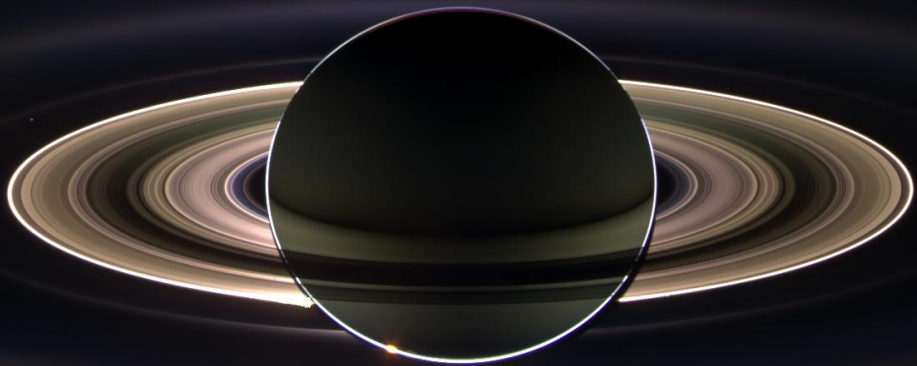


Astrofysikkens gullalder

Jan Myrheim

Institutt for fysikk
NTNU

13. desember 2007



Geysirer på
Saturns måne
Enceladus

505 km diameter

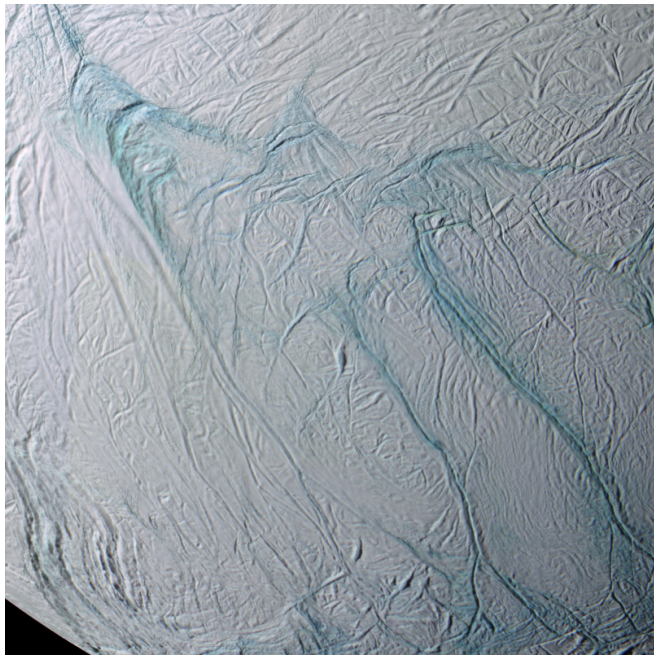
Bilde fra sonden
Cassini

31/10 2007



Geysirområdet på Enceladus

Cassini, 2005



Innhold

- Utforskning av solsystemet med romsonder
- Romteleskop og avanserte teleskop på bakken
- Elektromagnetisk stråling utenom synlig lys
 - Radiobølger, kosmisk bakgrunnstråling
 - Infrarødt og ultrafiolett
 - Røntgen- og gammastråling
- Kosmisk stråling av ladde partikler og nøytrinoer
- Gravitasjonstråling

Utforskning av Månen

- Luna 1, 2, 3 (1959). Fotograferte baksiden av Månen 10/7 1959.
- Luna 9–24 (1966–76). Hentet månestein, landsatte 2 kjøretøy.
- Ranger 1–9 (1961–65). Først Ranger 7 var helt vellykket.
- Lunar Orbiter 1–5 (1966–67). Kartlegging.
- Surveyor 1–7 (1966–68). Myklandinger.
- Apollo 11-17 (1969–72). 6 bemannede måneferder.
- Clementine (1994). 1 800 000 bilder av Månen. Fant tegn på vann (is).
- Lunar Prospector (1998). Bekreftet forekomst av vann.
- Kaguya (SELENE) (2007–). Japansk, går i bane.
- Chang'e 1 (2007–). Kinesisk, går i bane.

Noen romsonder i solsystemet

- Sola
 - Ulysses (1990–). Utforsker nord- og sørpol på Sola.
 - SOHO (1995–). I Lagrange-punktet mellom Jorda og Sola.
 - STEREO (2006–08).
 - Solar-B (2006–10).
- Merkur
 - Mariner 10 (29/3 1974, 21/9 74, 16/3 75). Kartla halve overflaten.
 - MESSENGER, underveis fra 2004, ankomst 2011.
- Venus
 - Mariner 2 (14/12 1962). 50 år etter Amundsen på Sørpolen.
 - Venera 3–16 (1966–1983). Første planetlanding (krasj) 1966.
 - Magellan (1990–94). Kartlegging med radar.
 - Galileo (1990), underveis til Jupiter.
 - Venus Express (2005-09). Europeisk.

Romsonder i solsystemet, II

- Mars
 - Mariner 4, 6, 7, 9 (1964–72).
 - Viking 1, 2 (1975–82). Utforskning fra bakken og fra bane.
 - Mars 2001 Odyssey (2001–).
 - Mars Express (2003–). Europeisk.
 - Mars Reconnaissance Orbiter (2005–).
 - Mars Science Laboratory (2009–).
- Asteroider og kometer
 - Galileo (1991 og 93). Fant en asteroide med måne: Ida og Dactyl.
 - NEAR Shoemaker (1996–2001). Landet på Eros.
 - Hayabusa (Vandrefalk, 2003–10). Ment å hente en prøve av asteroiden Itokawa.
 - Stardust (1999–). Komet Wild. Romstøv returnert 15/1 2006.
 - Rosetta (2004–15). Skal lande på en komet i 2014.

Romsonder i solsystemet, III

- Jupiter
 - Pioneer 10 og 11 (1973 og 74).
 - Voyager 1 og 2 (1979).
 - Galileo (1995–2003).
- Saturn
 - Pioneer 11 (1979).
 - Voyager 1 og 2 (1980 og 81).
 - Cassini–Huygens (2004–08).
- Uranus og Neptun
 - Voyager 2 (1986 og 89).
- Pluto
 - New Horizons (2006–20). Til Pluto i 2015.



Saturn 21/2 2005, fra Trondheim. JM, 8 tomers teleskop.

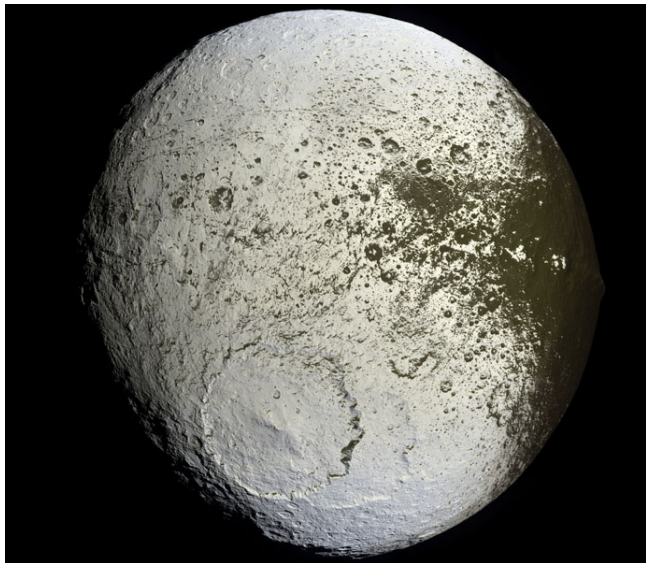


Saturn med måner. Like over: Enceladus til venstre (?) og Tethys til høyre.
Rhea rett under, Dione til høyre. Nederst Iapetus og Titan.

Saturns måne
Iapetus

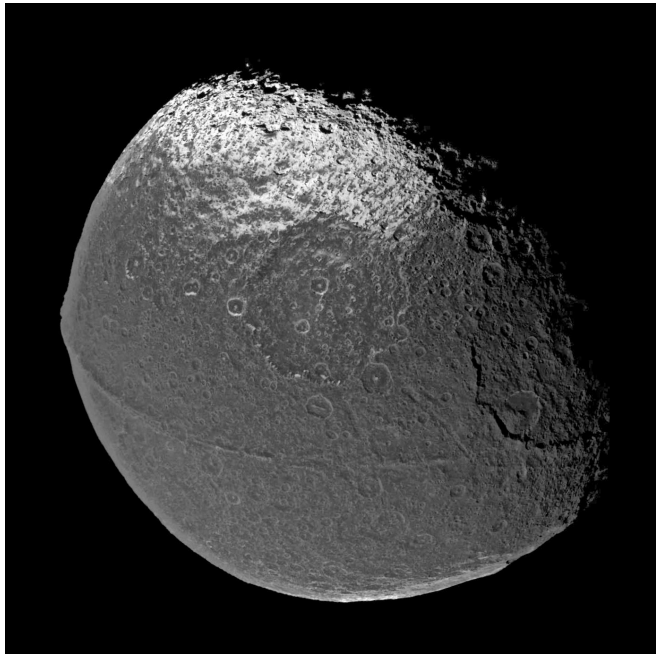
1468 km
diameter

Bilde fra
Cassini-sonden
8/10 2007



Den mørke
siden av
Iapetus

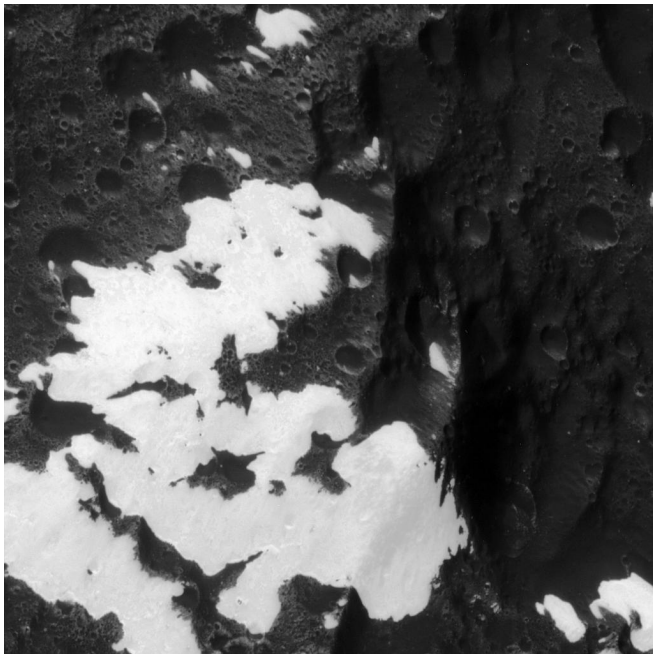
Cassini, 2004



Iapetus

56 km $\times$ 56 km

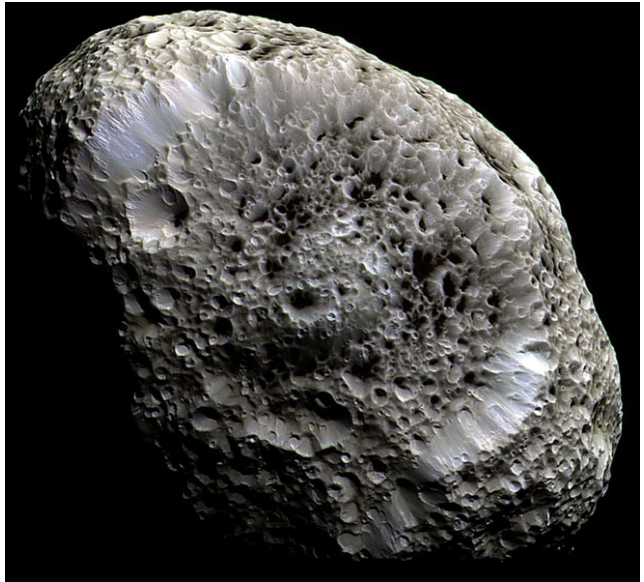
Cassini
10/9 2007



Saturns måne
Hyperion

280 km diameter

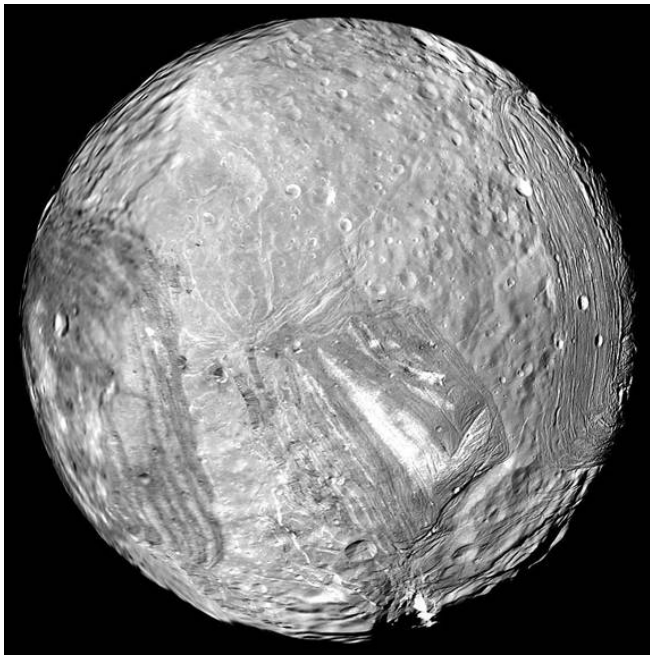
Cassini, 2005



Uranus's måne
Miranda

472 km diameter

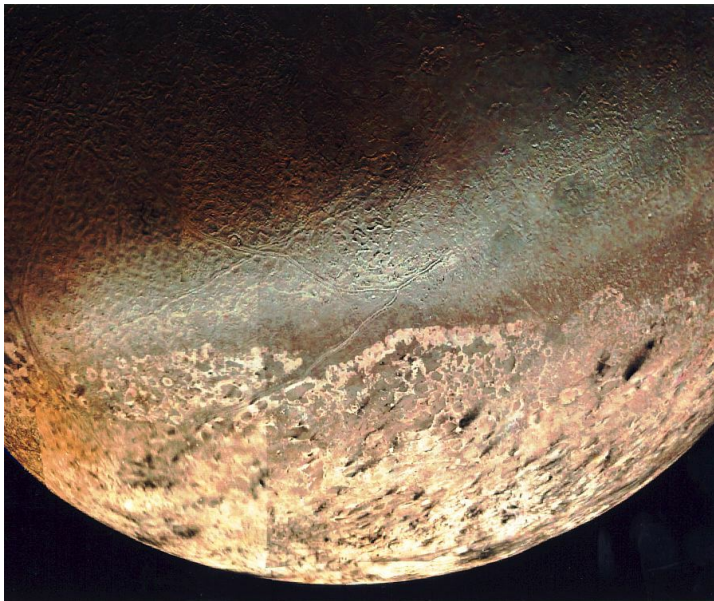
Voyager 2, 1986



Neptuns
måne
Triton

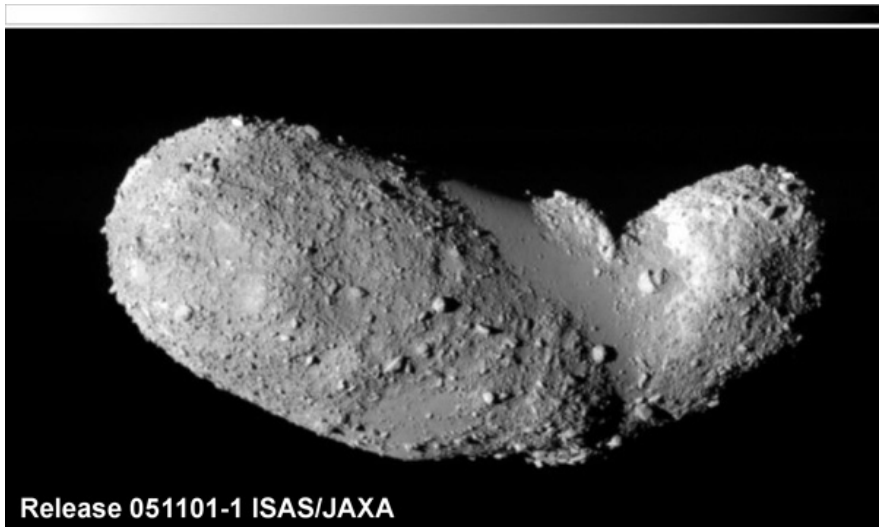
2700 km
diameter

Voyager 2
1989





Asteroiden Eros, 33 km lang. NEAR Shoemaker, 2001.



Asteroiden Itokawa, 535 m lang. Hayabusa, 2005.

Sonden Huygens
landet
med fallskjerm
på Titan
14/1 2005

94 K = -180°C
1,5 atmosfærers trykk





Venus. Venera 13, 1/3 1982. Bilder bearbejdet av Don P. Mitchell.
 $730\text{ K} = 457\text{ }^{\circ}\text{C}$, 84 atmosfærers trykk.

Drivhuseffekten

Ideell gasslov: $P = \frac{\rho}{m} kT$

Adiabatisk vind: $P = \text{konstant} \times \rho^\gamma$

Hydrostatisk likevekt: $\frac{dP}{dz} = -\rho g$

P = trykk

ρ = tetthet = masse/volum

T = absolutt temperatur

$k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K = Boltzmanns konstant

$\gamma = c_p/c_v$ = adiabatisk indeks = litt større enn 1

m = midlere molekylmasse

g = tyngdens akselerasjon

z = høyde

Drivhuseffekten

$$\begin{aligned}-\frac{dT}{dz} &= \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{mg}{k} \\ &= \frac{1 \text{ K}}{103 \text{ m}} \quad \text{på Jorda} \\ &= \frac{1 \text{ K}}{108 \text{ m}} \quad \text{på Venus}\end{aligned}$$

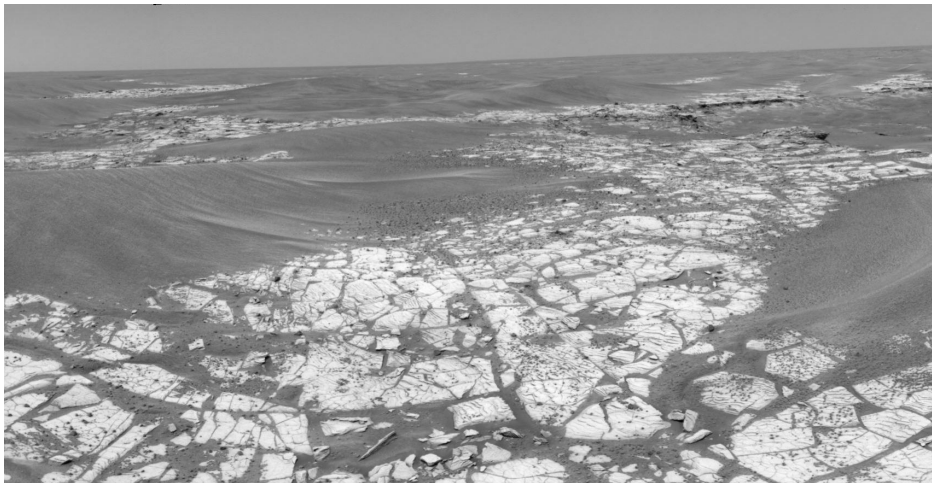
Likevektstemperatur for solstrålingen:

279 K = 6 °C for Jorda

328 K = 55 °C for Venus

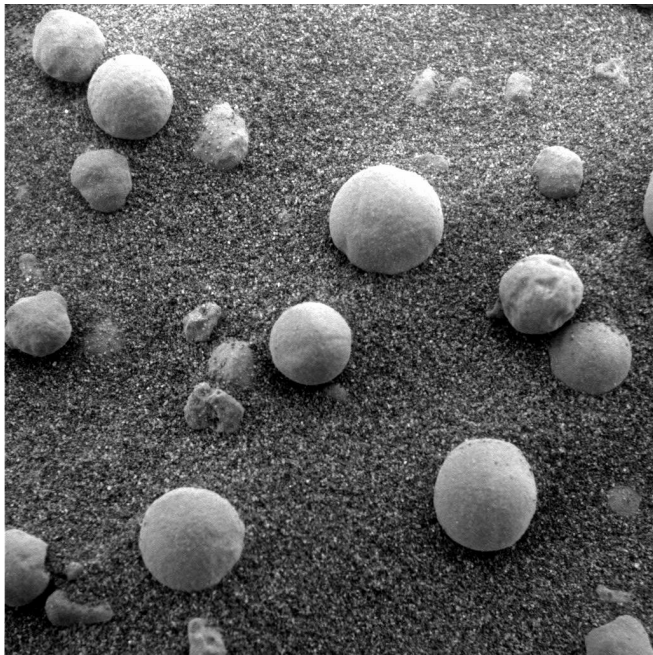
Med temperaturgradient 1 K/108 m på Venus, og 730 K på overflaten, er det 328 K når vi kommer 43 km over bakken.

Der finner vi undersiden av et 20 km tykt skylag.



Mars. Ferdiglaget vei for Opportunity, 12/5 2006.
Opportunity og Spirit har kjørt rundt på Mars siden 2004.

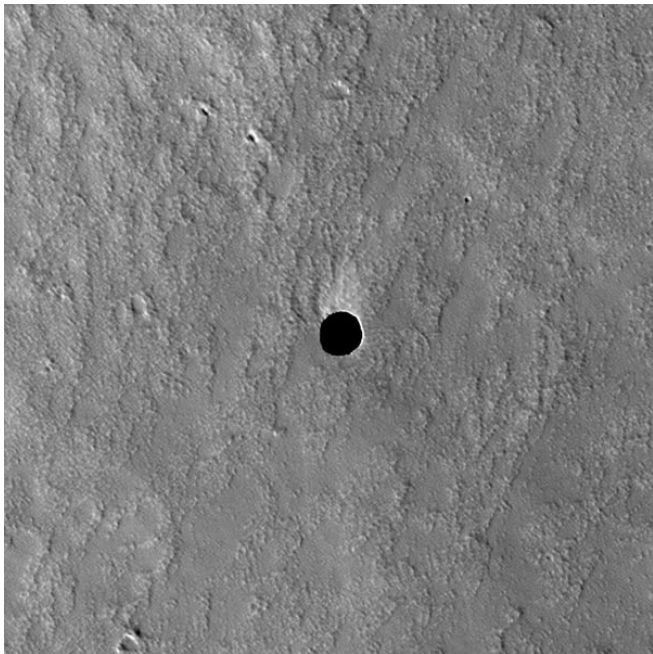
Nærbilde av
Mars



Et hull i Mars

Stort som en
fotballbane

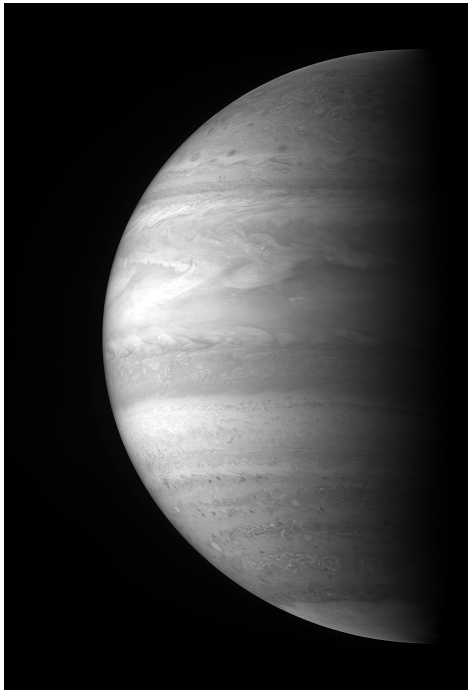
Mars
Reconnaissance
Orbiter
2007



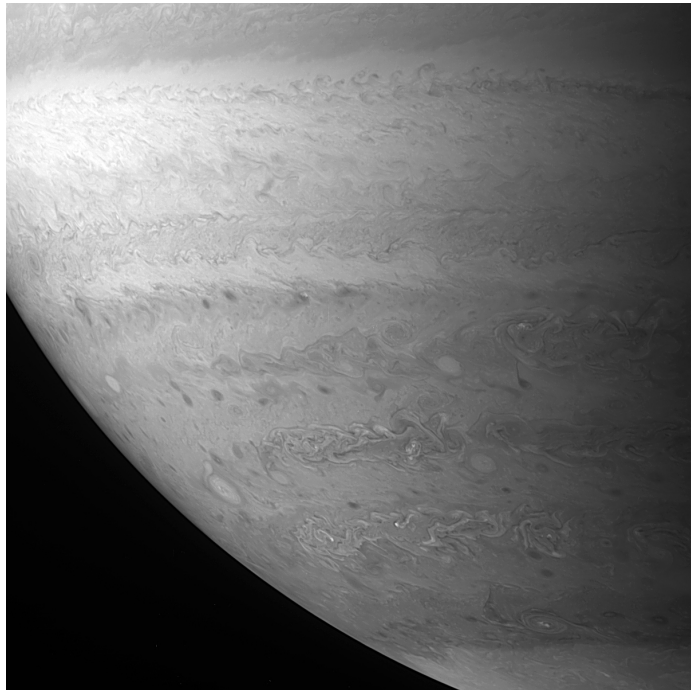
Jupiter

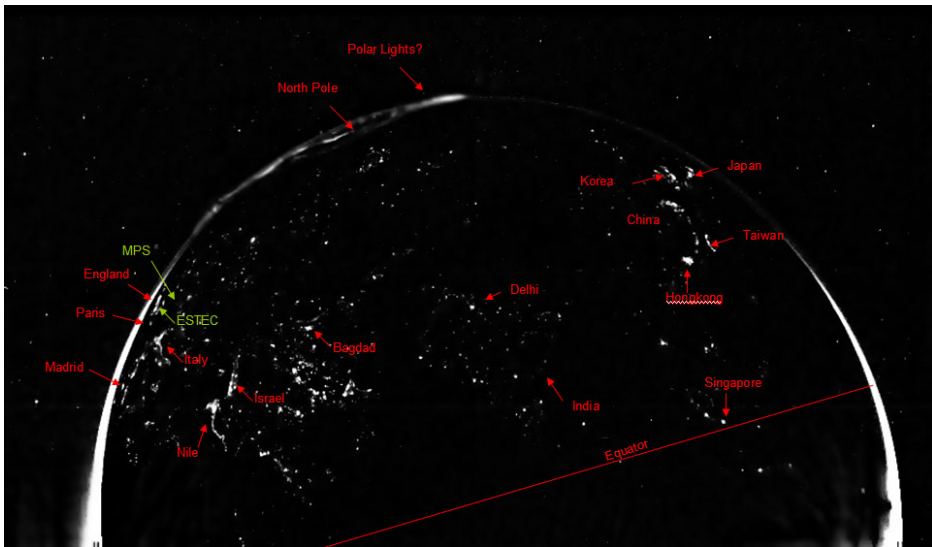
28/2 2007

Bilde fra sonden
New Horizons
underveis til Pluto
i 2015



Jupiter





Jorda, 13/11 2007 kl. 19.45. Fra sonden Rosetta,
underveis til kometen 67 P / Churyumov–Gerasimenko i 2014.

Sola

Bølgelengde

171 Å

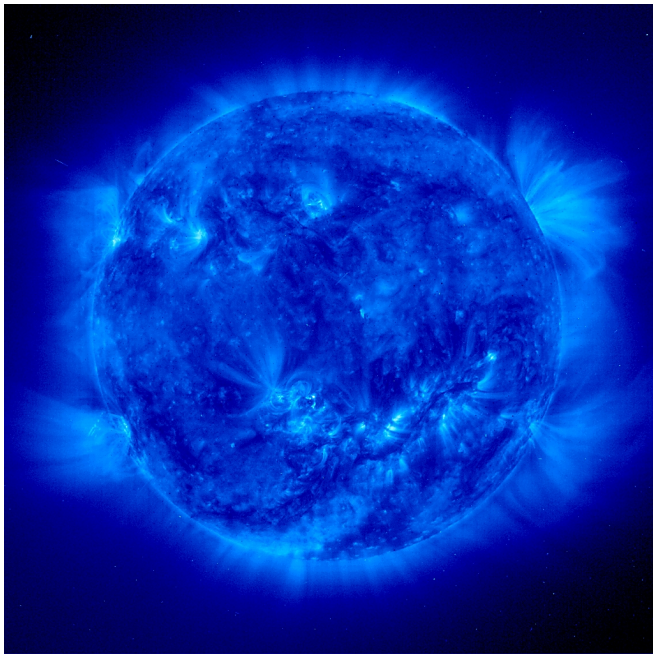
FeIX/X

9 ganger ionisert
jern

Temperatur

1 million K

SOHO



Spektroskopi med høy oppløsning

- Helioseismologi: Å se inn i Sola med lydbølger.
5 minutters lokale svingninger ble oppdaget i 1962.
Store hastigheter: 500 m/s gir Doppler-effekt på

$$\frac{500 \text{ m/s}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1,7 \times 10^{-6}$$

Sammenlignbar med hastigheten til atomene,
som gjør alle spektrallinjer bredere pga. Doppler-effekten.
Doppler-forskyving av spektrallinjer må altså måles
med en nøyaktighet som er brøkdeler av linjebredden.

- Sola observeres kontinuerlig fra SOHO og fra bakken.
Flere nettverk av observatorier: GONG, TON, BISON.
- Samme spektroskopiske teknikk brukes for å oppdage
planeter i bane rundt andre stjerner.

Single Dopplergram

(30-MAR-96 19:54:00)

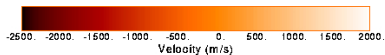
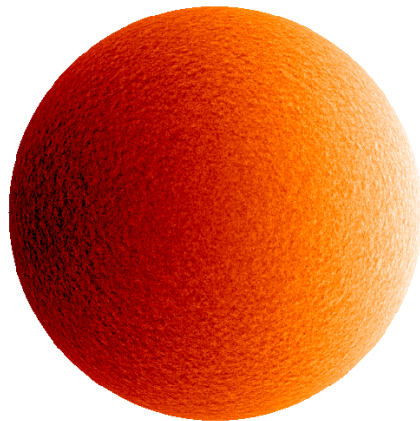
Sola

SOHO/MDI

Mørk farge:
bevegelse mot
observatøren

Michelson
Doppler
interferometer

Bølgelengde
 $6767,8 \text{ \AA}$
(Ni I)



SOI / MDI

Stanford Lockheed Institute for Space Research

Average Dopplergram Minus Polynomial Fit

45 images averaged (30-Mar-96 19:26 to 30-Mar-96 20:17)

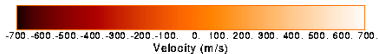
Sola

SOHO/MDI

45 minutters

middel

minus rotasjon



SOI / MDI

Stanford Lockheed Institute for Space Research

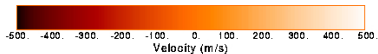
Single Dopplergram Minus 45 Images Average

(30-MAR-96 19:54:00)

Sola

SOHO/MDI

Enkeltbilde
minus
45 minutters
middel



SOI / MDI

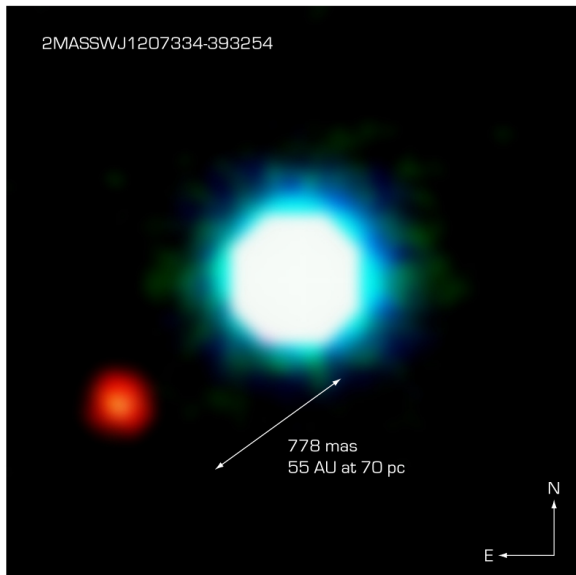
Stanford Lockheed Institute for Space Research

Planet?

20 Jupitermasses

VLT
(Very Large
Telescope)

ESO
(European
Southern
Observatory)
Paranal, Chile



NACO Image of the Brown Dwarf Object 2M1207 and GPCC

Exoplaneter – utenfor Solsystemet

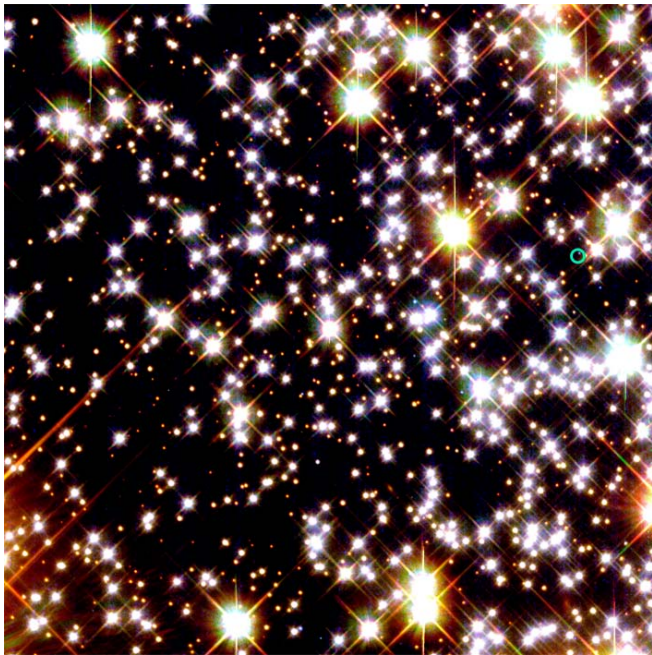
- 267 kjente planeter, mest Jupiter-like.
- Sensasjon i 1992: Pulsaren PSR B1257+12 (periode 6,22 ms) har tre planeter, med 0,000063, 0,014 og 0,012 jupitermasser. Omløpstider 25, 67 og 98 dager.
- 2003: Pulsaren PSR B1620-26 (periode 11 ms) har følge av en hvit dvergstjerne og en planet med 2,5 jupitermasser. Omløpstider 191 dager og 100 år.
- Oppdagelsesmetoder
 - Spektroskopi (Doppler-effekt): 254 planeter i 218 planetsystem.
 - Formørkelser: 34 planeter.
 - Gravitasjonslensing (brennglass): 4 planeter.
 - Fotografert: 4 planeter.
 - Stoppeklokke: 5 planeter i tre planetsystem.

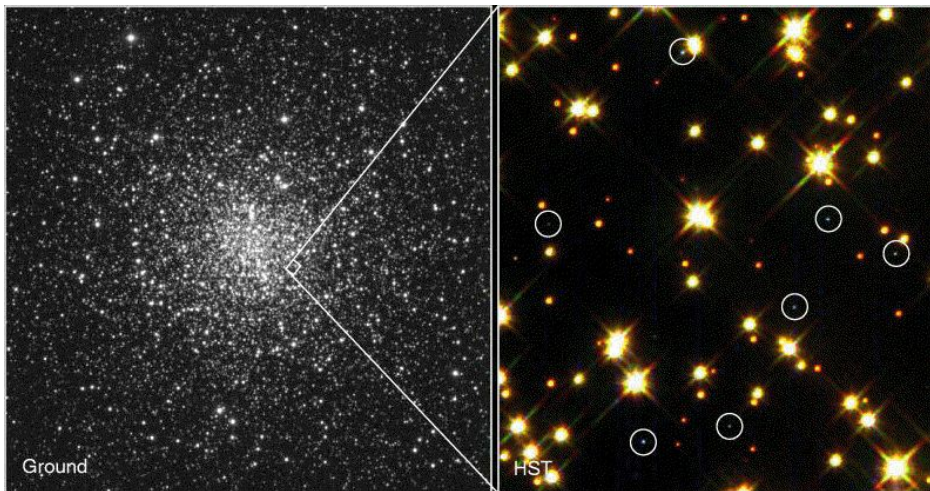
PSR B1620-26 i kulehopen M4

En pulsar,
en hvit dverg
og en planet

Den eldste
kjente planeten
12,7 milliarder
år?

Hubbleteleskopet





Venstre: Kulehopen M4, fra Kitt Peak, USA. Avstand 7000 lysår.
Mer enn 100 000 stjerner innenfor $(50 \text{ lysår})^3$.

Høyre: Utsnitt, fra Hubble-teleskopet, 1995. 7 hvite dvergstjerner.

Romteleskop

- Hipparcos (1989–93). Målte avstander (parallakser) til stjerner.
- Hubble (1990–). 2,4 m diameter speil.
- Spitzer (2003–). Infrarødt lys. 85 cm teleskop.
- COROT (2007–). Småplanetsøk, stjerneseismologi.
- James Webb romteleskop (2013–). 6,5 m speil.

Romteleskop II

- Røntgenteleskop
 - Uhuru (1970–73).
 - Rosat (1990–99).
 - BeppoSAX (1996–2003).
 - Chandra (1999–).
 - XMM Newton (1999–).
- Gammateleskop
 - Compton (1991–2000).
 - INTEGRAL (2002–2012). Studerer gammaglimt.
 - SWIFT (2004–). Studerer gammaglimt.
 - GLAST (2008–).

Romteleskop for mikrobølger

- RELIKT 1 (1983). Sovjetisk satellitt, målte den kosmiske bakgrunnstrålingen.
- COBE (1989–93). COsmic Background Explorer.
Fant anisotropi på 10^{-5} i den kosmiske bakgrunnstrålingen.
Belønnet med Nobel-prisen 2006.
- WMAP (2001–09). Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.
Måler bakgrunnstrålingen med nøyaktighet 10^{-6} og
vinkelopløsning 0,3 grader.
Måler også polarisasjon.
- Planck (2008–).

Konklusjoner fra WMAP

- Universet er $13,7 \pm 0,2$ milliarder år gammelt
- Og består av
 - 4% ordinær materie (som vi er laget av)
 - 22% mørk materie av helt ukjent type
 - 74% mørk energi, av enda mer ukjent type, som akselererer ekspansjonen av Universet

Avanserte bakketeleskop

Teoretisk grense for vinkeloppløsningen til et teleskop er

$$\text{vinkeloppløsning i radianer} = \frac{\text{bølgelengde av lyset}}{\text{diameter av lysåpningen}}$$

Med synlig lys betyr det 1 buesekund for 10 cm lysåpning.

For et større teleskop på bakken begrenses oppløsningen av turbulens i atmosfæren.

Adaptiv optikk er en teknikk for å oppheve denne begrensningen.

Hovedspeilet korrigeres kontinuerlig så en ledestjerne avbildes skarpt.

En laserstråle kan fungere som kunstig ledestjerne.

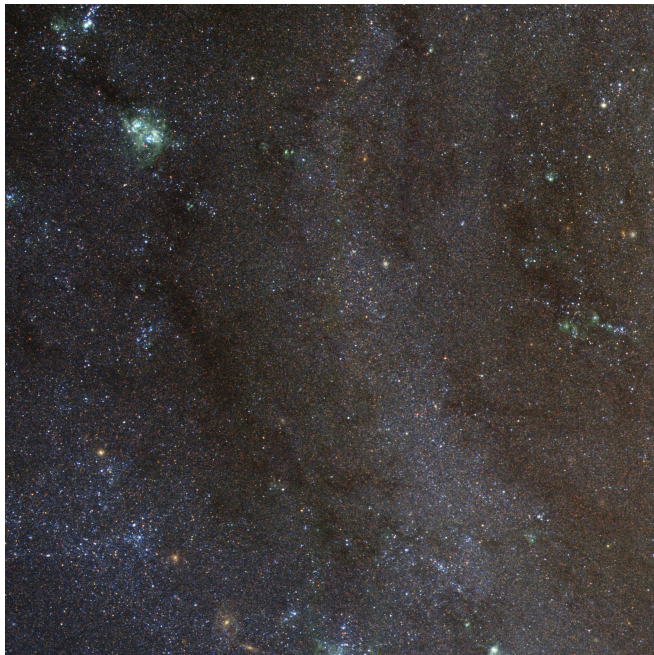
Avanserte bakketesleposkop

- Keck (1993–). To 10 m teleskop på Hawaii.
- Hobby–Eberly (1999–). 9,2 m teleskop, lavkostprosjekt.
- SALT (2005–). 10 m, Sør-Afrikansk, kopi av Hobby–Eberly.
- Subaru (Sjustjernen) (1999–). Japansk 8,2 m teleskop på Hawaii.
- ESO VLT (1999–). European Southern Observatory Very Large Telescope i Chile. Fire 8,2 m og fire 1,8 m teleskop som kan operere hver for seg eller sammen.
- LBT (2005–). Large Binocular Telescope. To 8,4 m teleskop.
- GTC (2007–). 10,4 m teleskop på Kanariøyene.



Galaksen M81, avstand 12 millioner lysår. Hubbleteleskopet.

Utsnitt av M81



Sentrum av
M51

Avstand 37
millioner lysår



Ved siden av
M51



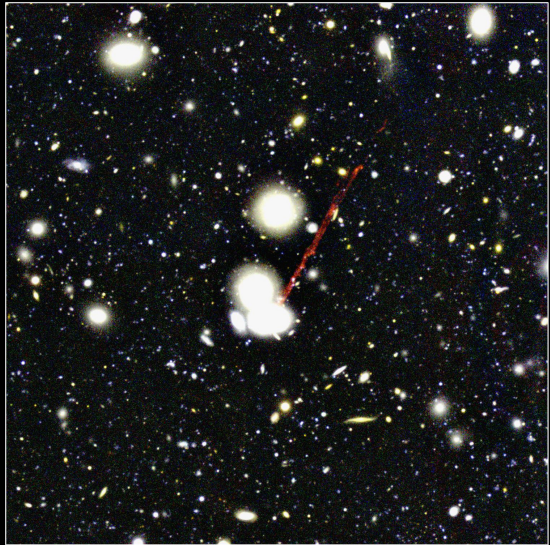


M51 med supernova 2005cs. Jon Christensen (Arizona), 1/7 2005.

En tråd av gass
fra galaksen
D100

En galaksehopp i
avstand
300 millioner
lysår
i stjernebildet
Berenices Hår

Subaruteleskopet



D100 and its filament of ionized hydrogen gas

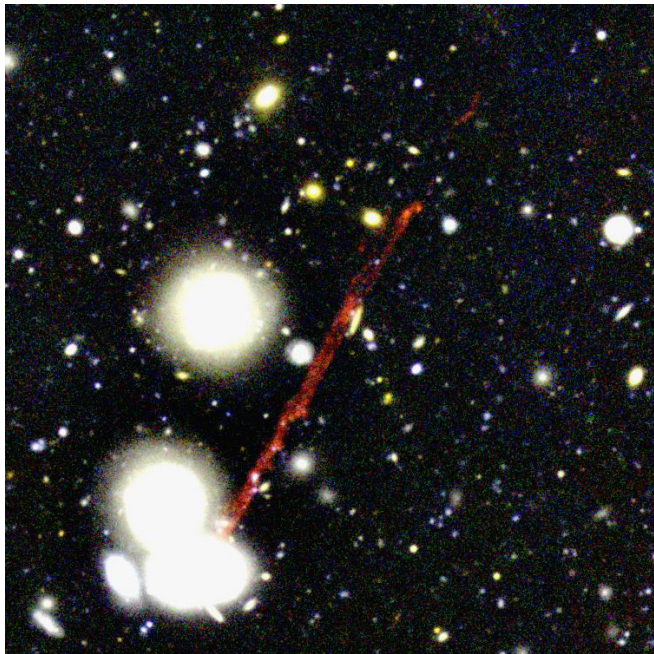
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

Copyright © 2007 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

Suprime-Cam (H α , R, B)

March 5, 2007

Tråden er
200 000 lysår
lang og
6 000 lysår
tykk



Galaksehopen
ZwCl0024+1652

Avstand
5 milliarder
lysår

Gravitasjonslinse
som avbilder
fjernere galakser

Hubbleteleskopet



Galaksehopen
ZwCl0024+1652

Beregnet
fordeling av
mørk materie,
vist i blått.



Hoags objekt

Avstand
600 millioner
lysår

En ringgalakse
og en til lenger
borte

Hubbleteleskopet



Hubble Ultra Deep Field

1/10
månediameter

1 million
sekunder
eksponering

10 000 galakser



Hubble Ultra Deep Field

Utsnitt

