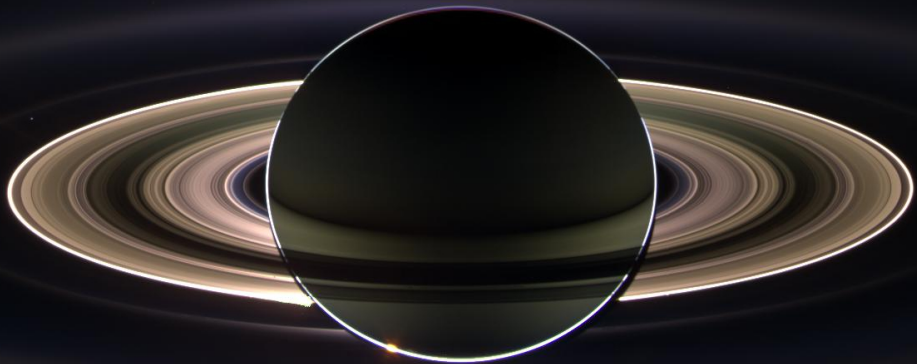


# Astrofysikkens gullalder

Jan Myrheim

Institutt for fysikk  
NTNU

30. november 2007



Geysirer på  
Saturns måne  
Enceladus

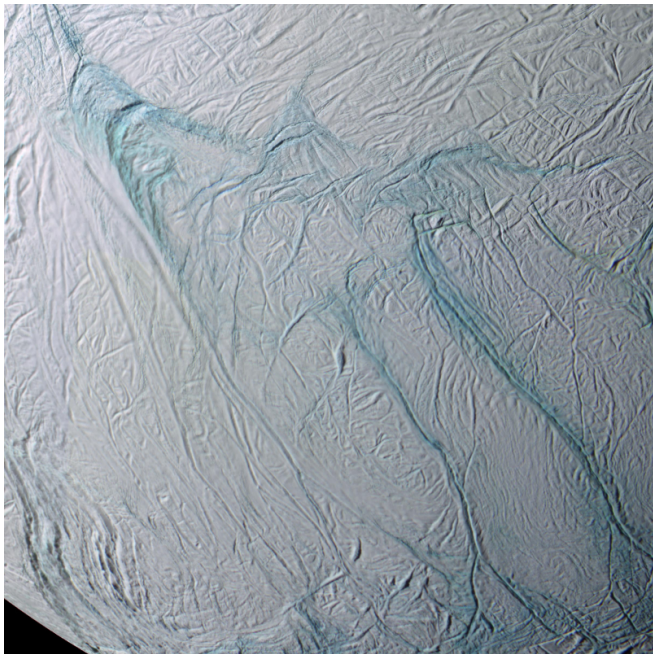
505 km diameter

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.



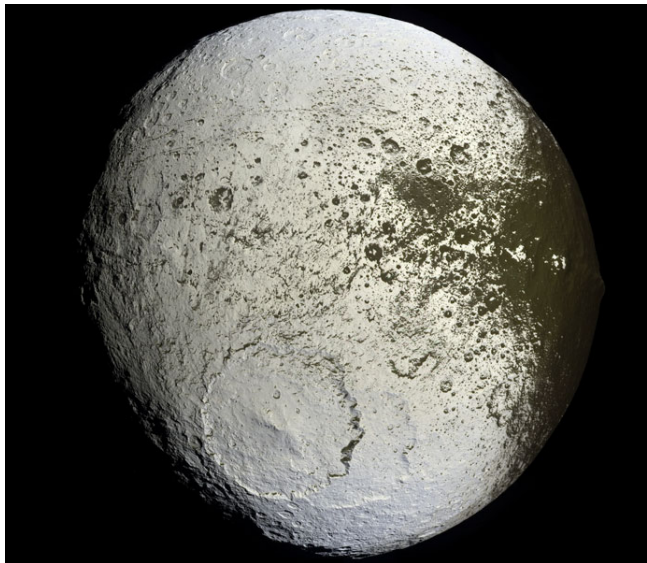
Saturn 21/2 2005, fra Trondheim. JM, 8 tommers teleskop.



Saturns måne  
Iapetus

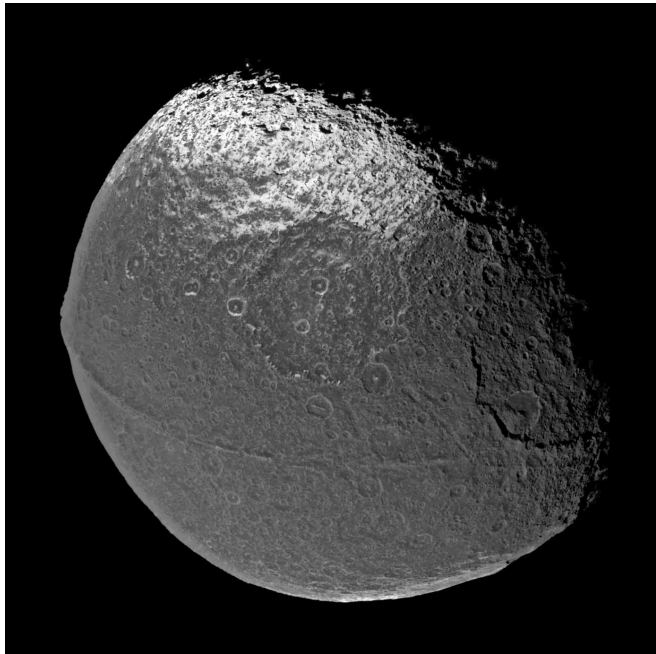
1468 km  
diameter

Bilde fra  
Cassini-sonden  
8/10 2007



Den mørke  
siden av  
Iapetus

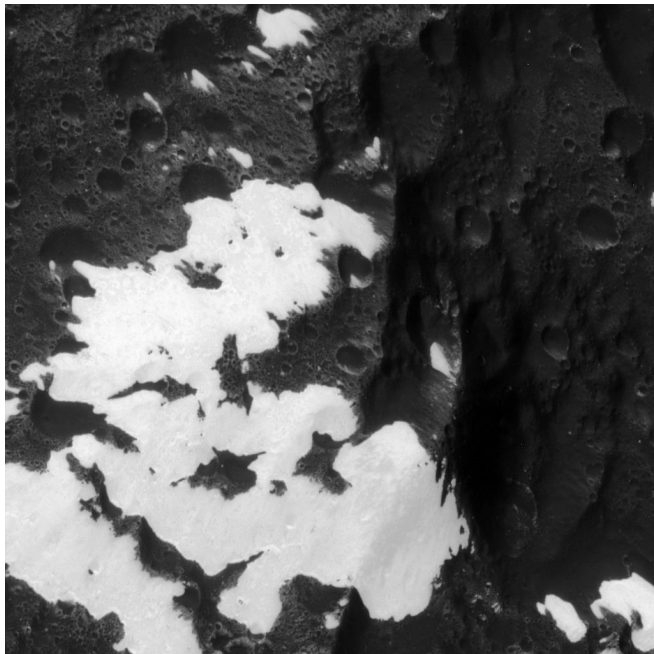
Cassini, 2004



Iapetus

56 km × 56 km

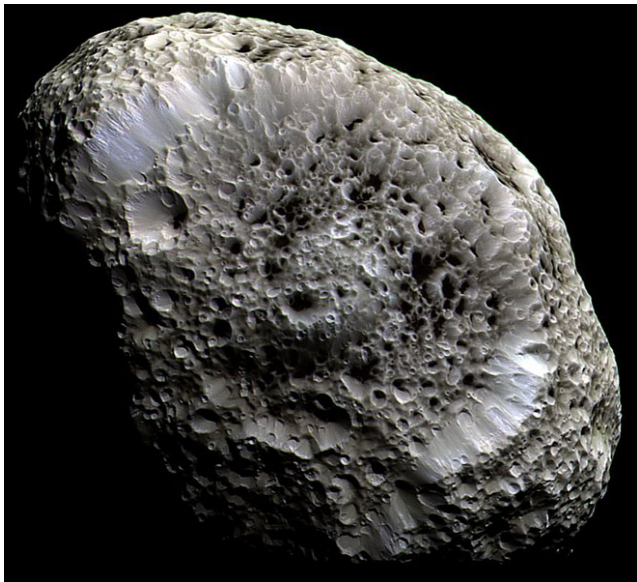
Cassini  
10/9 2007



Saturns måne  
Hyperion

280 km diameter

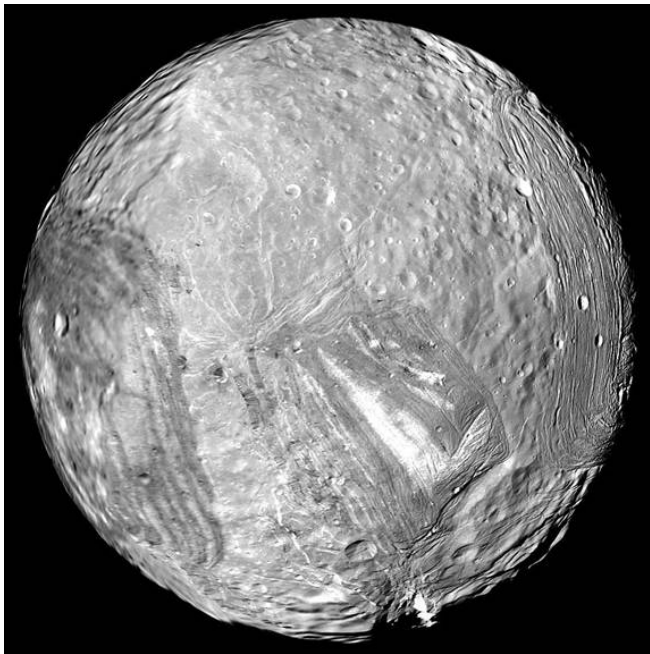
Cassini, 2005



Uranus's måne  
Miranda

472 km diameter

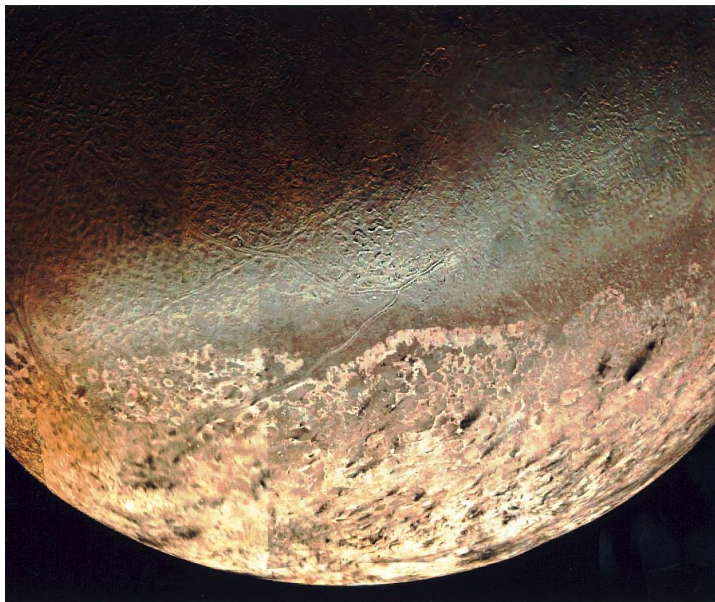
Voyager 2, 1986



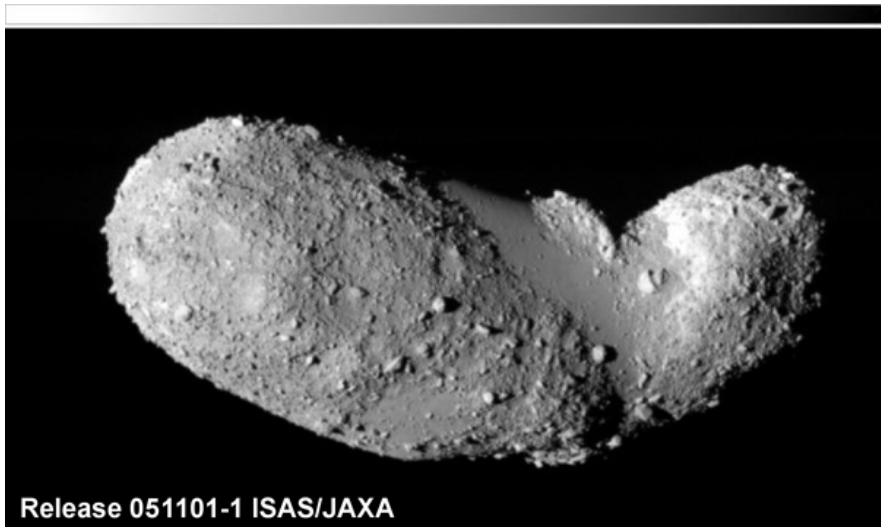
Neptuns  
måne  
Triton

2700 km  
diameter

Voyager 2  
1989







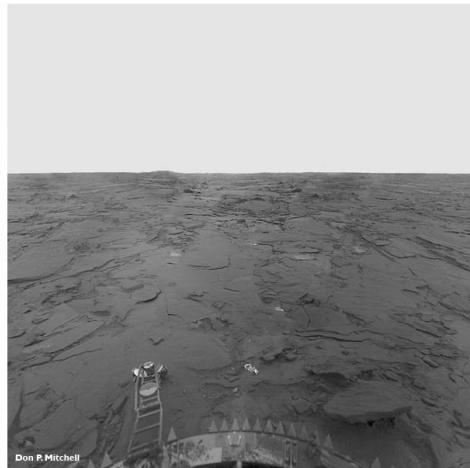
Asteroiden Itokawa, 535 m lang. Hayabusa, 2005.



Sonden Huygens  
landet  
med fallskjerm  
på Titan  
14/1 2005

94 K =  $-180^{\circ}\text{C}$   
1,5 atmosfærers trykk





Venus. Venera 13, 1/3 1982. Bilder bearbejdet av Don P. Mitchell.  
730 K = 457 °C, 84 atmosfærers trykk.

# Drivhuseffekten

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

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

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

$P$  = trykk

$\rho$  = 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

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

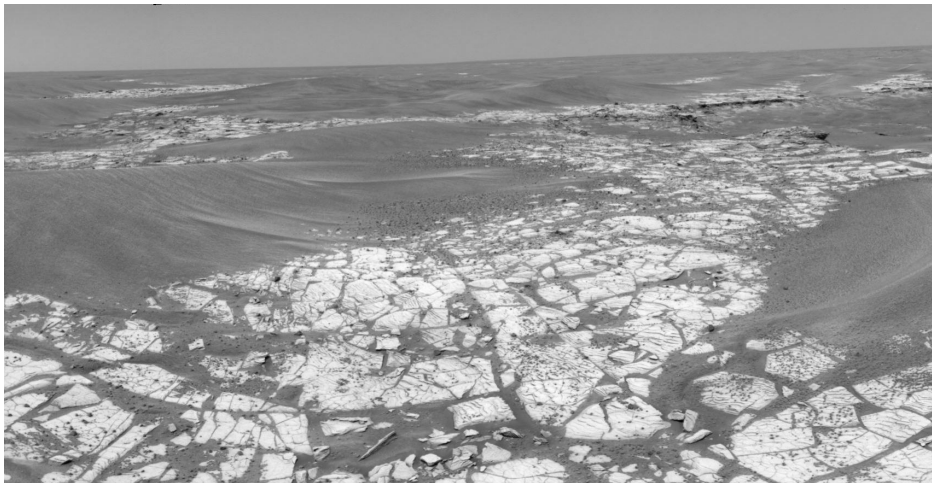
Likevektstemperatur for solstrålingen:

279 K = 6 °C for Jorda

328 K = 55 °C for Venus

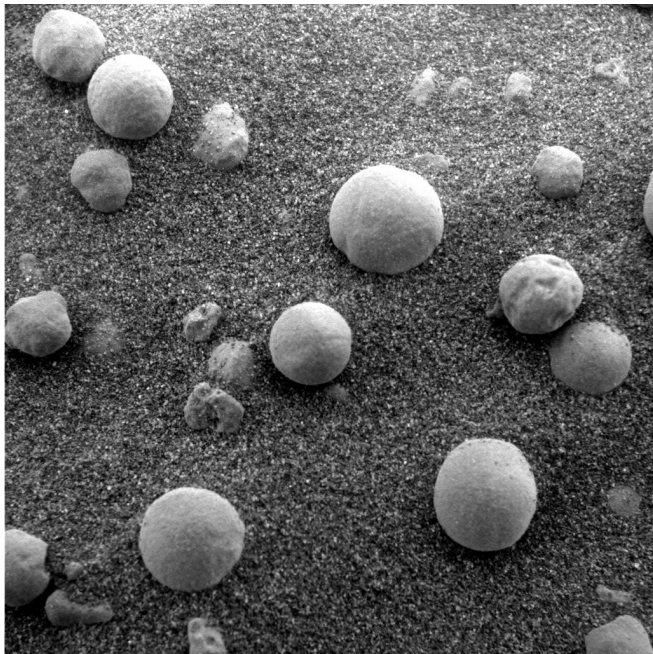
Med temperaturgradient 1 K/108 m på Venus, og 730 K på overflaten, er det 328 K når vi kommer 43 km over bakken.

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.

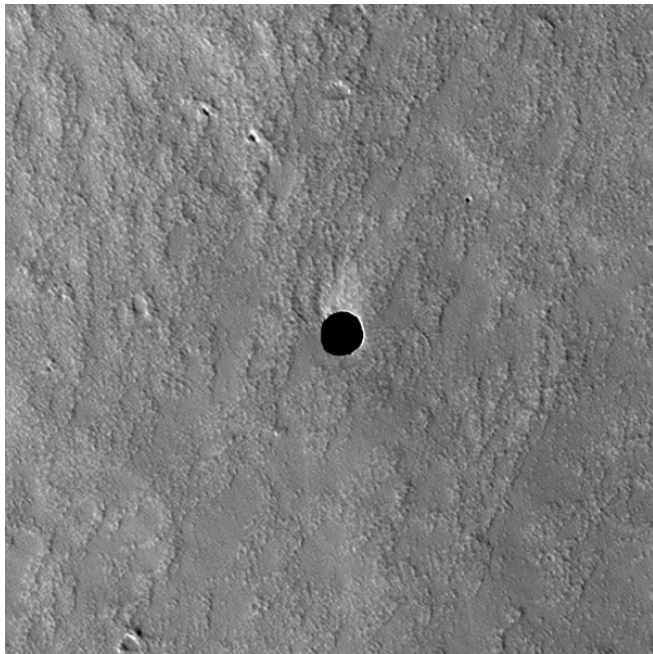
Nærbilde av  
Mars



## Et hull i Mars

Stort som en  
fotballbane

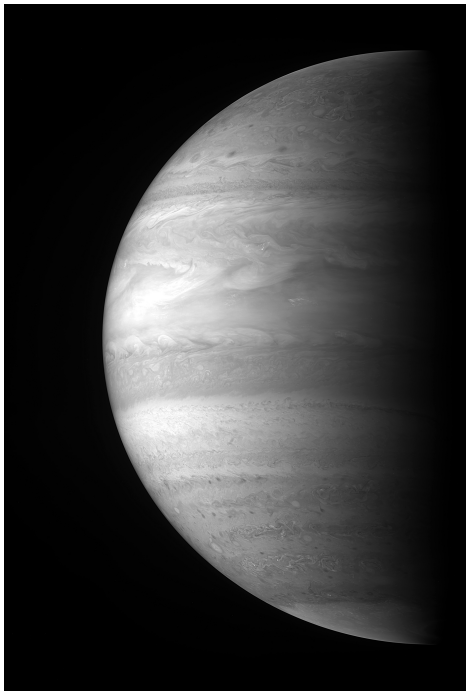
Mars  
Reconnaissance  
Orbiter  
2007



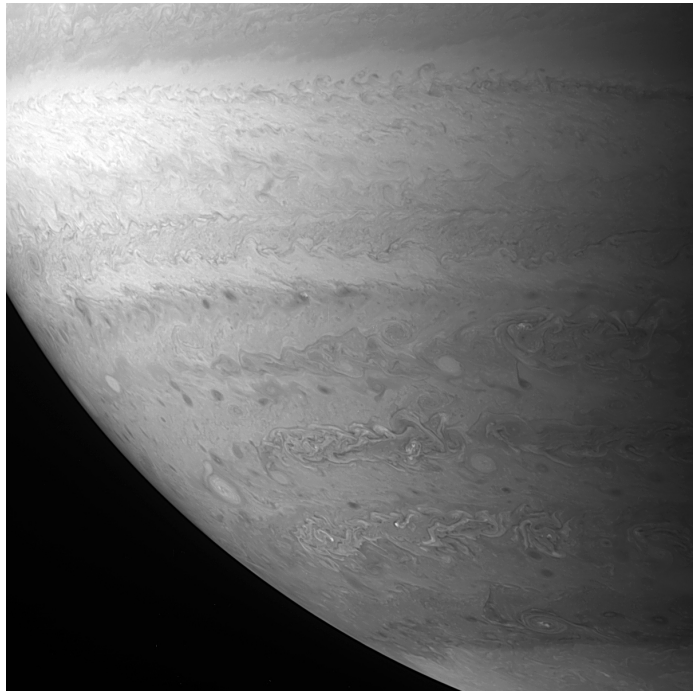
# Jupiter

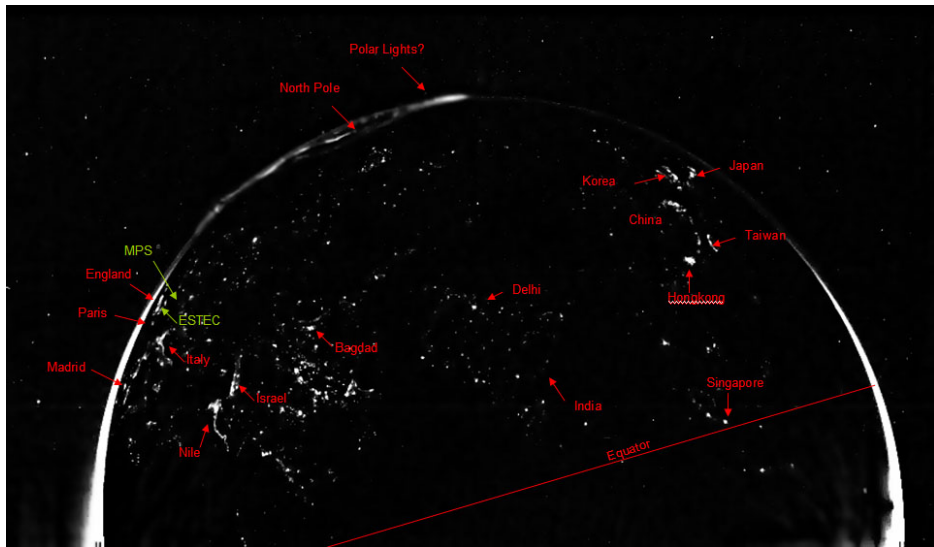
28/2 2007

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

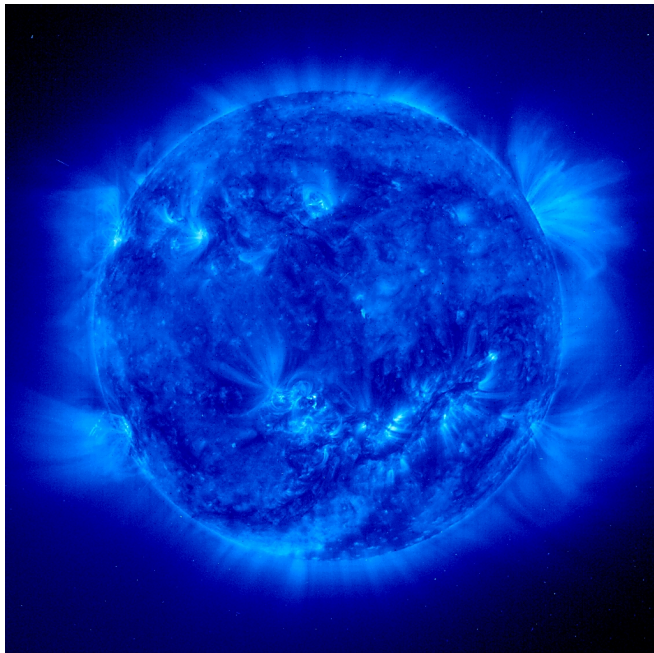
9 ganger ionisert

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)

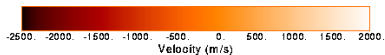
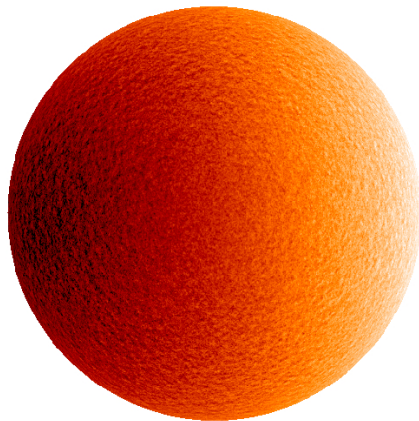
Sola

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)

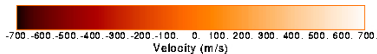
Sola

SOHO/MDI

45 minutters

middel

minus rotasjon



SOI / MDI

Stanford Lockheed Institute for Space Research

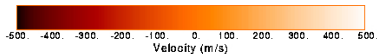
# Single Dopplergram Minus 45 Images Average

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

Sola

SOHO/MDI

Enkeltbilde  
minus  
45 minutters  
middel



SOI / MDI

Stanford Lockheed Institute for Space Research

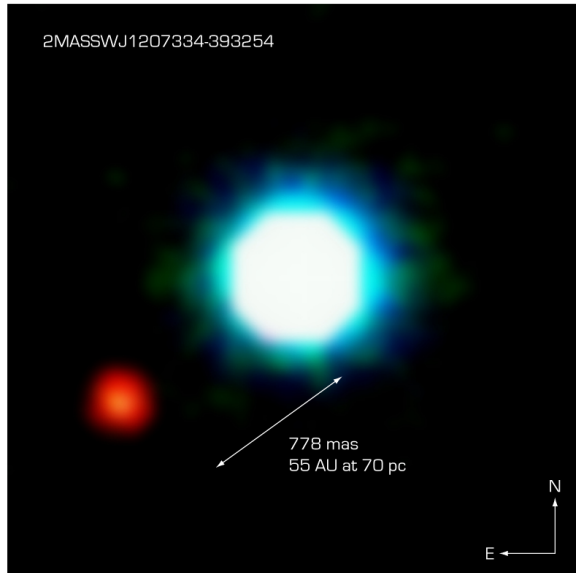
2MASSWJ1207334-393254

Planet?

20 Jupitermasser

VLT  
(Very Large  
Telescope)

ESO  
(European  
Southern  
Observatory)  
Paranal, Chile



NACO Image of the Brown Dwarf Object 2M1207 and GPC

# Exoplaneter – utenfor Solsystemet

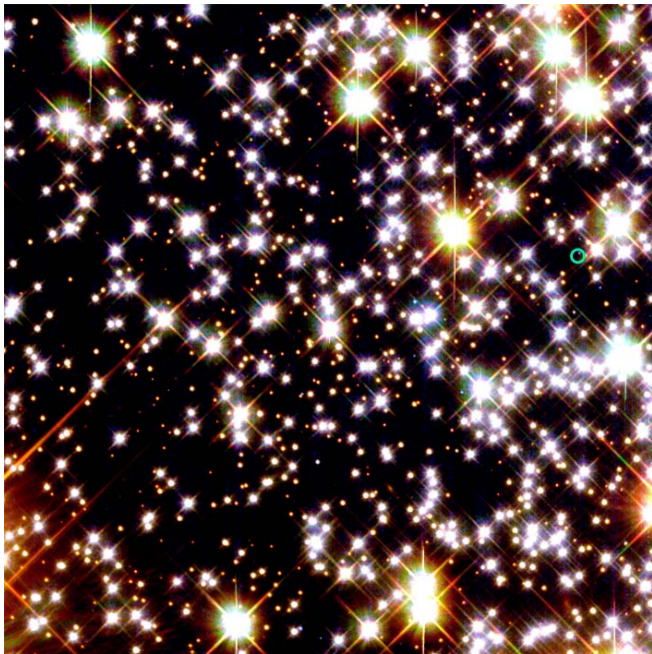
- 267 kjente planeter, mest Jupiter-like.
- Sensasjon i 1992: Pulsaren PSR B1257+12 (periode 6,22 ms) har tre planeter, med 0,000063, 0,014 og 0,012 jupitermasser. Omløpstider 25, 67 og 98 dager.
- 2003: Pulsaren PSR B1620-26 (periode 11 ms) har følge av en hvit dvergstjerne og en planet med 2,5 jupitermasser. 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.

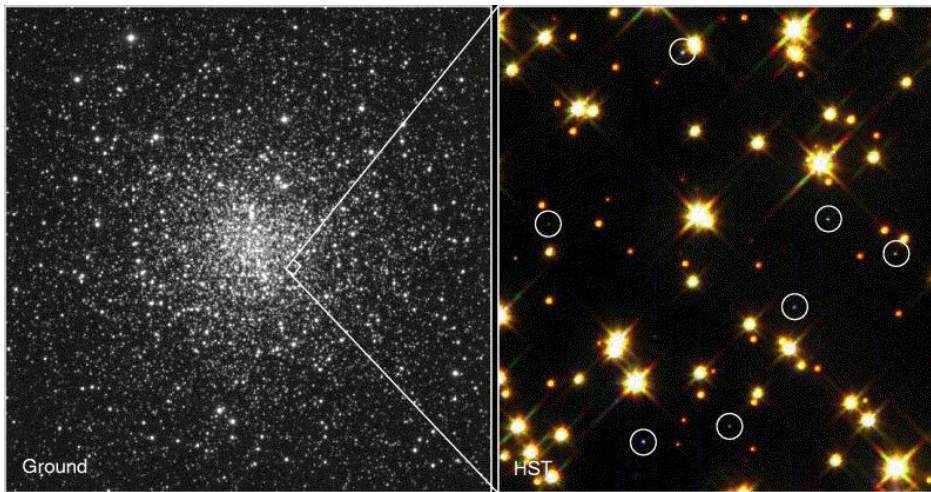
PSR B1620-26  
i kulehopen M4

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 bakket teleskop

- 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.



Utsnitt av M81

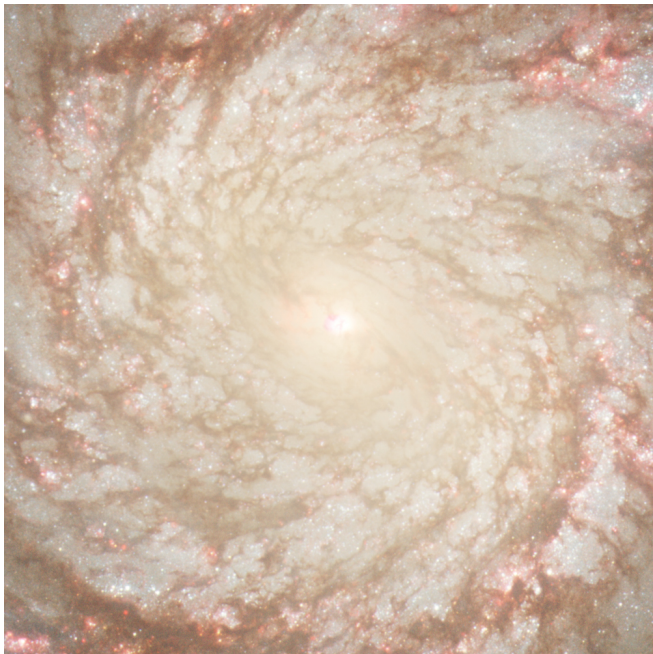




Galaksene M51 (NGC 5194) og NGC 5195. Hubbleteleskopet.

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

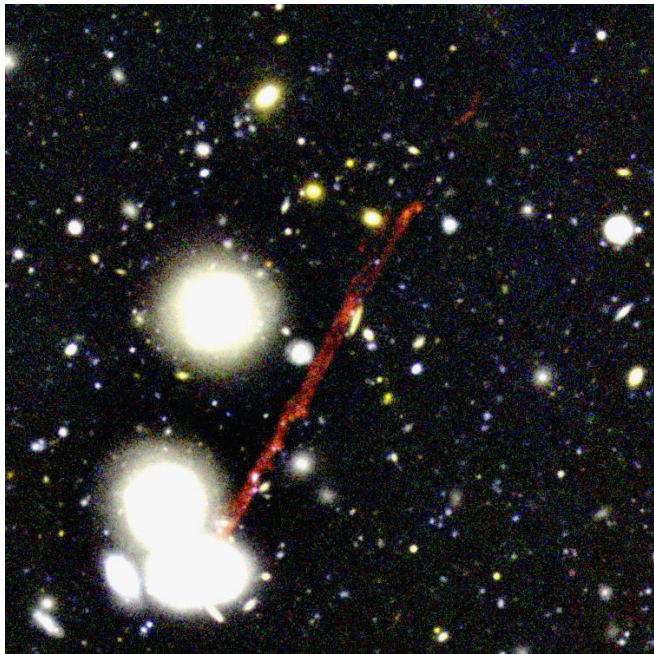
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

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

Suprime-Cam (H $\alpha$ , 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

