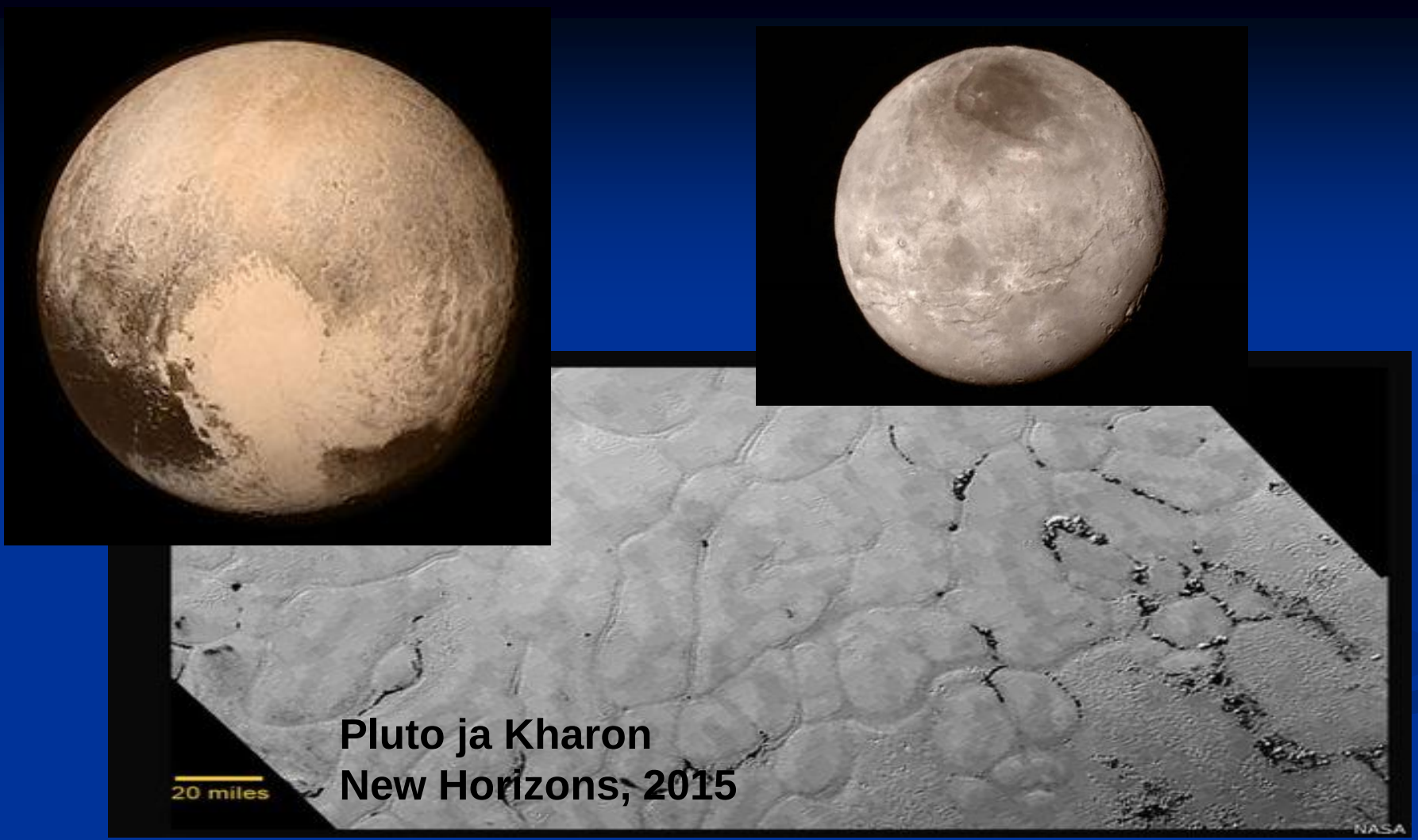
Pluto ja Kharon, Hubble-kaukoputki, 1999



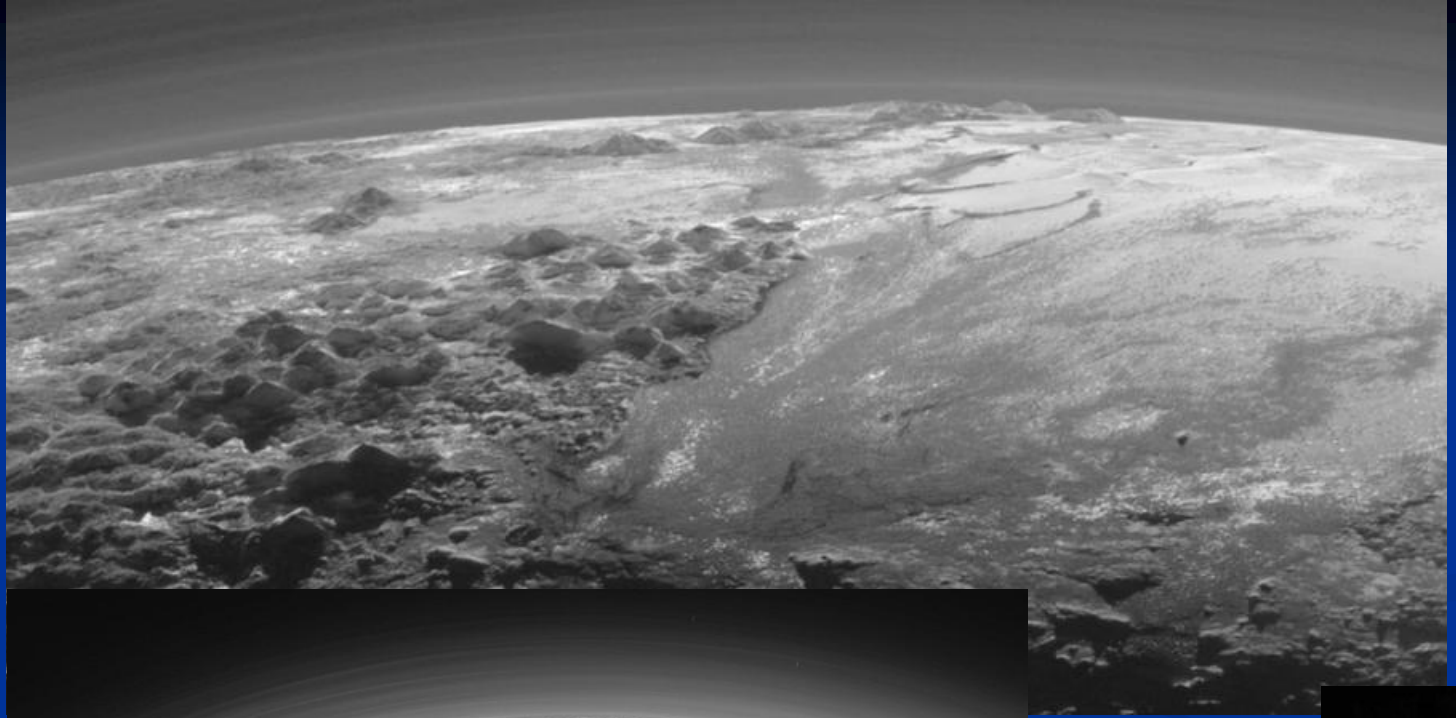
Pluton järjestelmä, 2011-2012

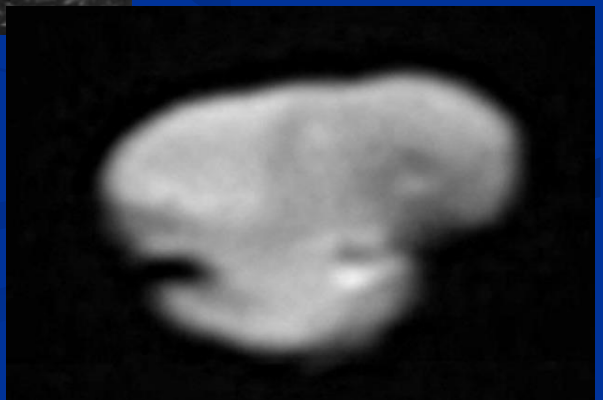






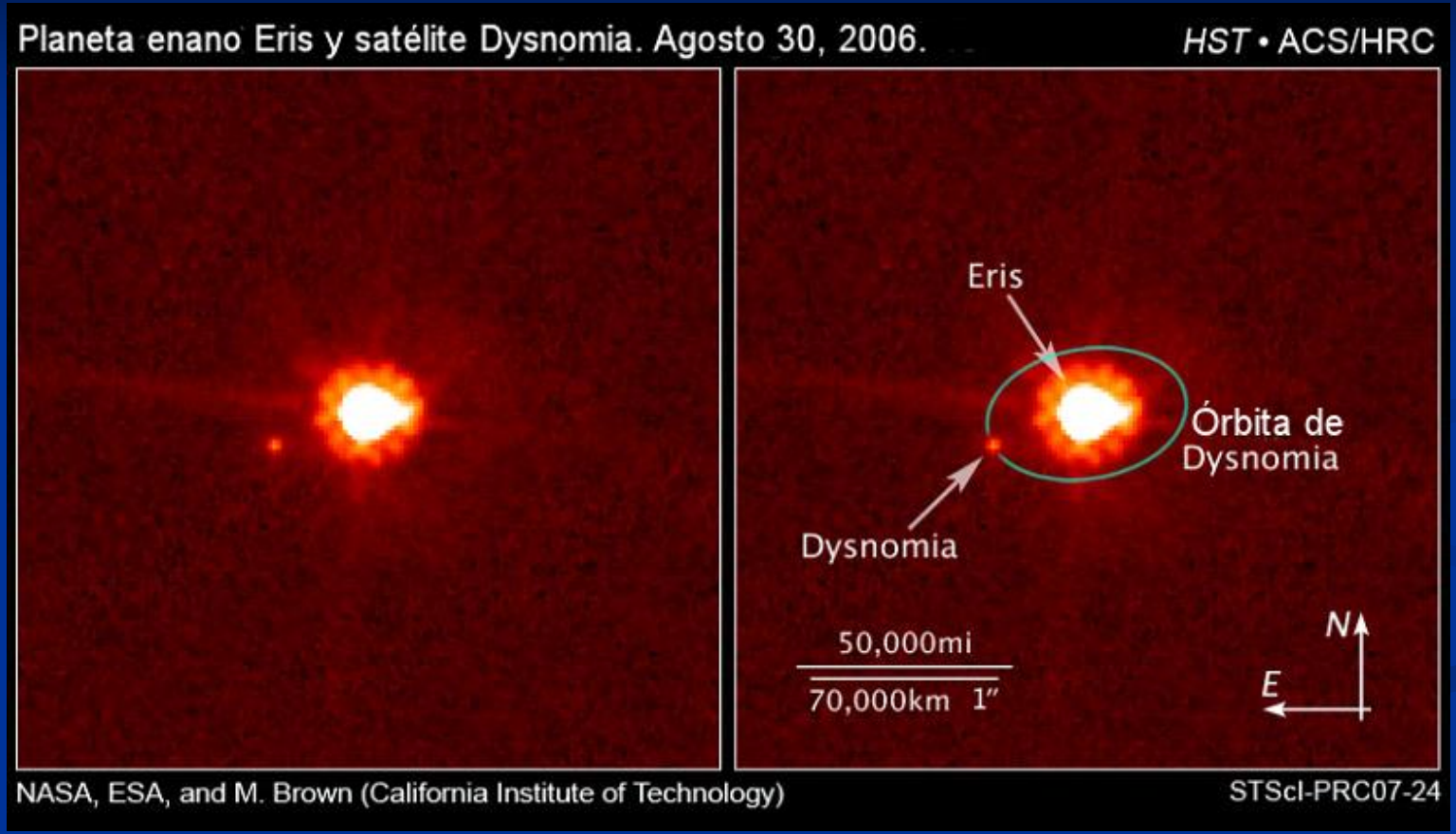
Pluto ja Kharon
New Horizons, 2015





Pluton ohilento (14.7.2015) Hento typpi-ilmakehä on havaittavissa

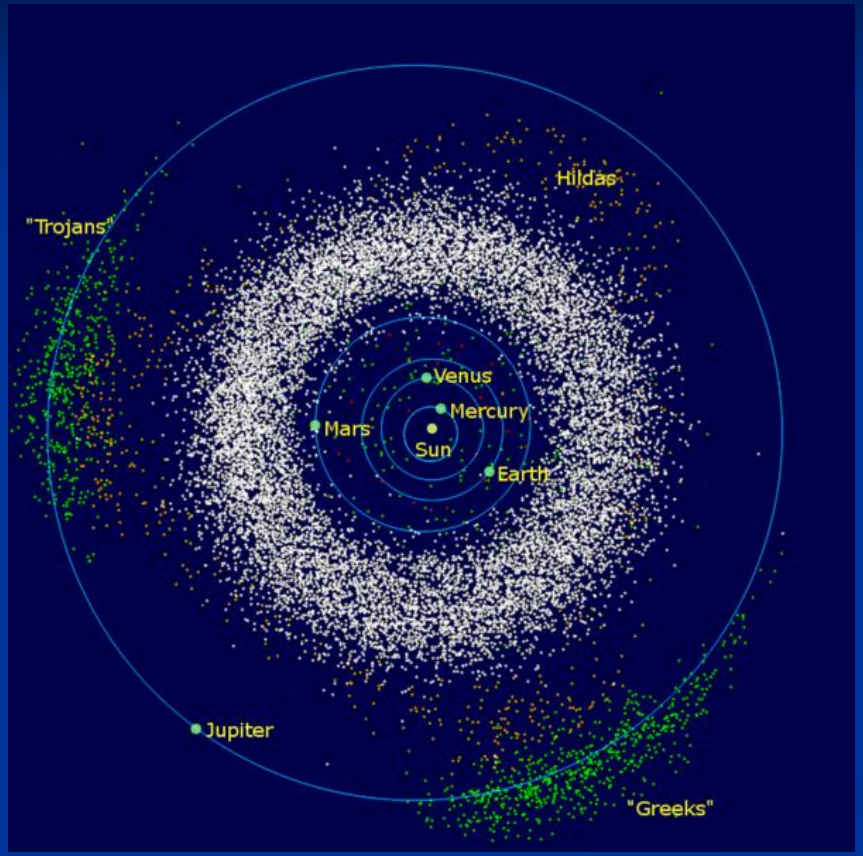
Eriksen löytö



Aurinkokunnan pienkappaleet

- **Jäänteitä planeettojen syntymisestä.**
- **Pitää sisällään monimuotoisen ryhmän asteroideja, komeettoja ja transneptunisia kappaleita.**
- **Asteroidit ovat käytännössä kivisiä ja metallisia, kun komeetat taas ovat hauraampia ja huokoisempia kappaleita, jotka ovat muodostuneet suurimmaksi osaksi vesijäästä ja pölyhiukkasista**
- **Suurin osa asteroideista sijaitsee Marsin ja Jupiterin kiertoratojen väliin jäävällä alueella, jota kutsutaan asreoidivyöhykkeeksi tai asteroidien päävyöhykkeeksi**
- **Transneptunisissa kappaleissa on paljon jäätä, ja ne sijaitsevat Neptunuksen kiertoradan ulkopuolella, transneptunisella alueella (eli Kuiperin vyöhykkeellä, joka on nimetty sen olemassaolon ennustajan mukaan).**

Asteroidivyöhyke

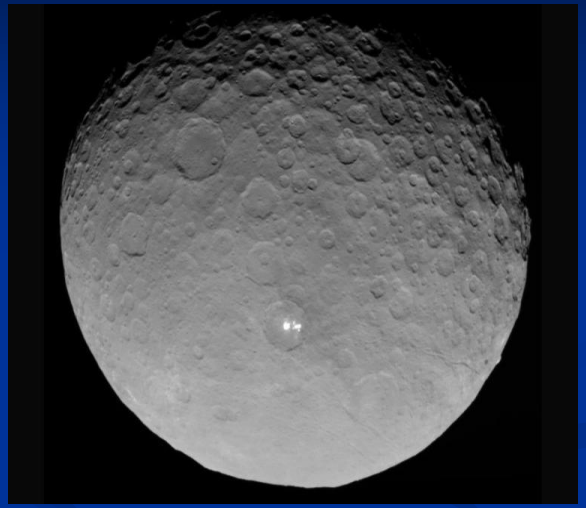


Sillä on satojatuhansia tai miljoonia kappaleita, mutta näiden kokonaismassa ei ole Maan tuhannesosaa suurempi.

Asteroidien koko vaihtelee sadoista kilometreistä metreihin ja sen osiin.

Ceres

Löysi vuonna 1801 Giuseppe Piazzi. Sitä pidettiin vuoteen 1850 asti planeettana, kunnes löytyi monta samankaltaista kappeletta.

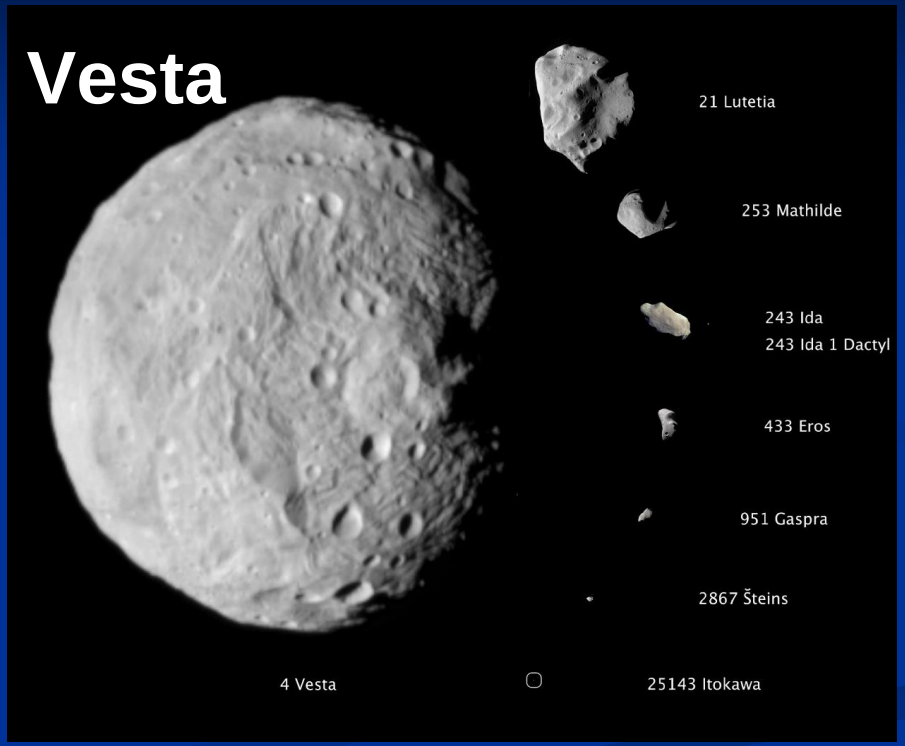


Asteroidivyöhykkeen suurin kappale ja ainut, joka vuonna 2006 luokiteltiin kääpiöplaneetaksi.

1000 km:n halkaisija on tarpeeksi suuri, että sen painovoima vetää sen pyöreäksi.

Kaikki muut asteroidit ovat pieniä, epäsännöllisiä kappaleita, tosin jotkut niistä, kuten Vesta ja Pallas, voitaisiin luokitella kääpiöplaneetoiksi, jos niiden voidaan näyttää olevan hydrostaattisessa tasapainossa.

Pallas



Pienkappaleiden varastot

Varastot ovat suhteellisen vakaita alueita, joilla kappaleet voivat pysyä aurinkokunnan ikään verrattavan ajan, kunnes jokin voima muuttaa niiden kiertorataa

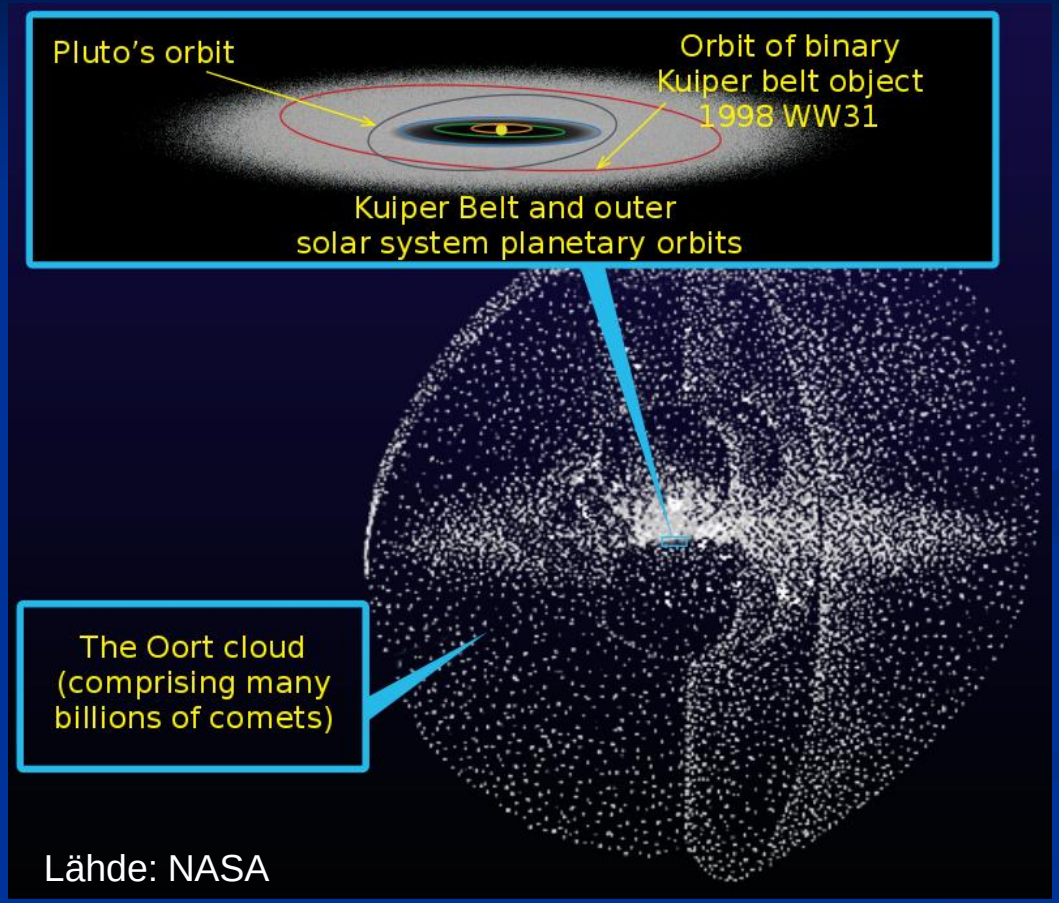
Aurinkokunnassa on kolme suurta pienkappaleiden varastoa:

1. **Asteroidivyöhykkeeltä tulevat esimerkiksi Maata lähestyvät asteroidit (englanniksi NEA, near-Earth asteroid, tai NEO, near-Earth object).**
2. **Transneptuninen alue, tai Kuiperin vyöhyke on alue, jolta lyhytperiodiset komeetat tulevat.**
3. **Oortin pilvi on pallomainen alue, joka muodostui aurinkokunnan muodostumisen aikana jättiläisplaneettojen ulos heittämistä jäisistä planetesimaaleista. Tähtien tai jättiläismäisten molekyylipilvien ohitusten, tai galaktisten vuorovesivoimien aiheuttamien häiriöiden takia joidenkin näiden kiertoradat saattavat muuttua. Jos muutos vie ne kohti aurinkokunnan sisäosia, niistä tulee pitkäperiodisia komeettoja.**

Data 17.4.2019
Lähde: NASA/JPL https://ssd.jpl.nasa.gov)

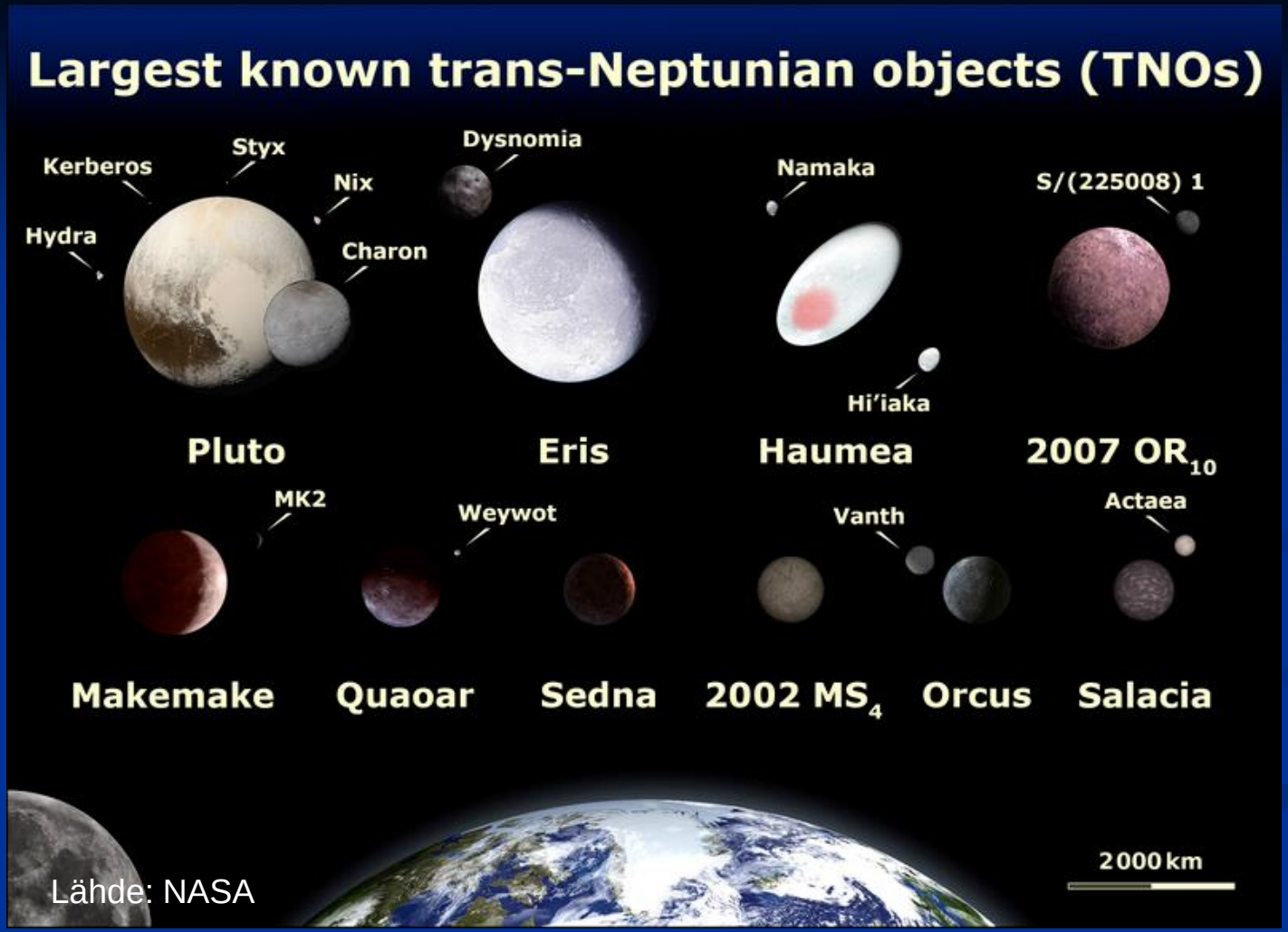
- Kaikki tunnetut asteroidit: 798,130 (1 278 047 3.4.2023)
  - Päävyöhyke: 705,913
  - Jupiterin troijalaiset: 7,236
  - Asteroidit Marsin kiertoradan sisäpuolella: 3,573
  - NEAt: 19,996
  - Mahdollisesti vaaralliset asteroidit (Potentially hazardous asteroids, PHAs): 1,973
- Komeetat: (3865 3.4.2023)
  - Elliptiset: 420 pitkäperiodiset (P>200 vuotta) + 860 lyhytperiodiset (P<200 vuotta).
  - Paraboliset: 1,837
  - Hyperboliset: 347 (aurinkokunnan ulkopuolelta tulevat)
- Transneptuniset (TNOs): 3 218

Transneptuninen alue ja Oortin pilvi



Transneptuniset kappaleet

Suurimmat ovat kääpiöplaneettoja


Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)
Kerberos
Styx
Nix
Hydra
Charon
Dysnomia
Namaka
S/(225008) 1
Hi'iaka
Pluto
Eris
Haumea
2007 OR10
MK2
Weywot
Vanth
Actaea
Makemake
Quaoar
Sedna
2002 MS4
Orcus
Salacia
2000 km

Lähde: NASA

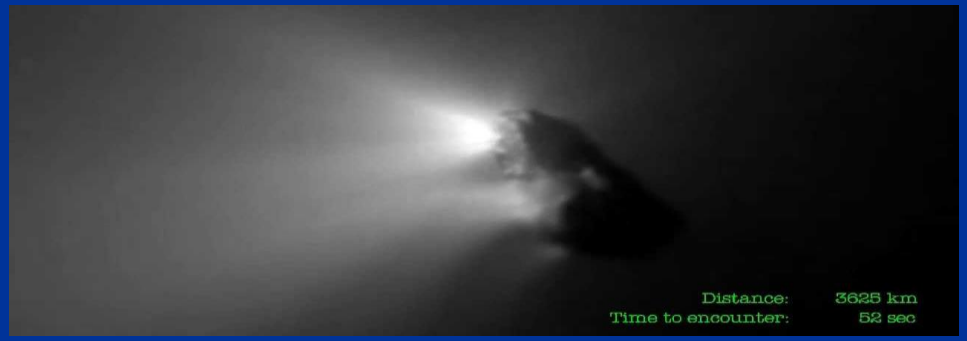
Komeetat

- Muutaman kilometrin kokoisia pienkappaleita, koostuvat lähinnä haihtuvista materiaaleista (vesijää, hiilidioksidi, metaani, ammoniakki, jne.) ja pölystä.
- Ne voivat tulla näkyviksi lähestyessään Aurinkoa.
- Ajatellaan, että Maassa oleva vesi olisi voinut tulla osaksi komeetoista

- Yleensä komeettojen radat ovat eksentrisiä.
  - Pitkäperiodisilla on sattumanvaraisia inklinaatioita ja niillä voi olla retrogradinen tai suora kiertorata.
  - Lyhytperiodisilla on yleensä pieni inklinaatio ja suorat kiertoradat.
- Aurinkoa lähestyessä komeetan pinnan jää haihtuu, muodostaen koman (ytimen ympärillä olevan kaasuhunnun) ja pyrstöt
  - pölypyrstö, joka muodostuu kaasun mukanaan viemästä pölystä
  - kaasu- eli plasmapyrstö, joka muodostuu ionisoitujen molekyylien vuorovaikutuksesta aurinkotuulen kanssa
  - Pölypyrstö on kaareva kohti komeetan kiertorataa, kun taas sinertävä plasmapyrstö on suora ja osoittaa poispäin Auringosta.

Halley, komeetoista tunnetuin

Nimettiin Edmond Halleyn mukaan. Halley ennusti komeetan paluun soveltaen Newtonin painovoimalakia. Halley ei nähnyt ennustuksensa toteutuvan.
Komeetta palaa joka 76. vuosi, edellisen kerran 1986 ja seuraavan 2061.



1986 siitä tuli ensimmäinen komeetta, jonka luona on vieraillut luotain, Giotto, joka myös kuvasi sen ytimen.

Rosetta: lähikohtaaminen komeetta 67P/Churyumov-Gerasimenkon kanssa

Philae laskeutui komeetan pinnalle 12.11.2014

Camera OSIRIS/ESA

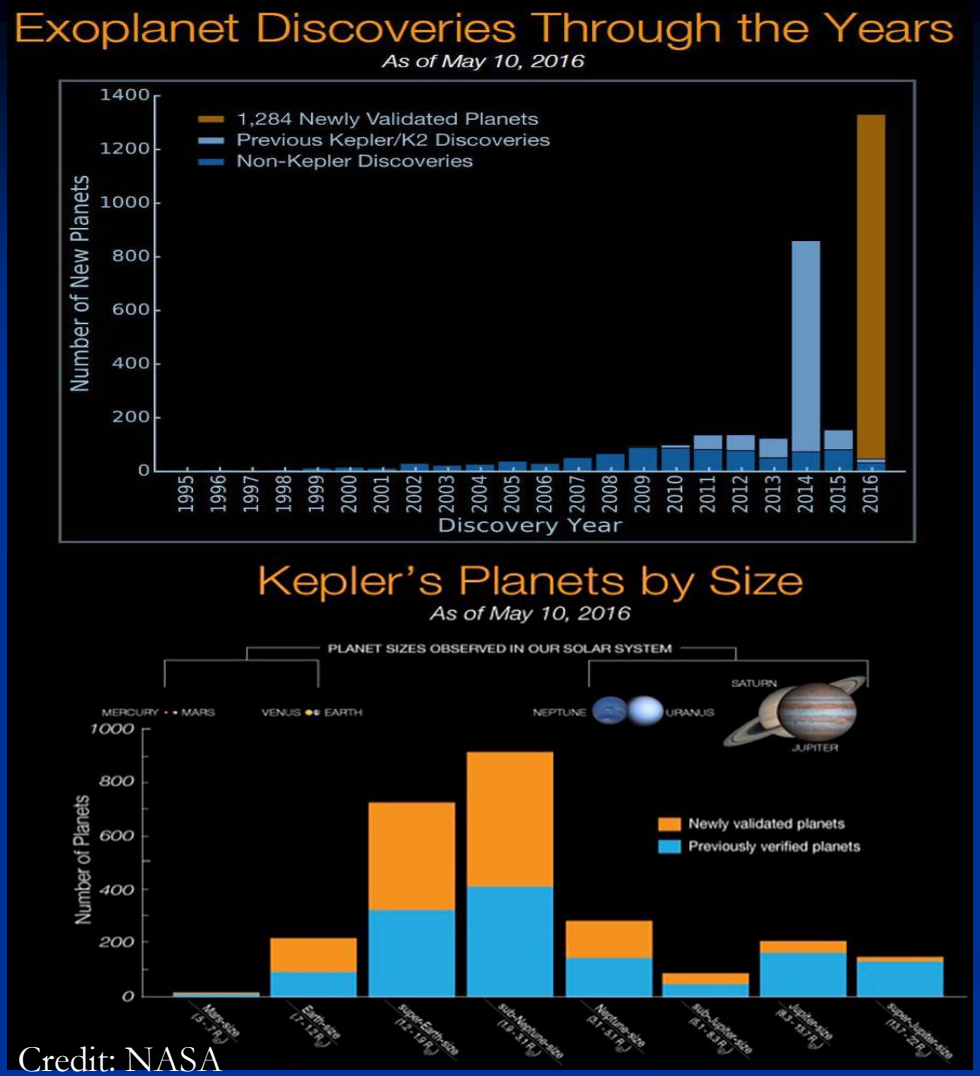
Muut planeettakunnat

1995 sveitsiläiset tähtitieteilijät Michel Mayor ja Didier Queloz ilmoittivat 51 Pegasia kiertävän eksoplaneetan löytymisestä

2M1207b, suora havainto (ESO)

Tämä tähti ja sen planeetta saivat nimet Helvetios ja Dimidio vuonna 2015, IAU:n järjestämän julkisen äänestyksen jälkeen.

Ensimmäinen valokuva aurinkokunnan ulkopuolisesta, ruskeaa kääpiötähteä 2M1207 kiertävästä planeetasta. 16.3.2003

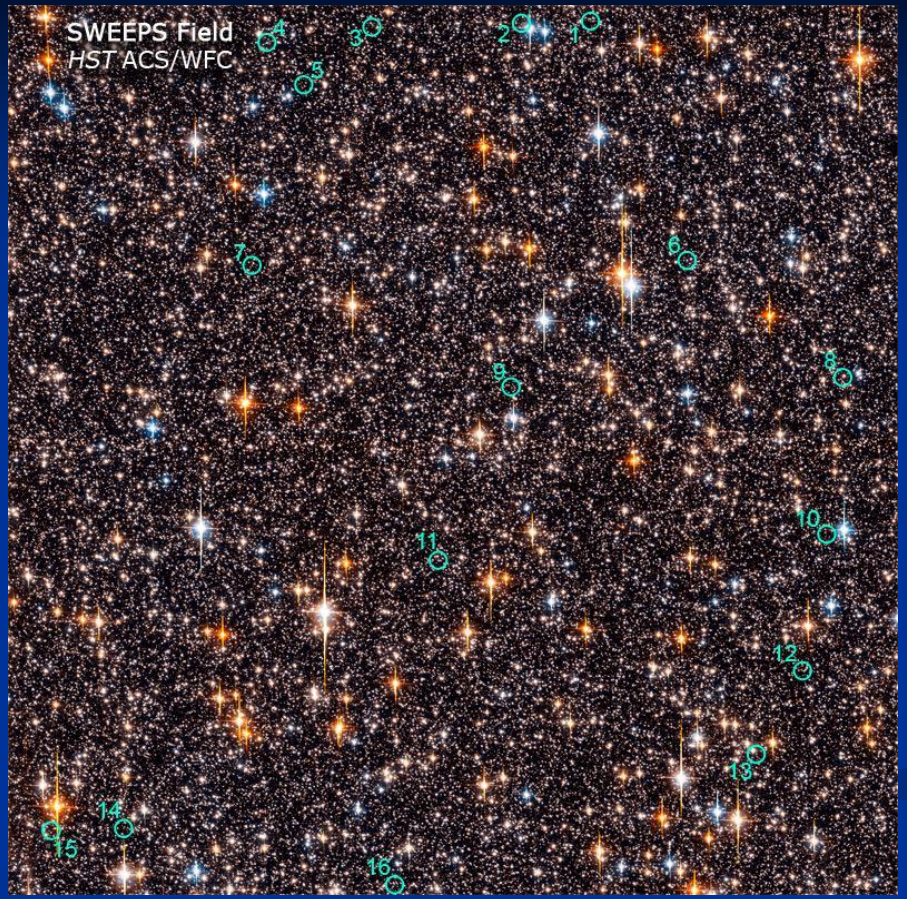


Credit: NASA

Kepler (maaliskuu 2009), on NASAn ensimmäinen projekti, jossa etsitään Maan kokoisia, mahdollisesti elinkelpoisia planeettoja.

10.5.2016 julistettiin suurin eksoplaneettakokoelma, josta tietoa on tarjolla.
Yhteensä 5 000 mahdollisesta planeetasta 3 200 on vahvistettu-Näistä 325 löydettiin Kepler-kaukoputken avulla.
(3.4.2023 mahdollisia planeettoja 9343 ja vahvistettuja 5322)

2018 alkaen NASAn Transiting Exoplanet Survey -satelliitti (TESS) käyttää samaa menetelmää kuin Kepler, seuraa 200 000 läheistä, kirkasta tähteä ja etsii planeettoja, erityisesti Maan kokoisia ja suurempia (ns. supermaita).



Kuinka suurella osalla tähdistä on planeettoja?
Kuinka moni niistä on elinkelpoisia?
Kuinka monella on kehittynyt jonkinlaista elämää?

Kysymyksiä, joihin tähtitiede pyrkii vastaamaan

Kiitos paljon huomiostanne!