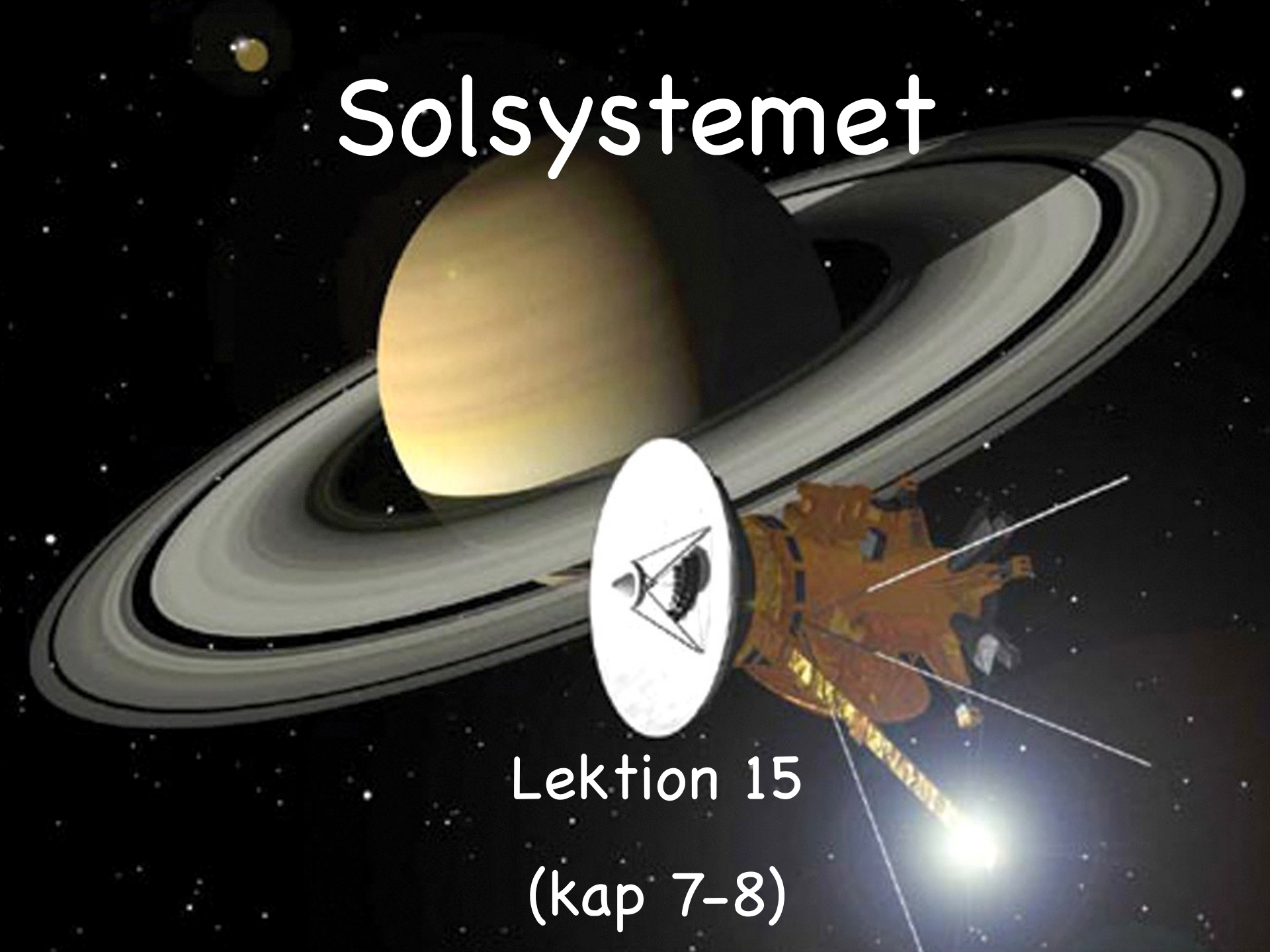


# Solsystemet

A composite image of the solar system. In the center, Saturn is shown with its prominent rings. To the left, Jupiter is visible as a large, orange and white banded sphere. In the foreground, the Cassini spacecraft is depicted, featuring a large white parabolic dish antenna and a complex orange and gold structure with various instruments and antennas. The background is a deep black space filled with numerous small white stars. A bright, out-of-focus light source, likely the Sun, is visible in the bottom right corner, creating a lens flare effect.

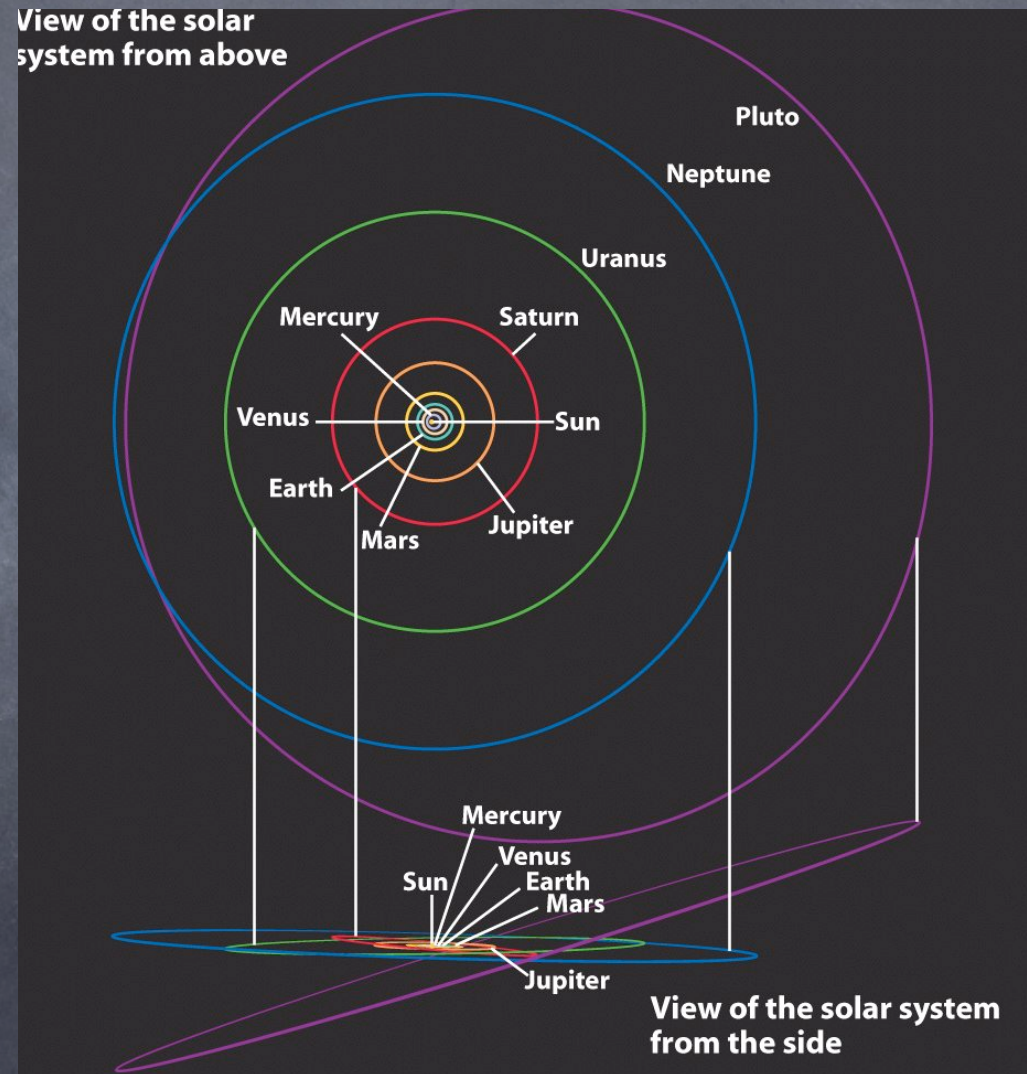
Lektion 15  
(kap 7-8)

# Solsystemet

- Består av nio stora planeter varav de flesta har en eller flera månar
- Mängder av småplaneter eller asteroider, kometer och meteoroider
- Interplanetariskt stoft och gas
- Magnetfält med solen eller någon av planeterna i centrum

# Två huvudtyper av planeter: jordlika och jupiterlika

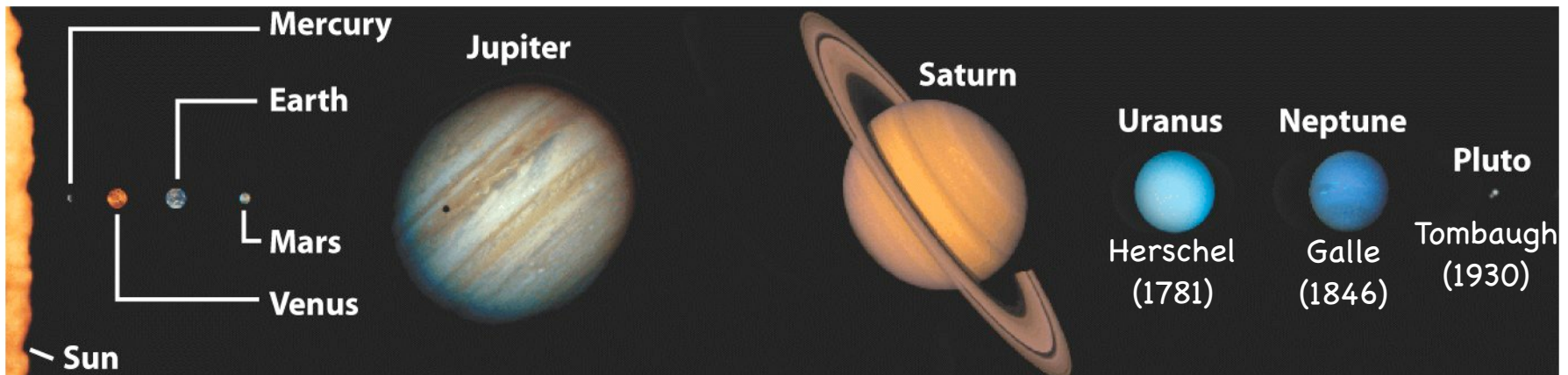
- Alla planeter kretsar runt solen i samma riktning och i ungefär samma plan (ekliptikan)
- De flesta planeter har nära cirkulära banor



# (mass)täthet

$$D = \frac{m}{V}$$

- Medeltätheten hos en substans beror delvis på dess komposition
- Ett objekt sjunker om dess medeltäthet är större än omgivningen och omvänt stiger om dess medeltäthet är lägre (leder till kemisk differentiering)
- De jordlika (inre) planeterna är uppbyggda av sten och har en kärna av järn med hög täthet vilket gör att dessa planeter har hög medeltäthet.



# Jordlika planeterna

**table 7-1**

**Characteristics of the Planets**

|                                        | The Inner Planets      |                        |                        |                        |
|----------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                        | Mercury                | Venus                  | Earth                  | Mars                   |
| Average distance from Sun ( $10^6$ km) | 57.9                   | 108.2                  | 149.6                  | 227.9                  |
| Average distance from Sun (AU)         | 0.387                  | 0.723                  | 1.000                  | 1.524                  |
| Orbital period (years)                 | 0.241                  | 0.615                  | 1.000                  | 1.88                   |
| Orbital eccentricity                   | 0.206                  | 0.007                  | 0.017                  | 0.093                  |
| Inclination of orbit to the ecliptic   | $7.00^\circ$           | $3.39^\circ$           | $0.00^\circ$           | $1.85^\circ$           |
| Equatorial diameter (km)               | 4880                   | 12,104                 | 12,756                 | 6794                   |
| Equatorial diameter (Earth = 1)        | 0.383                  | 0.949                  | 1.000                  | 0.533                  |
| Mass (kg)                              | $3.302 \times 10^{23}$ | $4.868 \times 10^{24}$ | $5.974 \times 10^{24}$ | $6.418 \times 10^{23}$ |
| Mass (Earth = 1)                       | 0.0553                 | 0.8150                 | 1.0000                 | 0.1074                 |
| Average density ( $\text{kg/m}^3$ )    | 5430                   | 5243                   | 5515                   | 3934                   |

## De fyra inre planeterna

- Relativt små (med diametrar på 5000 – 13,000 km)
- Höga medeltätheter ( $4000 - 5500 \text{ kg/m}^3$ )
- Fast yta bestående av sten

# Jätteplaneterna

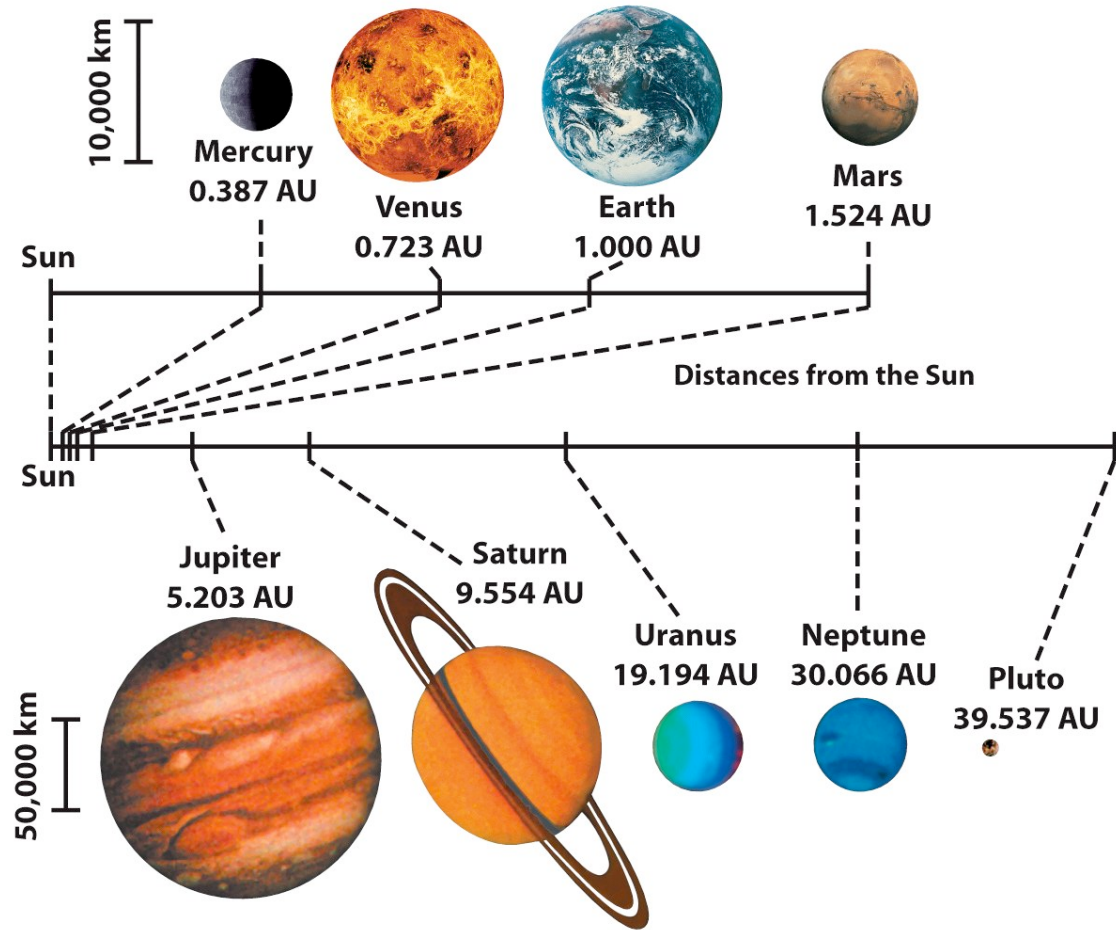
| The Outer Planets                      |                        |                        |                        |                        |                      |
|----------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
|                                        | Jupiter                | Saturn                 | Uranus                 | Neptune                | Pluto                |
| Average distance from Sun ( $10^6$ km) | 778.3                  | 1429                   | 2871                   | 4498                   | 5915                 |
| Average distance from Sun (AU)         | 5.203                  | 9.554                  | 19.194                 | 30.066                 | 39.537               |
| Orbital period (years)                 | 11.86                  | 29.46                  | 84.10                  | 164.86                 | 248.60               |
| Orbital eccentricity                   | 0.048                  | 0.053                  | 0.043                  | 0.010                  | 0.250                |
| Inclination of orbit to the ecliptic   | $1.30^\circ$           | $2.48^\circ$           | $0.77^\circ$           | $1.77^\circ$           | $17.15^\circ$        |
| Equatorial diameter (km)               | 142,984                | 120,536                | 51,118                 | 49,528                 | 2300                 |
| Equatorial diameter (Earth = 1)        | 11.209                 | 9.449                  | 4.007                  | 3.883                  | 0.180                |
| Mass (kg)                              | $1.899 \times 10^{27}$ | $5.685 \times 10^{26}$ | $8.682 \times 10^{25}$ | $1.024 \times 10^{26}$ | $1.3 \times 10^{22}$ |
| Mass (Earth = 1)                       | 317.8                  | 95.16                  | 14.53                  | 17.15                  | 0.0021               |
| Average density ( $\text{kg/m}^3$ )    | 1326                   | 687                    | 1318                   | 1638                   | 2000                 |

- De fyra yttre jätteplaneterna kallas för de Jovianska planeterna
- Stora diametrar (50,000 – 143,000 km)
- Låga medeldensiteter (700 – 1700  $\text{kg/m}^3$ )
- Består huvudsakligen av väte och helium

# Pluto

- Pluto är ett specialfall

- Mindre än alla jordlika planeter
- Medeldensitet på  $1900 \text{ kg/m}^3$
- Tätheten tyder på en blandning av is och sten



# Sju stora månar

table 7-2

The Seven Giant Satellites

|                                      | Moon                  | Io                    | Europa                | Ganymede              | Callisto              | Titan                 | Triton                |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Parent planet                        | Earth                 | Jupiter               | Jupiter               | Jupiter               | Jupiter               | Saturn                | Neptune               |
| Diameter (km)                        | 3476                  | 3642                  | 3130                  | 5268                  | 4806                  | 5150                  | 2706                  |
| Mass (kg)                            | $7.35 \times 10^{22}$ | $8.93 \times 10^{22}$ | $4.80 \times 10^{22}$ | $1.48 \times 10^{23}$ | $1.08 \times 10^{23}$ | $1.34 \times 10^{23}$ | $2.15 \times 10^{22}$ |
| Average density (kg/m <sup>3</sup> ) | 3340                  | 3530                  | 2970                  | 1940                  | 1850                  | 1880                  | 2050                  |
| Substantial atmosphere?              | No                    | No                    | No                    | No                    | No                    | Yes                   | No                    |



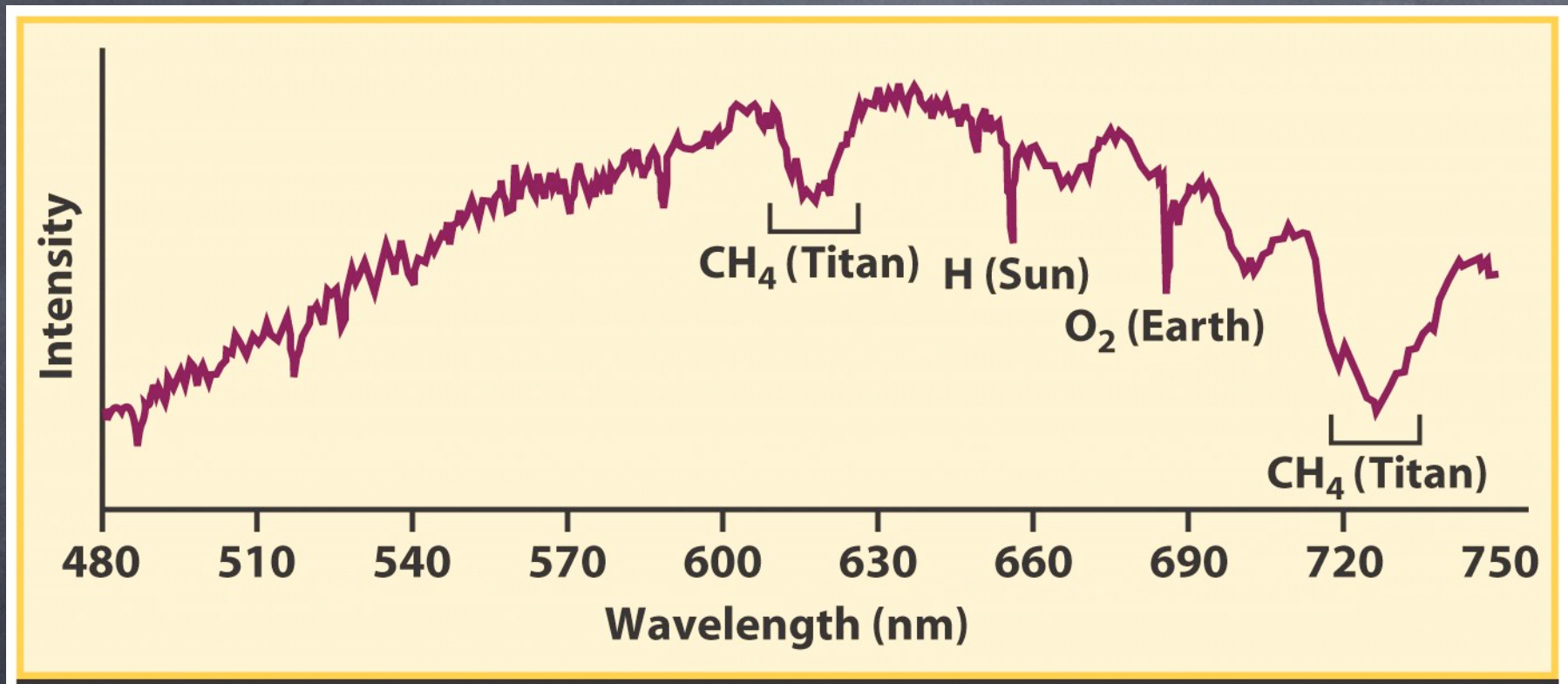
(JPL/NASA) R I V U X G

- Jämförbara med Merkurius i storlek
- Övriga månar i solsystemet är mycket mindre

# Med spektroskopi kan den kemiska sammansättningen av planeterna studeras

- Spektrumet från en planet eller måne med en atmosfär bär information om dess sammansättning
- I avsaknad av atmosfär så ger spektrumet istället information om ytans sammansättning
- De jordlika planeterna består i huvudsak av sten medan de jätteplaneterna till största delen utgörs av gas

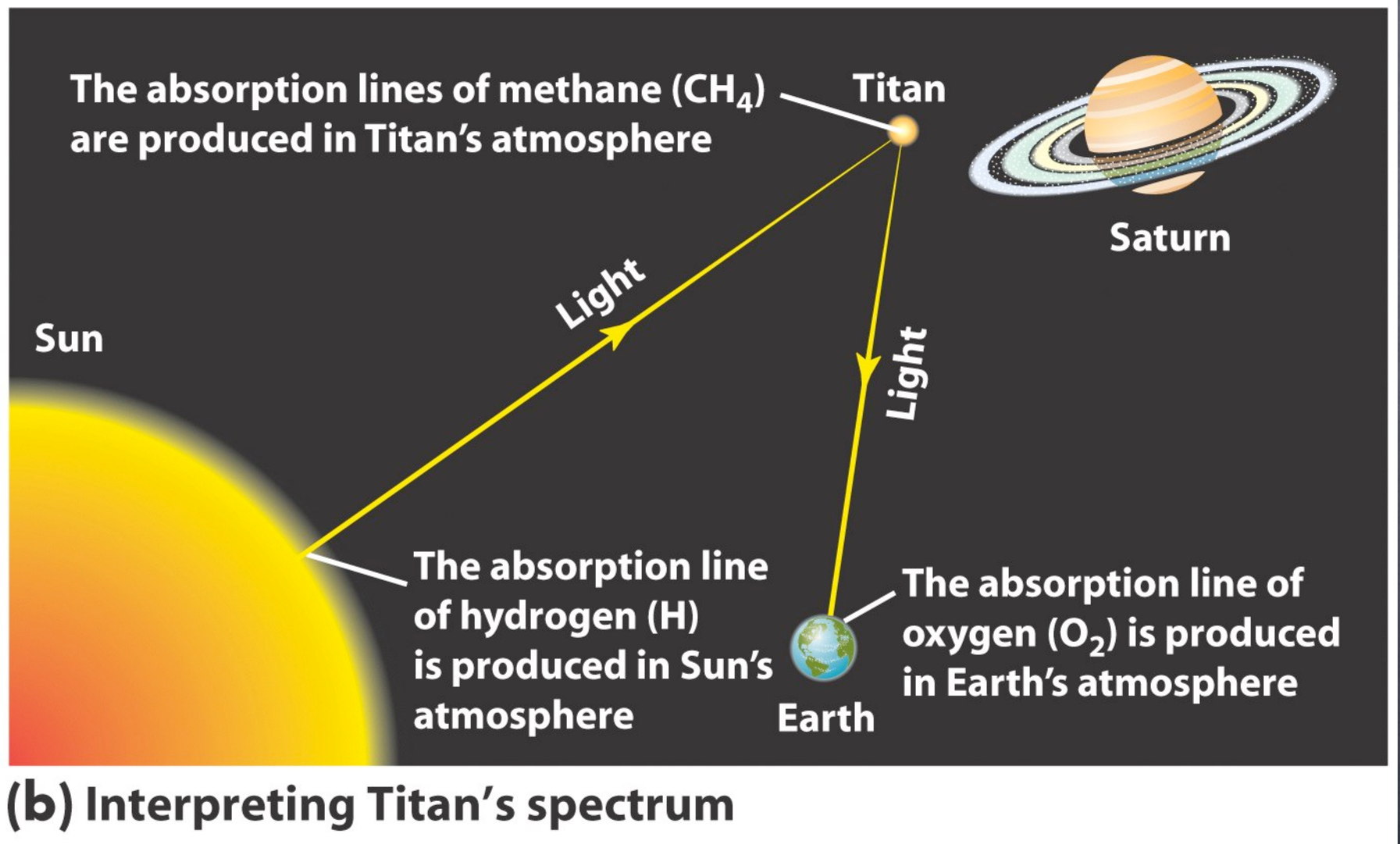
# Spektrum av Titans (Saturnus största måne) atmosfär



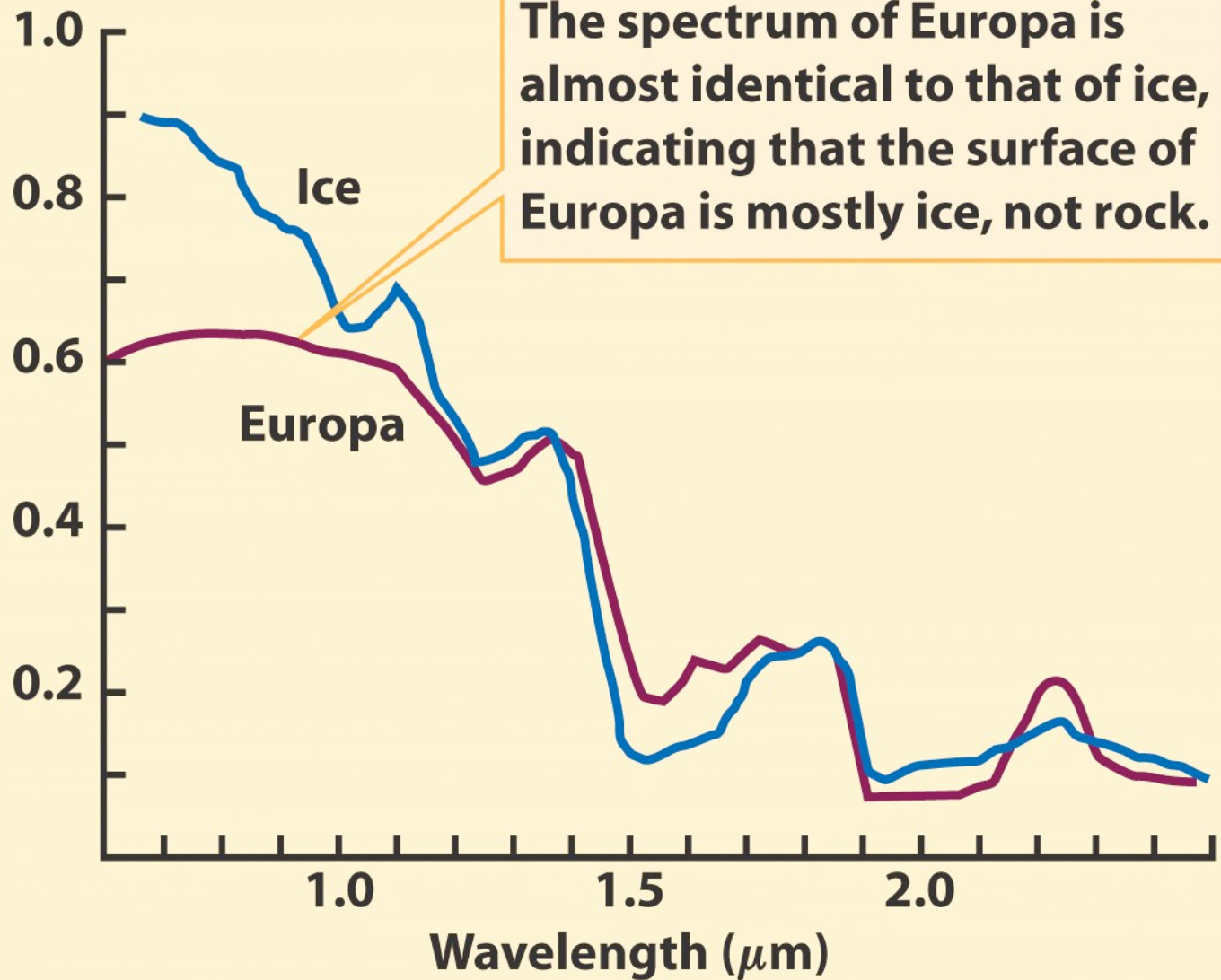
**(a)** The spectrum of sunlight reflected from Titan

Metangas ( $\text{CH}_4$ ) rikligt förekommande

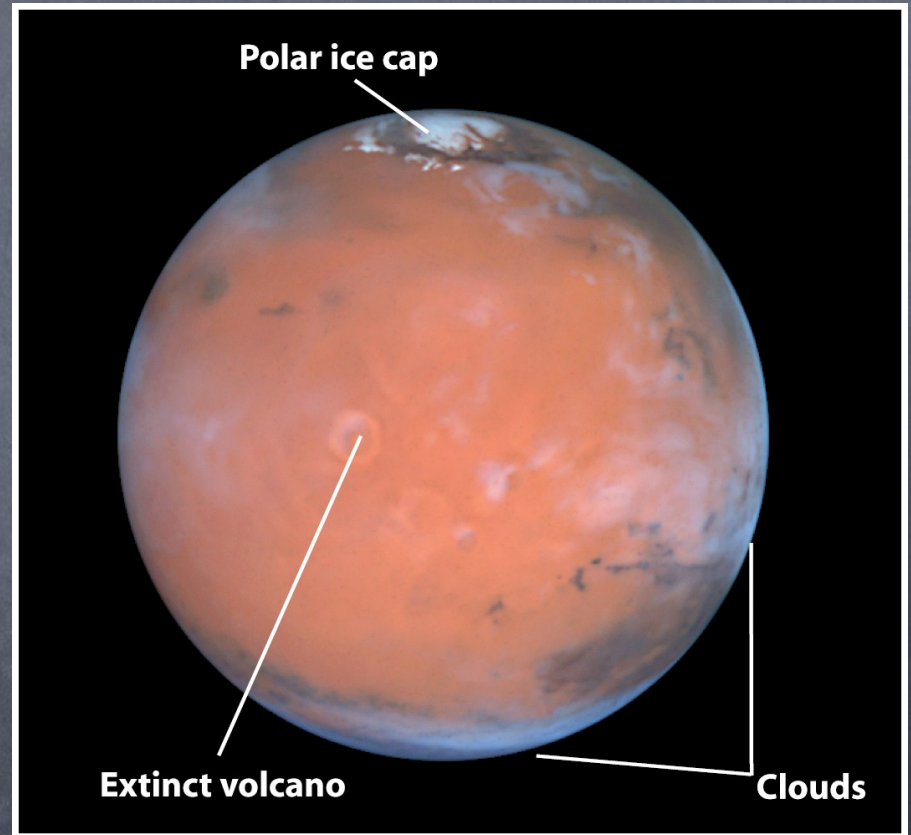
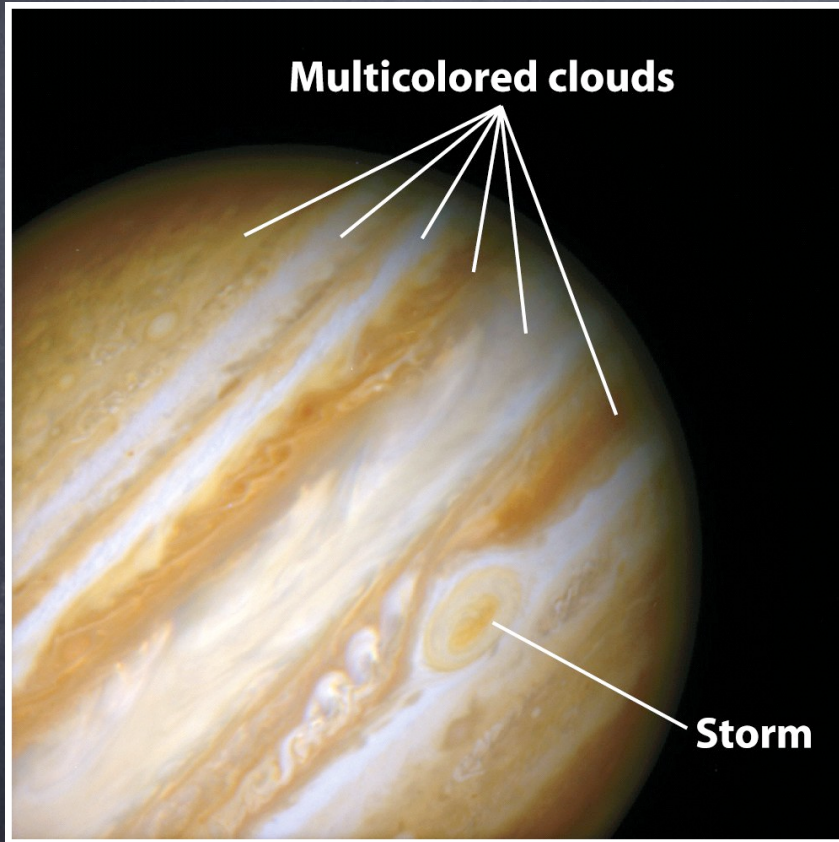
Spektrallinjerna ger också info om tryck, temperatur  
etc. som råder i atmosfären

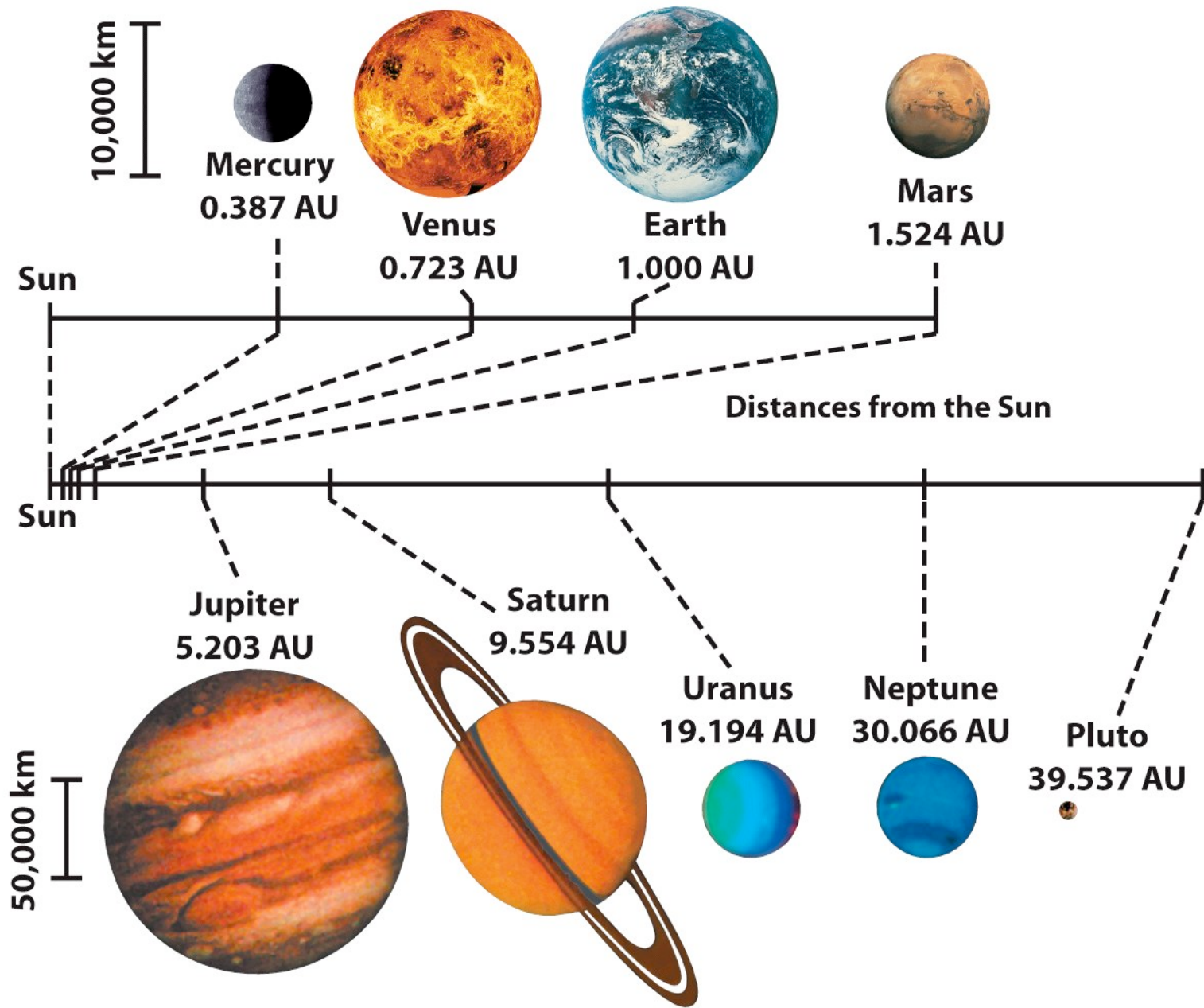


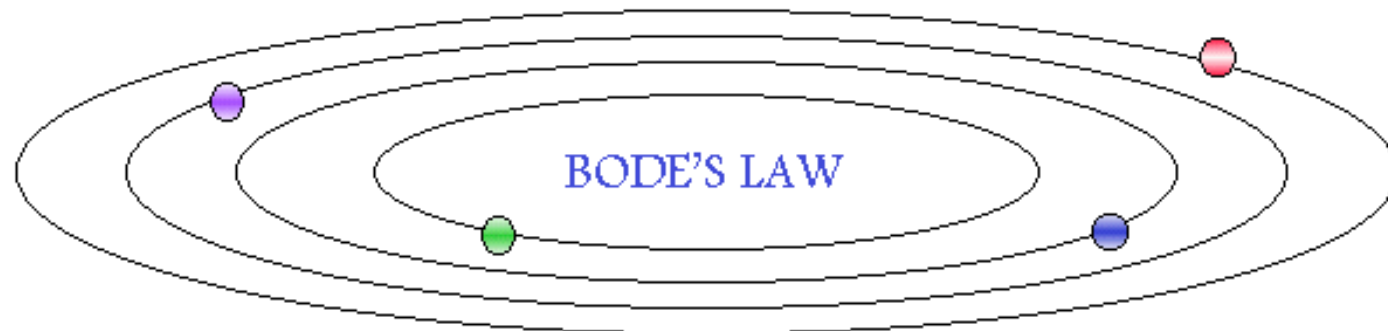
Fraction of incident light that is reflected



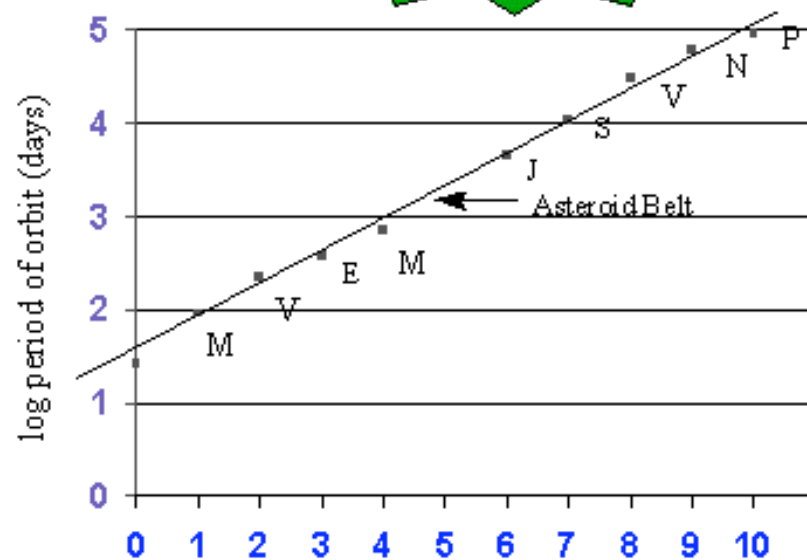
Väte och helium är rikligt förekommande i  
jätteplaneterna medans de jordliknande mestadels  
består av tyngre grundämnen







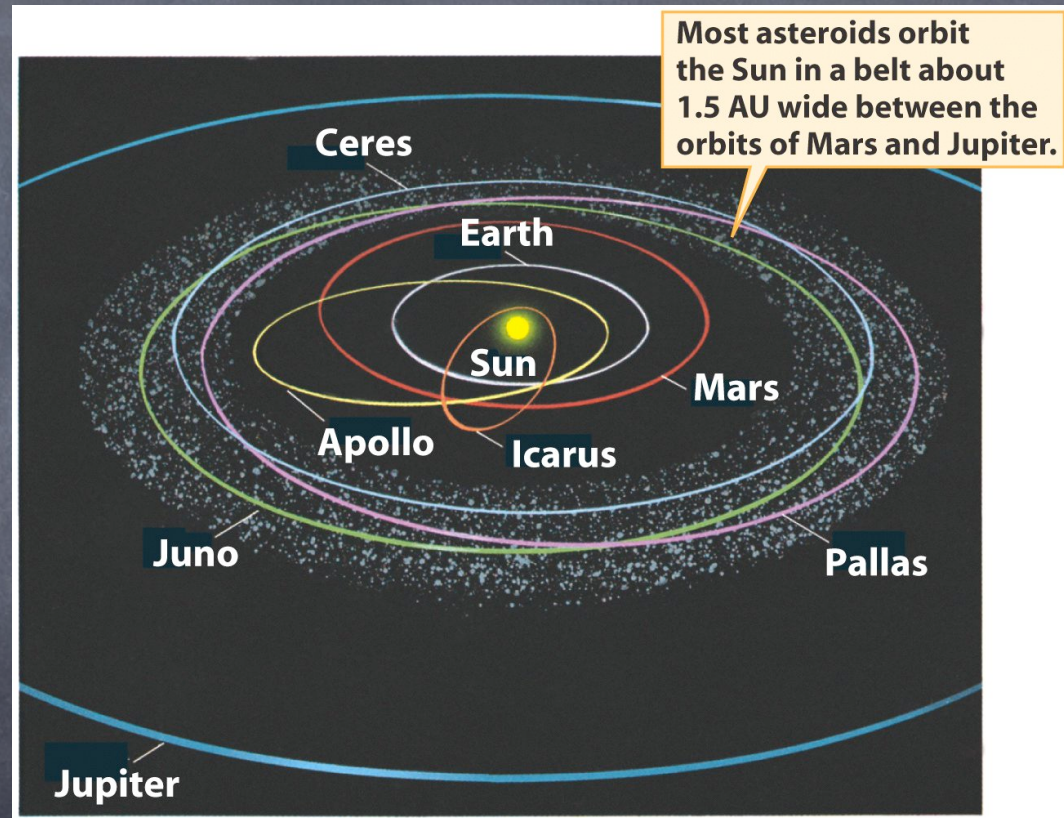
$$P_n = P_o A^n$$



$P_n$  = period of orbit of  $n^{\text{th}}$  planet  
 $P_o$  = period of sun's rotation  
 $A$  = semimajor axis of the orbit

# Titius-Bodes lag

- En lucka mellan Mars och Jupiter
- Asteoridbältet



# Ceres (1801)

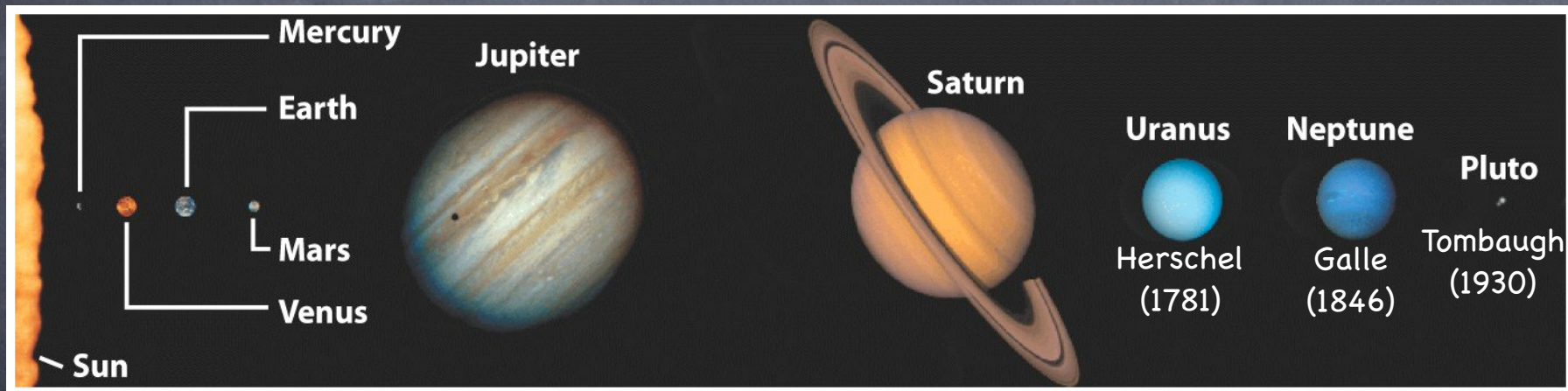
HST bilder



Asteroid Ceres

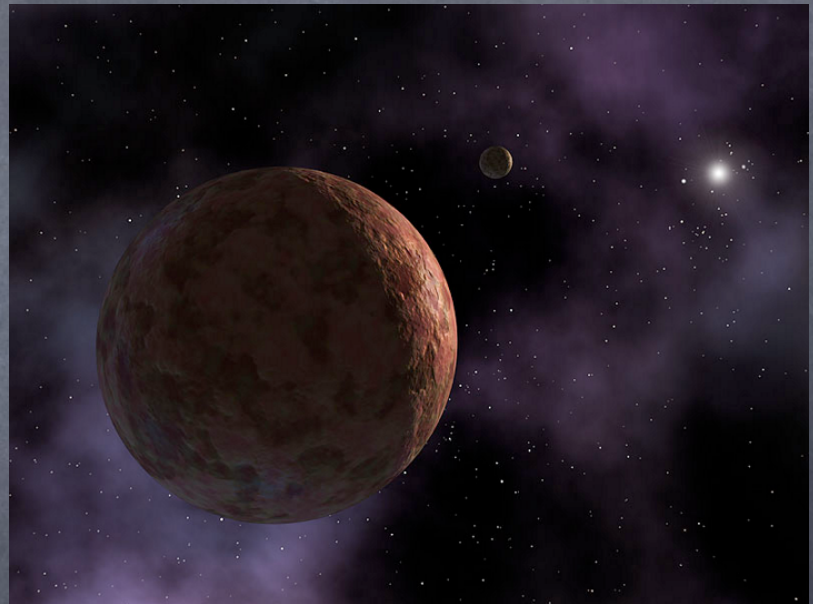
© 2005 Calvin J. Hamilton

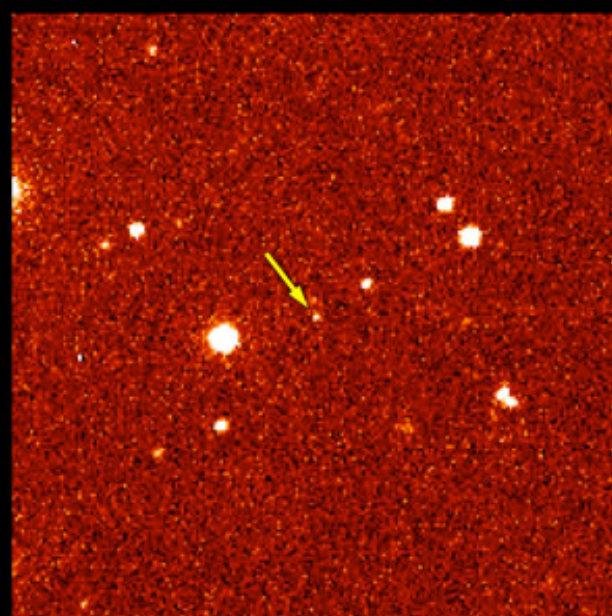
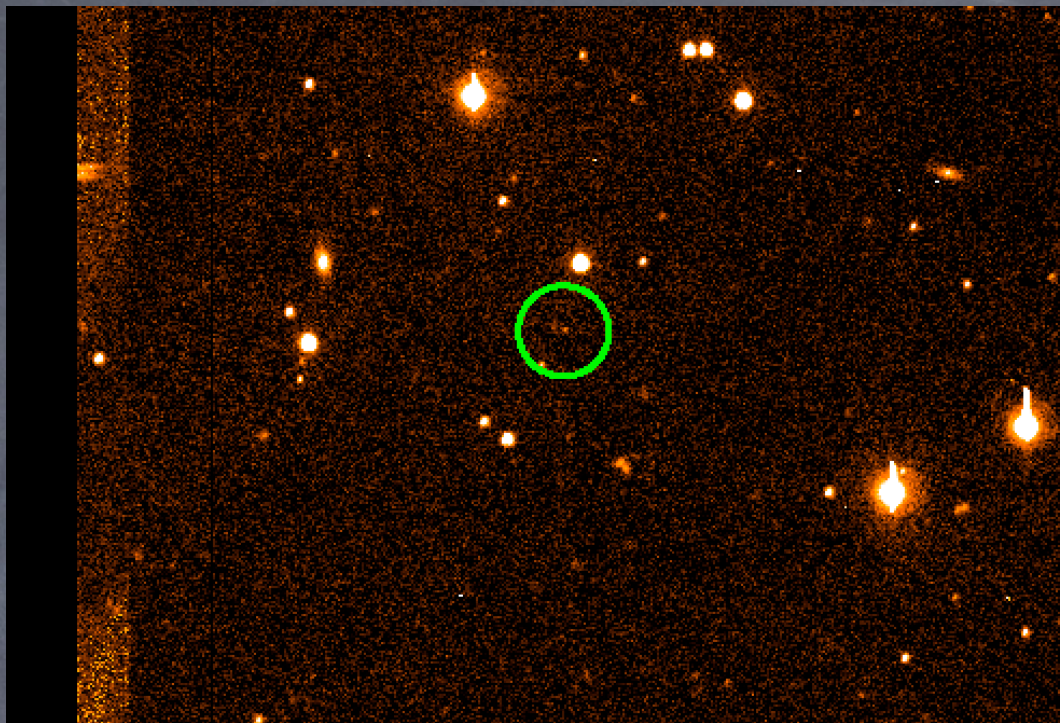
Består av vattenbärande mineraler,  
möjligtvis en tunn atmosfär



# Sedna

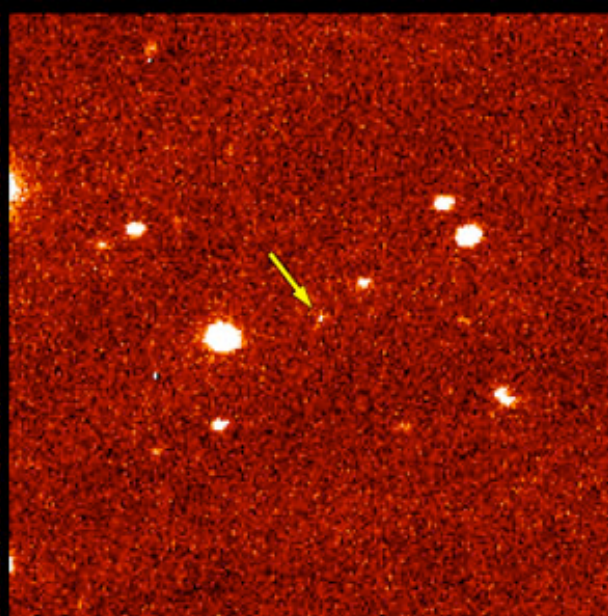
- Den kallaste mest avlägsna platsen i solsystemet
- Upptäckt i november 2003, presenterat 15 mars 2004
- Ingen måne upptäckt ännu
- $r=90 \text{ AU}$ ,  $a=480\text{AU}$ ,  $e=0.84$
- Troligtvis lik Pluto i uppbyggnad



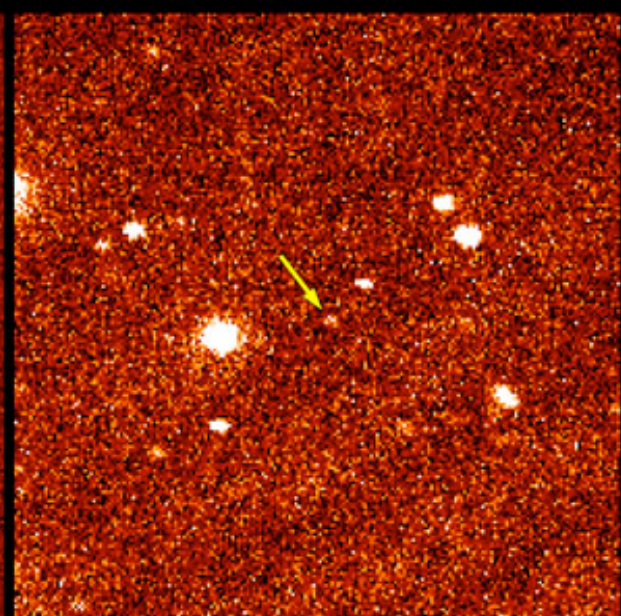


Nov. 14th, 2003

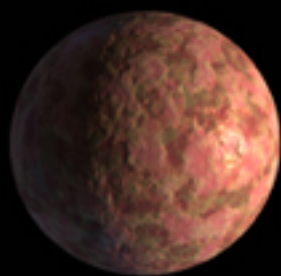
6:32 (UT)



8:03 (UT)



9:38 (UT)

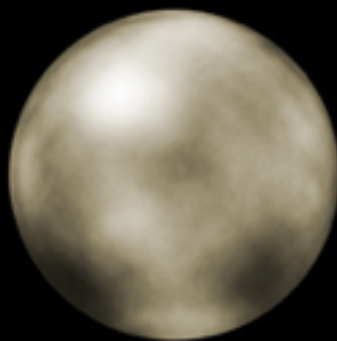


**Sedna**

800-1100 miles  
in diameter



**Quaoar**  
(800 miles)



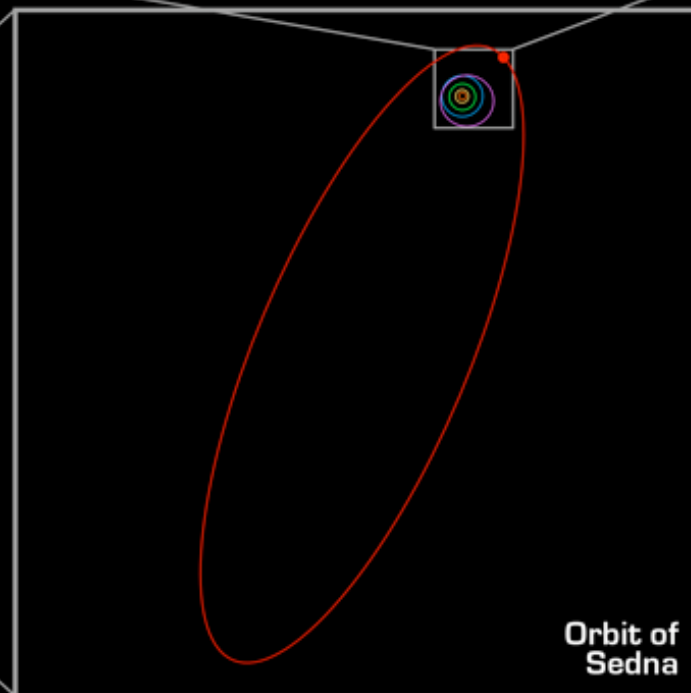
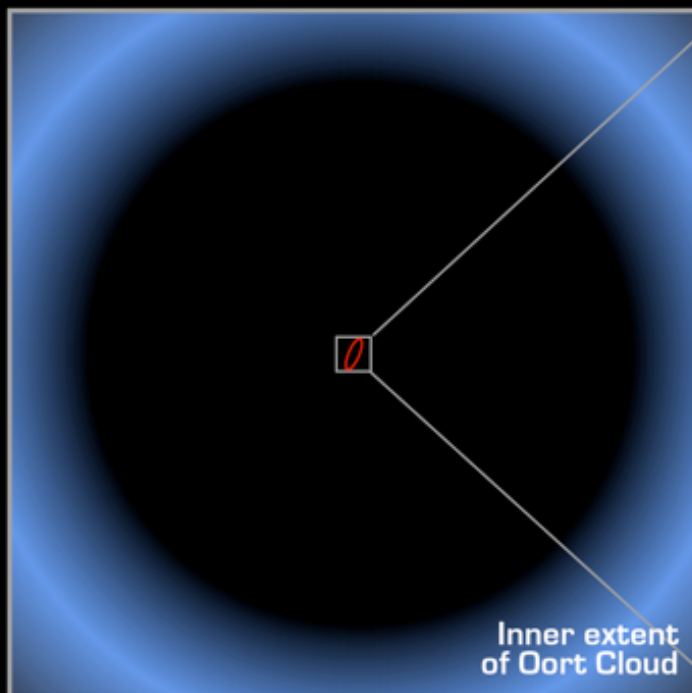
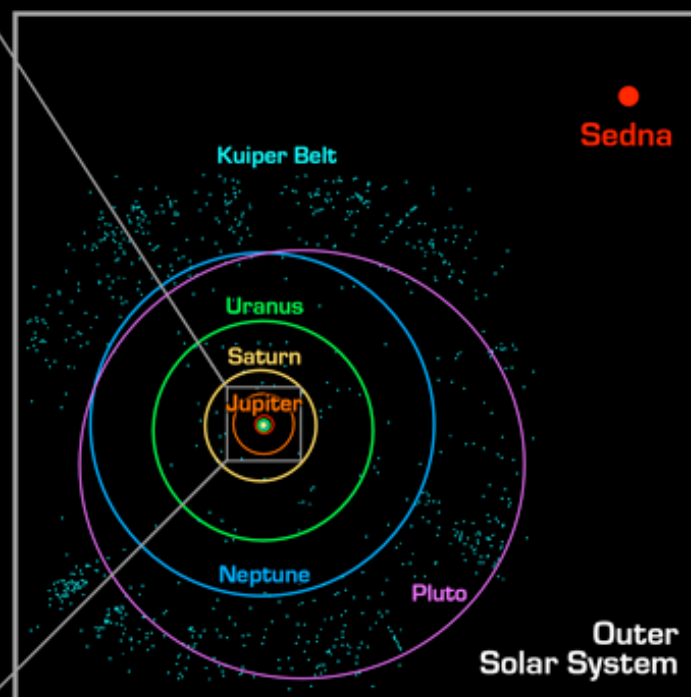
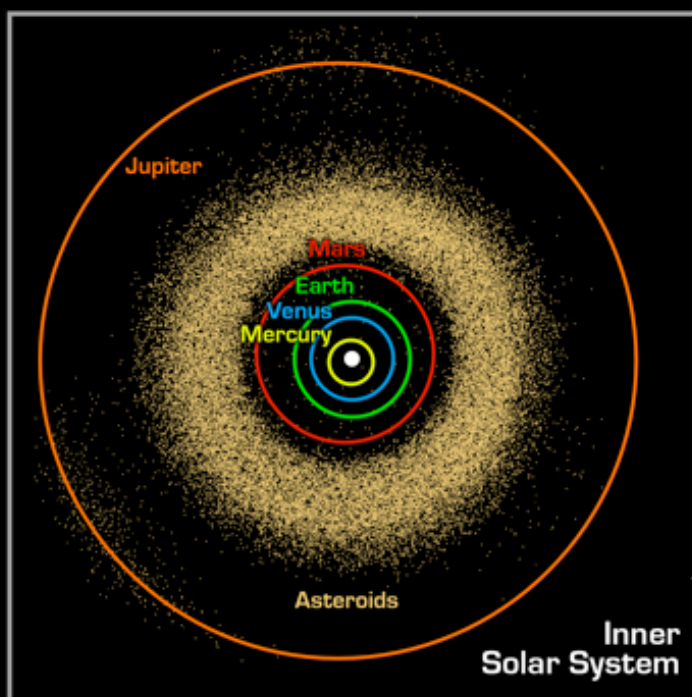
**Pluto**  
(1400 miles)



**Moon**  
(2100 miles)

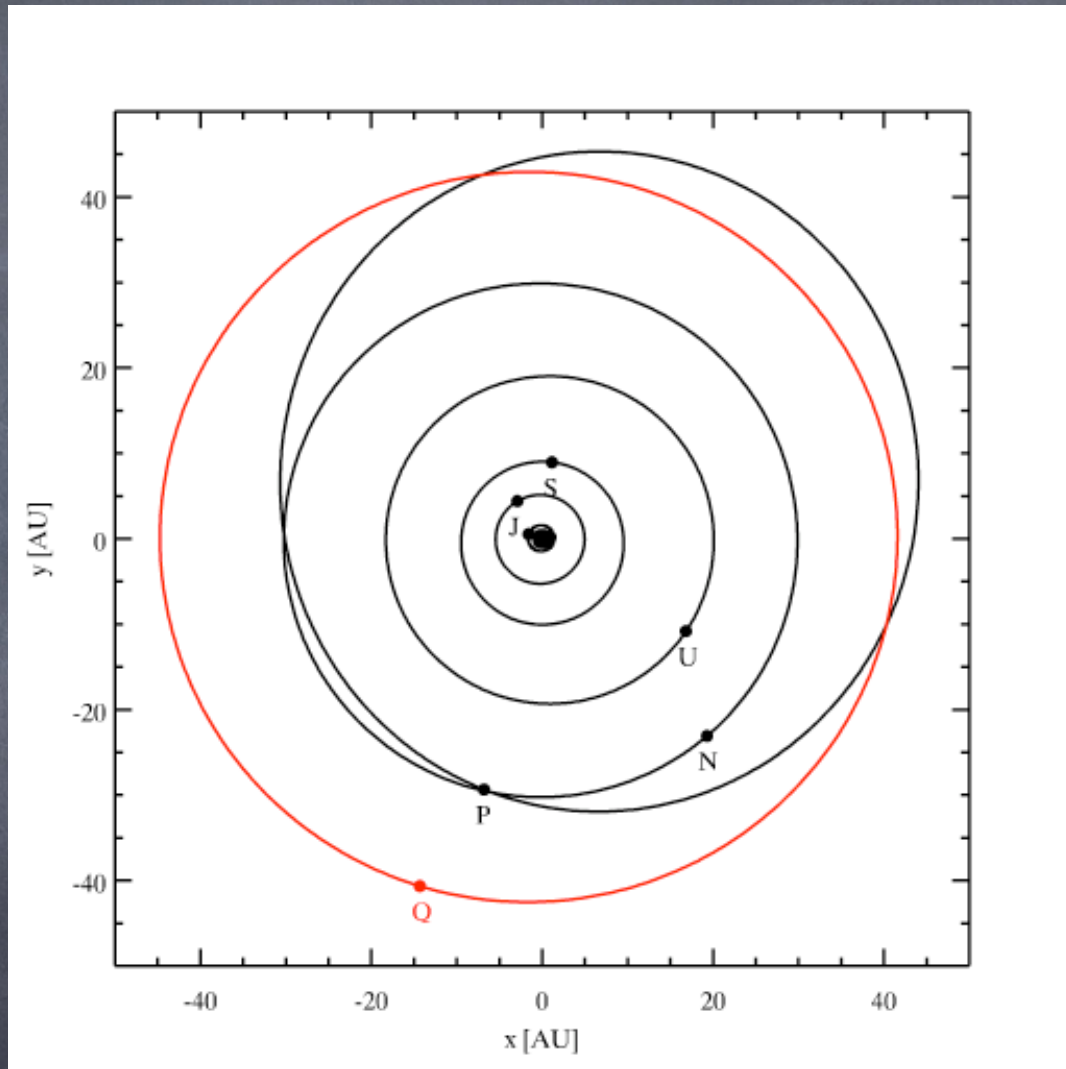


**Earth**  
(8000 miles)

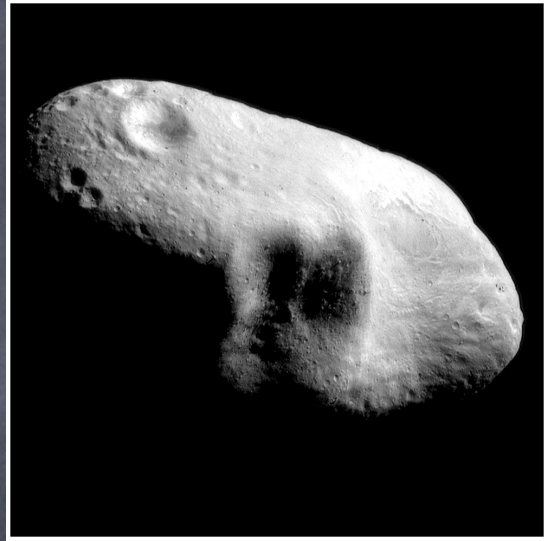


# Quaoar

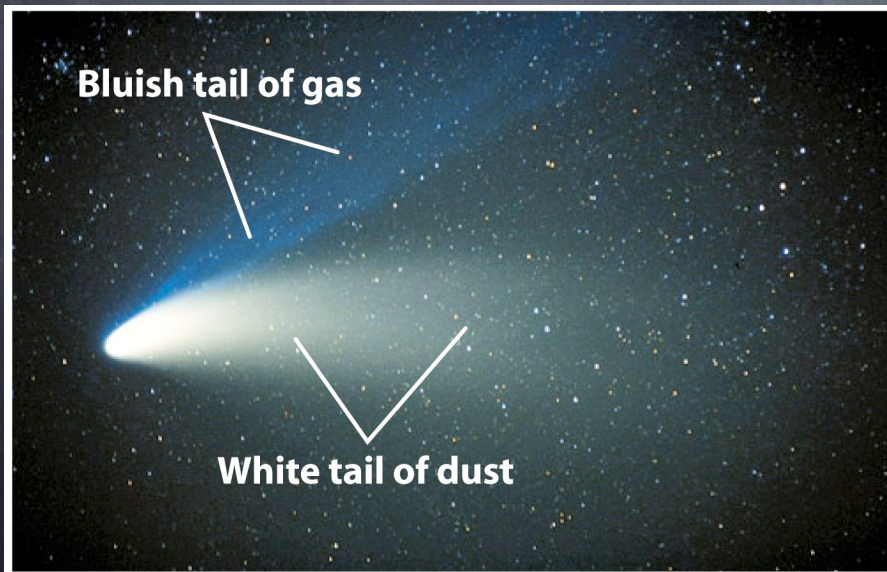
- Upptäcktes i juni 2002
- Quaoar tillhör Kuiperbältet
- $D=42 \text{ AU}$ ,  $P=285 \text{ år}$



# Mindre kroppar av sten och is kretsar också kring solen

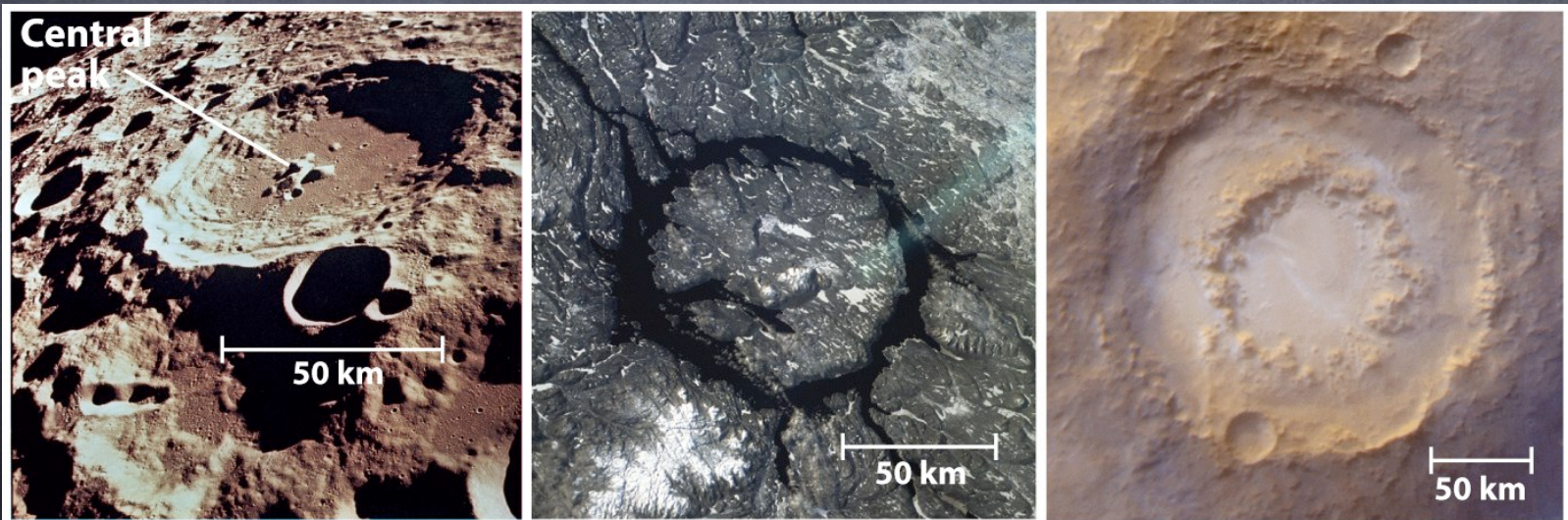


- Asteroider är små steniga objekt medan kometer och objekt från Kuiper-bältet består av "smutsig is"
- De är alla överblivet material från solsystemets bildande
- Kuiper-bältet sträcker sig långt bortom Plutos bana
- Pluto kan ses som den största medlemmen i Kuiper-bältet belt

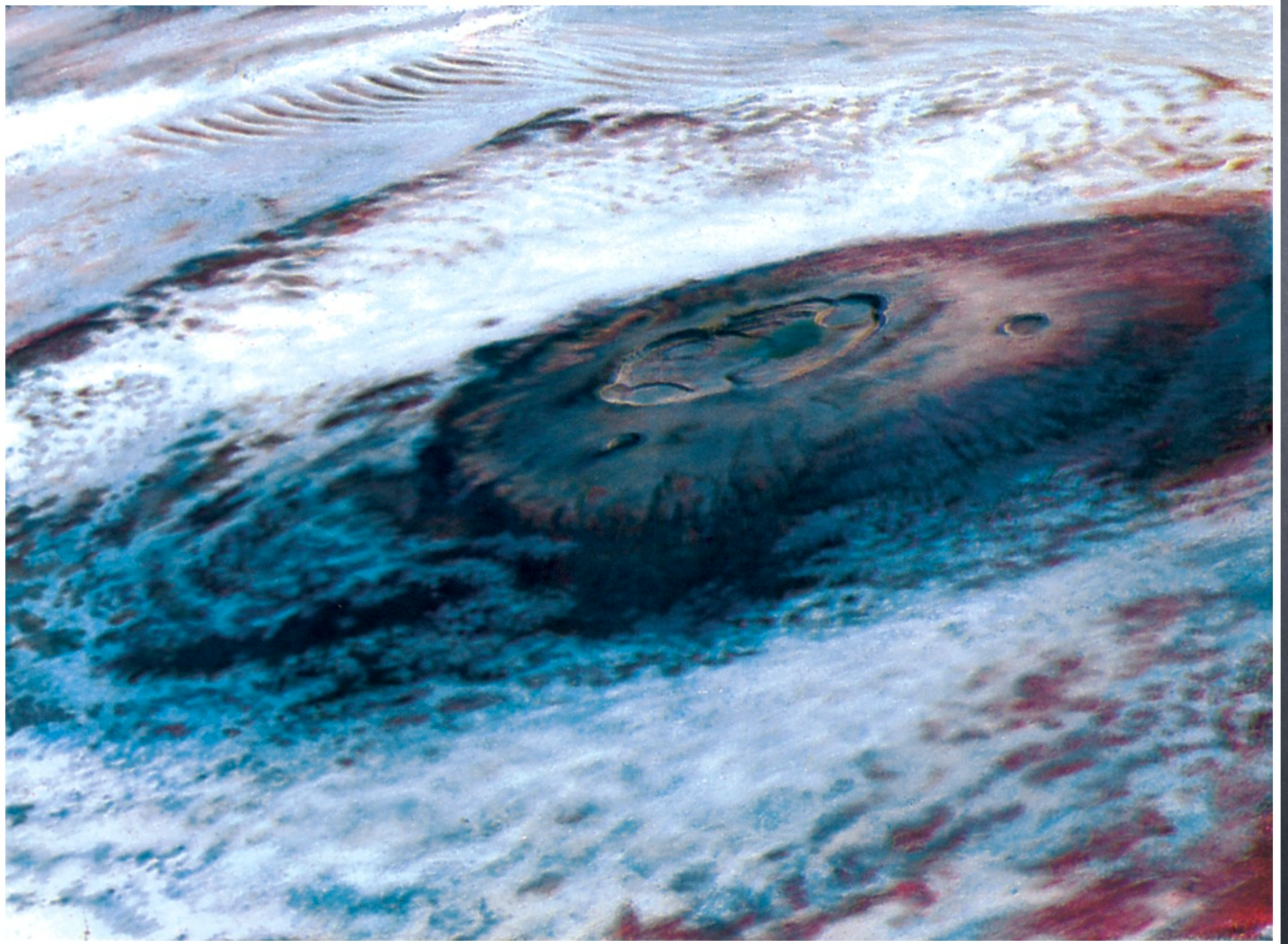


# Kratrar på planeter och månar är resultat av nedslag från interplanetärt "skräp"

- När en asteroid, komet, eller meteorid kolliderar med ytan av en jordliknande planet eller måne resulterar det i bildandet av en nedslagskrater
- Geologisk aktivitet förnyar ytan och suddar ut spåret av kraterbildning varför en jordliknande värld med många kratrar har en gammal yta och låg eller ingen geologisk aktivitet
- Eftersom geologisk aktivitet drivs av inre värme och att mindre planeter/månar förlorar värme snabbare så tenderar de också att ha fler kratrar



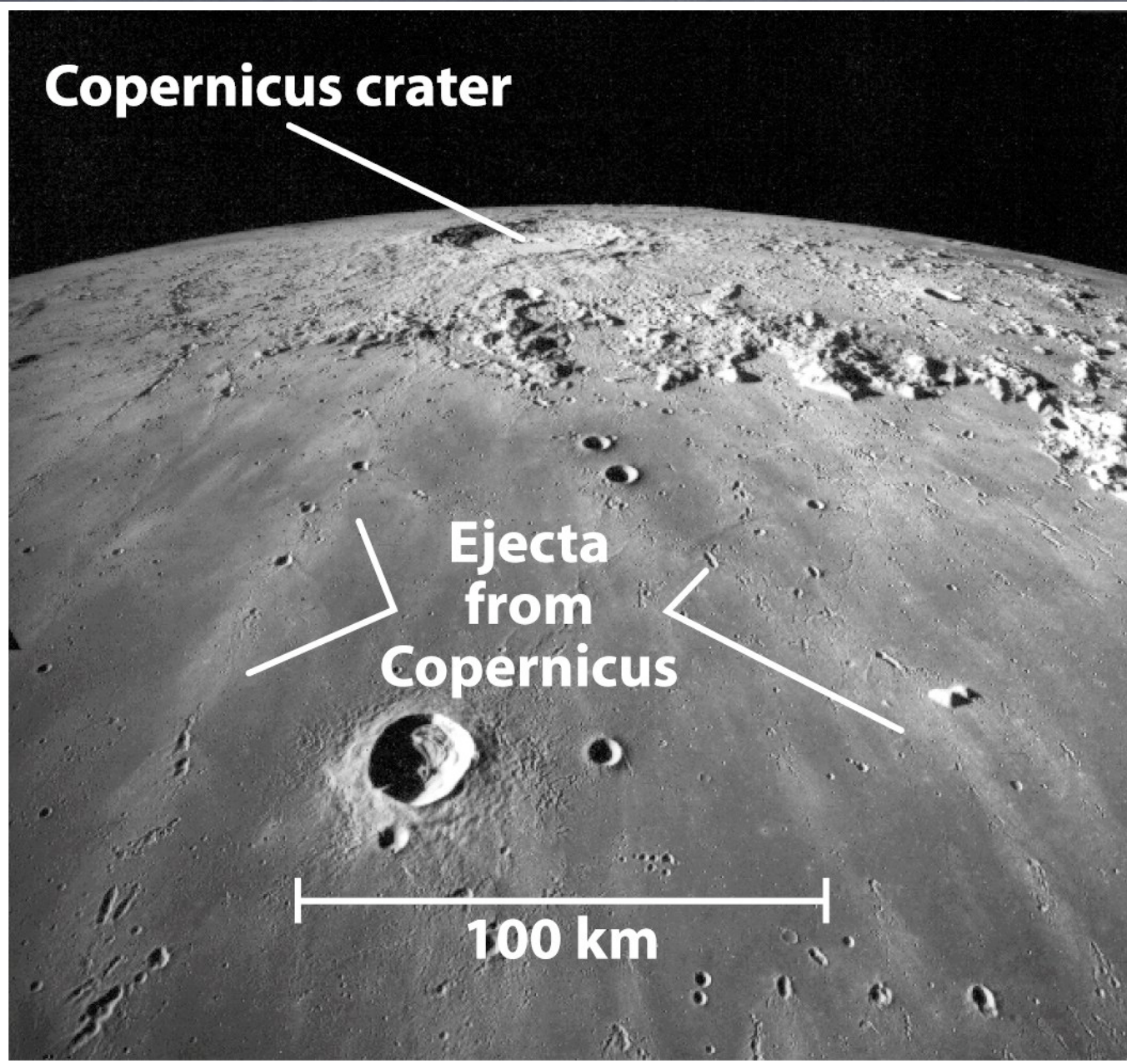
# Olympus Mons på Mars



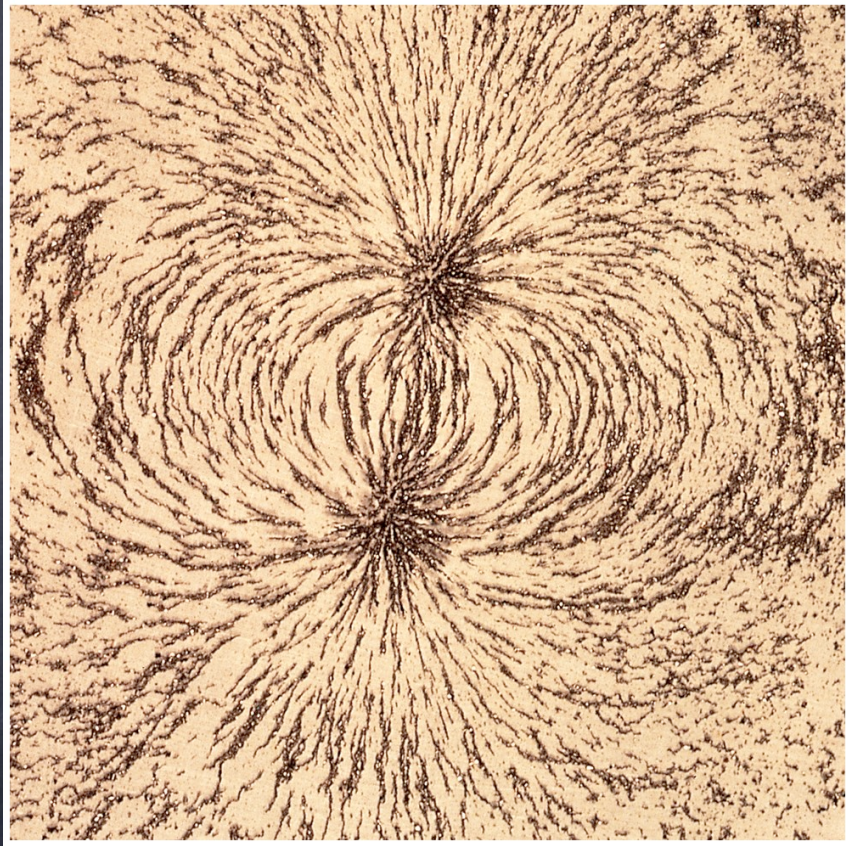
**Copernicus crater**

**Ejecta  
from  
Copernicus**

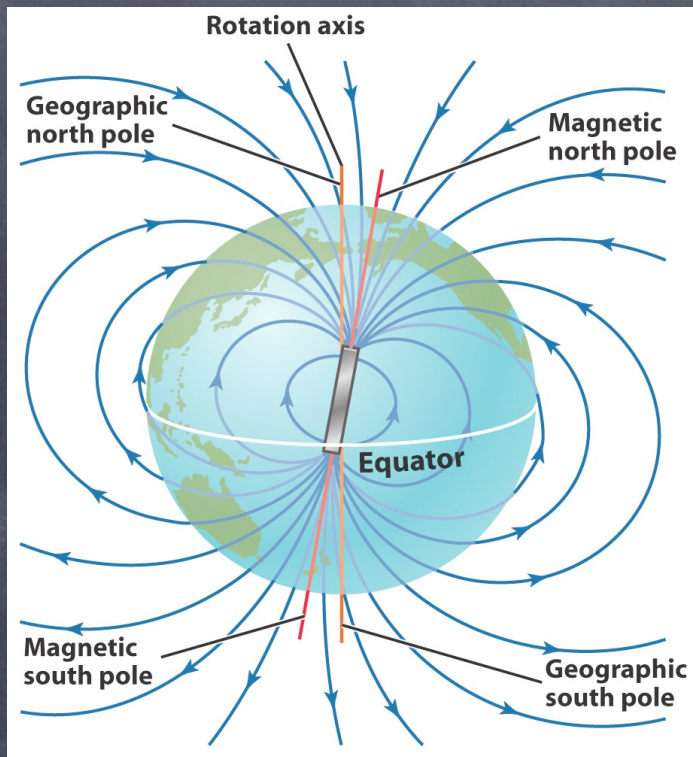
**100 km**



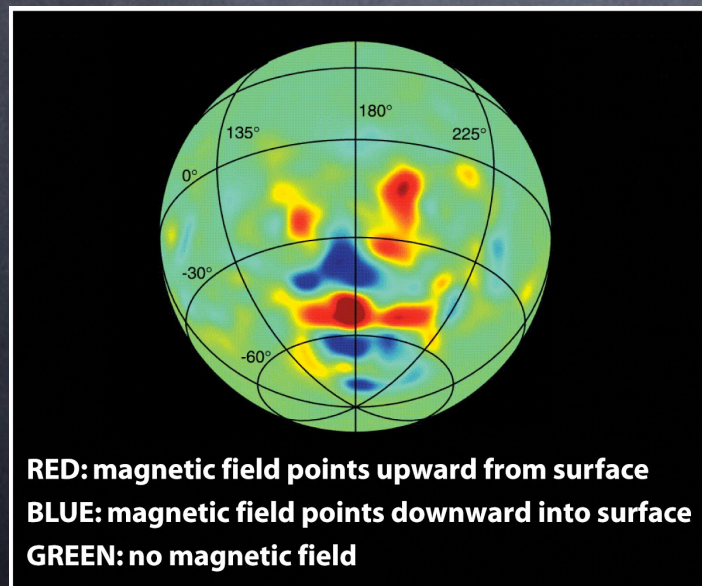
# En planet med ett magnetfält har ett inre där materien är i flytande form



- En planets magnetfält skapas av rörelsen hos elektriskt ledande material (t.ex. smält järn) i dess inre
- Kopplat med planetens egen rotation → dynamo
- Om en planet inte har ett magnetfält är det ett tecken på att de inre delarna ej är i denna form eller att den inte är i rörelse



- Magnetfältet hos de jordlikna planeternas skapas av metaller såsom järn i flytande form



- De starkare fälten i jätteplaneterna genereras av metalliskt väte eller av vatten med joniserade molekyler som är lösta där i

# Mångfalden i solsystemet är ett resultat av dess ursprung och utveckling

**table 7-3**

**Comparing Terrestrial and Jovian Planets**

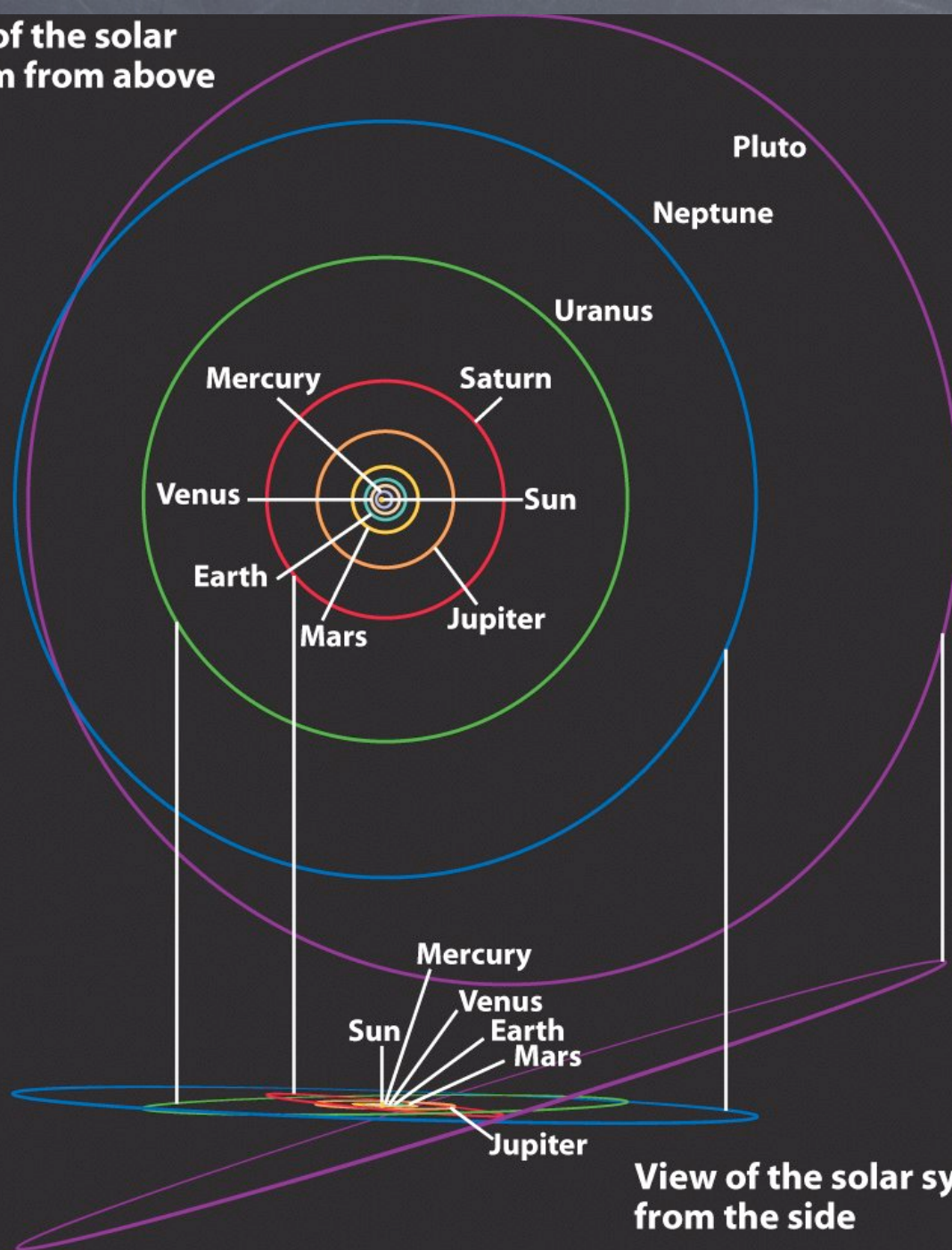
|                       | Terrestrial Planets                                                                    | Jovian Planets             |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Distance from the Sun | Less than 2 AU                                                                         | More than 5 AU             |
| Size                  | Small                                                                                  | Large                      |
| Composition           | Mostly rocky materials containing iron, oxygen, silicon, magnesium, nickel, and sulfur | Mostly hydrogen and helium |
| Density               | High                                                                                   | Low                        |

- Planeterna, deras månar, kometer, asteroider och solen själv skapades från samma moln av interstellär gas och stoft
- Beståndsdelarna i detta moln formades av kosmiska processer inkluderat kärnreaktioner i stjärnors inre från stjärnor från tidigare generationer
- Olika planeter skapades i olika omgivningar beroende på deras avstånd till solen och dessa skillnader gav upphov till dagens solsystem

# En modell av solsystemets ursprung måste förklara det vi ser idag

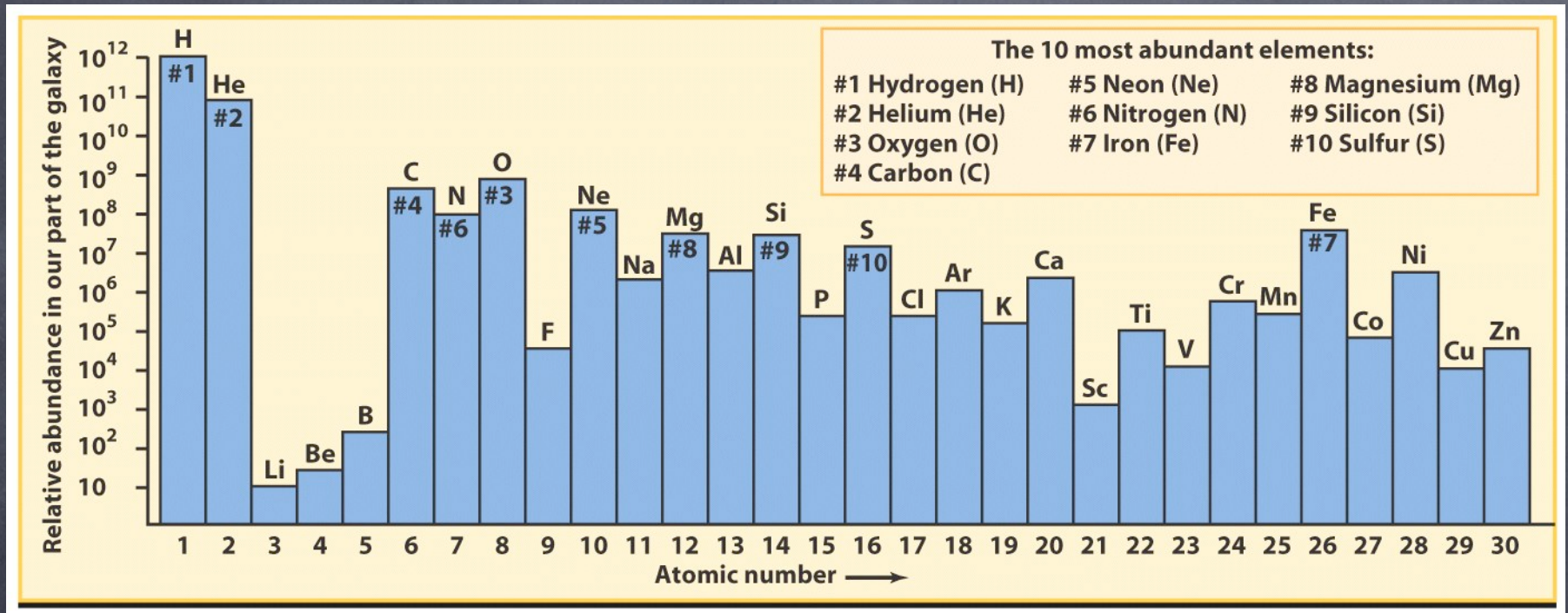
1. De små jordlika planeterna som till största del består av sten och jätteplaneterna som mestadels består av väte och helium
2. Alla planeter kretsar kring solen i samma riktning och i nästan samma plan
3. De jordlika planeterna ligger nära solen medans jätteplaneterna ligger längre bort

**View of the solar system from above**



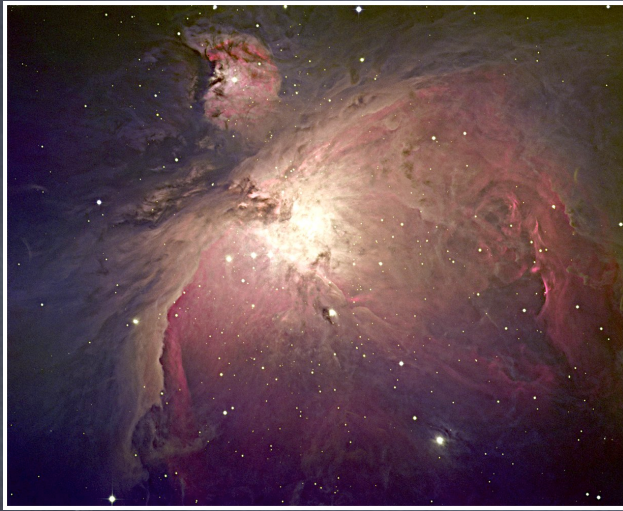
**View of the solar system from the side**

Förekomsthalten av kemiska grundämnen är ett resultat av kosmiska processer

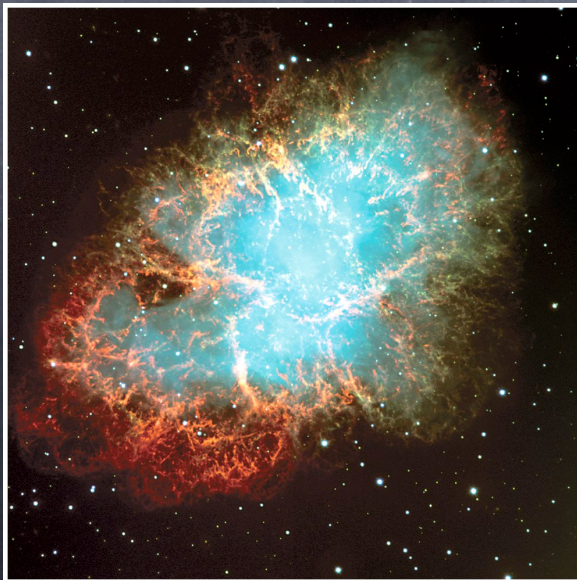


- Det absolut största antalet atomer i universum är väte och helium som skapades vid Big Band

Alla tyngre grundämnen har skapats senare av stjärnor, antingen genom fusionsreaktioner djupt i deras inre eller i de våldsamma explosioner (supernovor) som markerar slutstadiet för tunga stjärnor

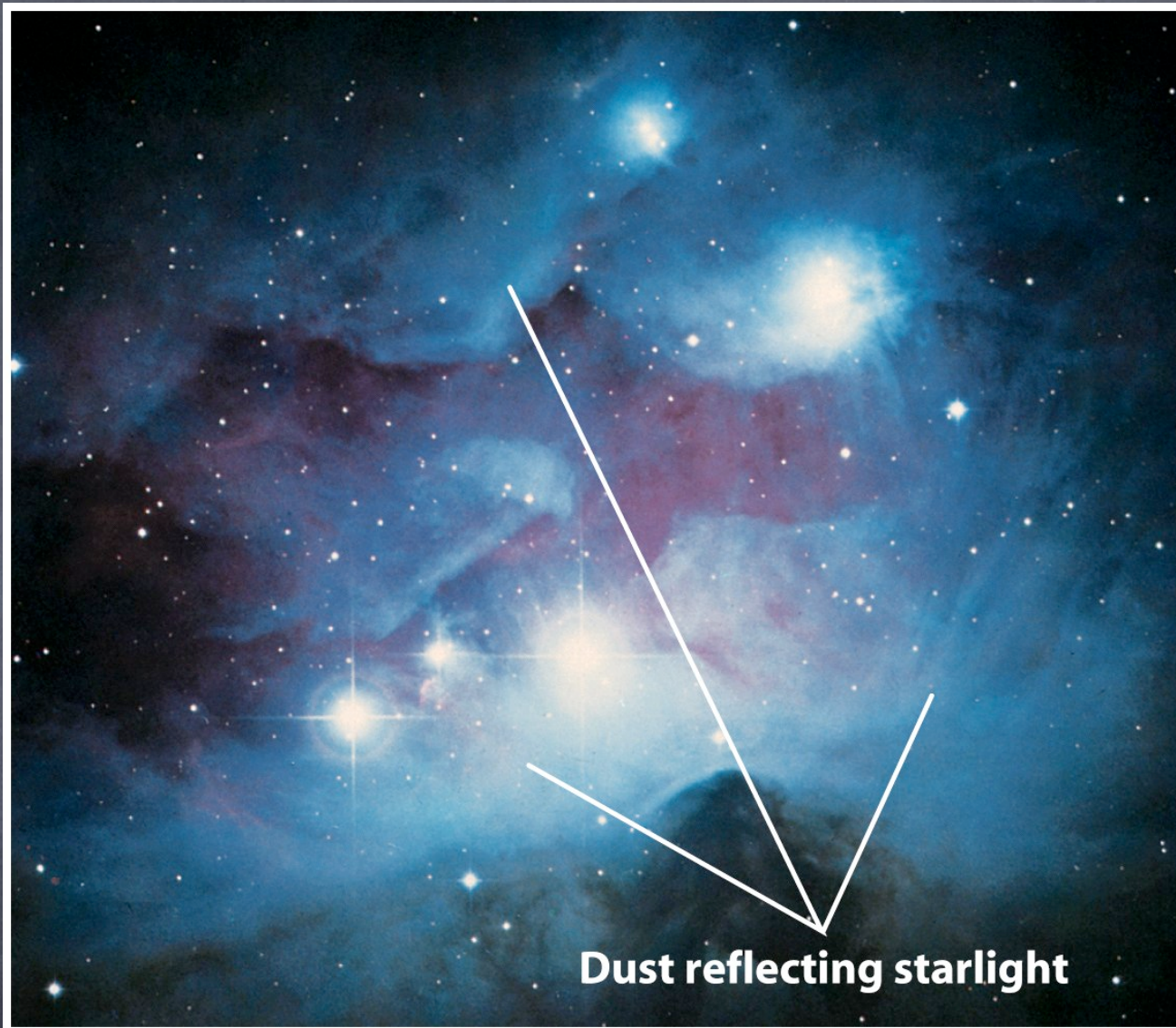


→  
Kosmiska  
Gascykeln



# Nebulositet



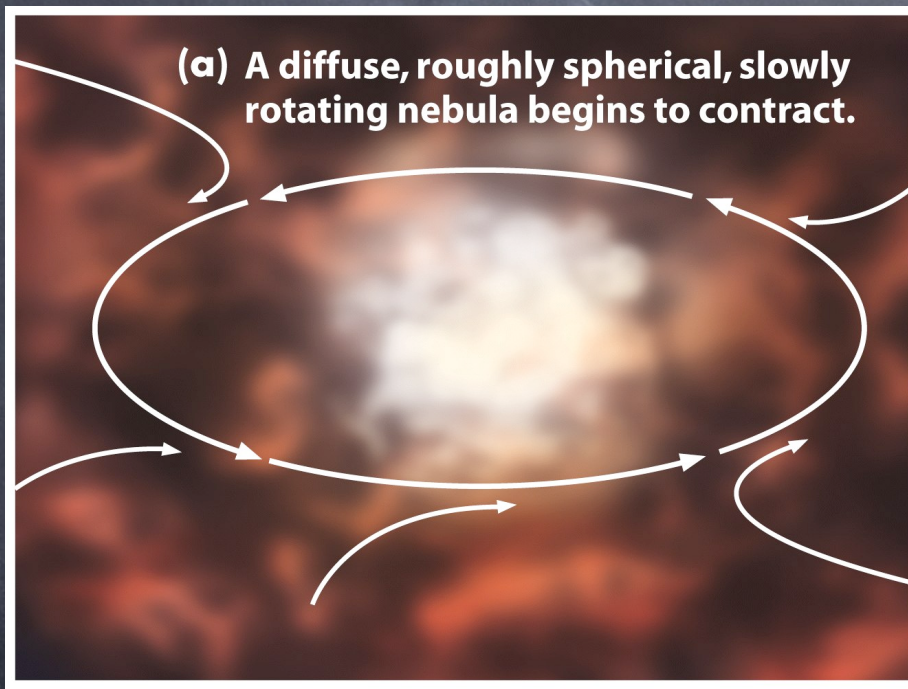


- Det interstellära mediet mellan stjärnorna består av gas och stoft

# Förekomsthalten av tyngre grundämnen avslöjar solsystemets ålder

- Halveringstiden hos radioaktiva ämnen är välkänd från experiment (ex. rubidium  $\rightarrow$  strontium,  $n \rightarrow p + e^-$ )
- Kan användas för att åldersbestämma sten
- Meteoriterna är de äldsta stenar man hittat i solsystemet (meteoroid  $\rightarrow$  meteor  $\rightarrow$  meteorit)
- Meteoriter har alla en ålder på ca 4.56 miljarder år

# Solen och planeterna skapades ur solnebulosan

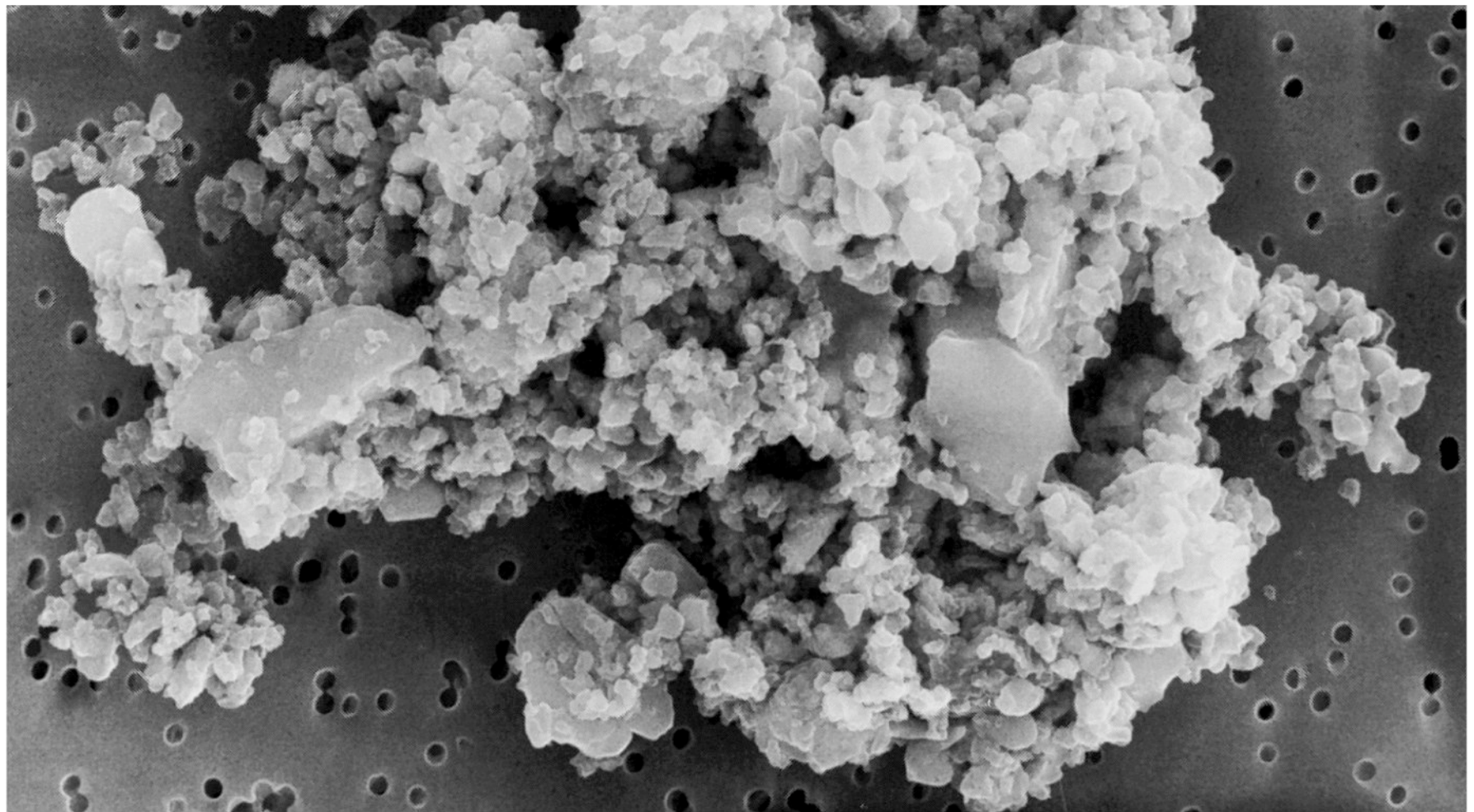


- Den bästa modell vi har att beskriva solsystemets uppkomst kallas nebulosa hypotesen (Kant & Laplace på 1700-talet)
- Enligt denna hypotes skapades solsystemet ur ett moln av interstellärt material (solnebulosan)
- Detta inträffade för 4.56 miljarder år sedan

**(a) A diffuse, roughly spherical, slowly rotating nebula begins to contract.**

**(b) As a result of contraction and rotation, a flat, rapidly rotating disk forms. The matter concentrated at the center becomes the protosun.**

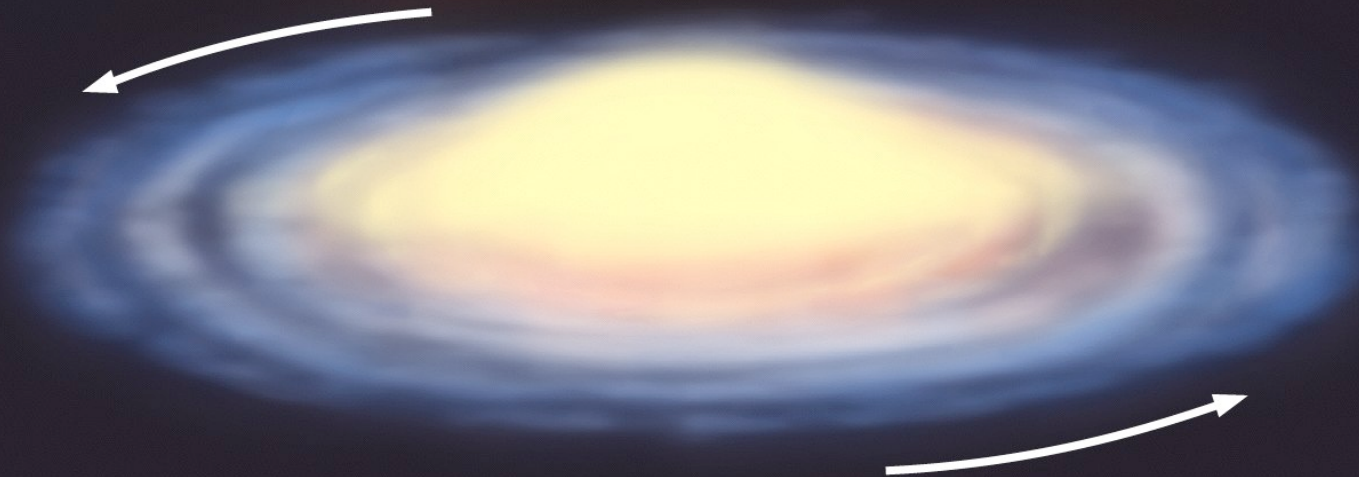
- Den kemiska sammansättningen av solnebulosan var, per massa, 98% väte och helium (grundämnen som skapades kort efter Big Bang) och 2% tyngre grundämnen (producerade mycket senare av stjärnor och utkastade i rymden då dessa dog)
- Nebulosan sträcktes ut till en skiva med allt material kretsande kring centrum i samma riktning precis som dagens planeter gör



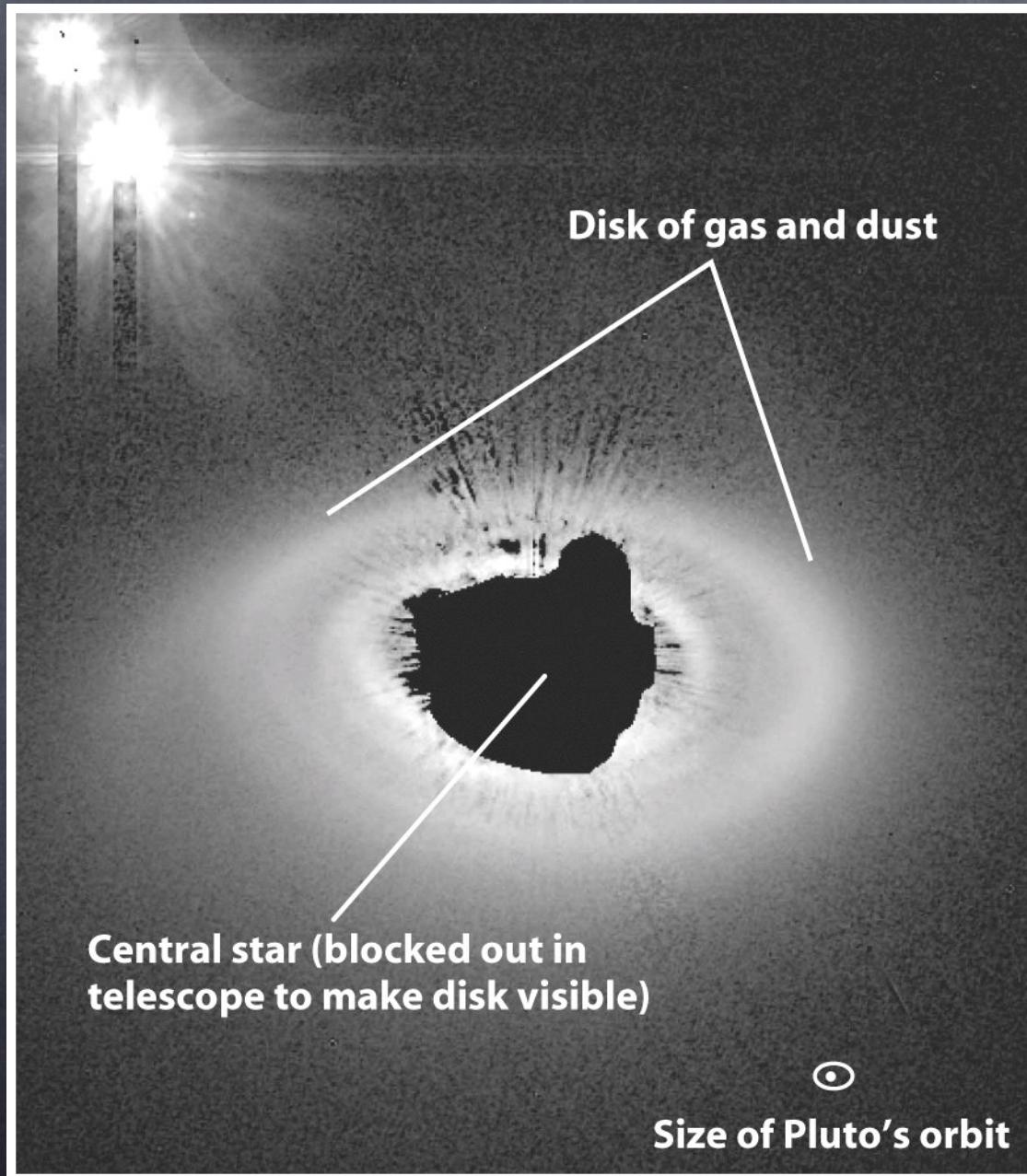
10  $\mu\text{m}$  = 0.01 mm

- De tyngre grundämnena var i huvudsak i form av is och stoft

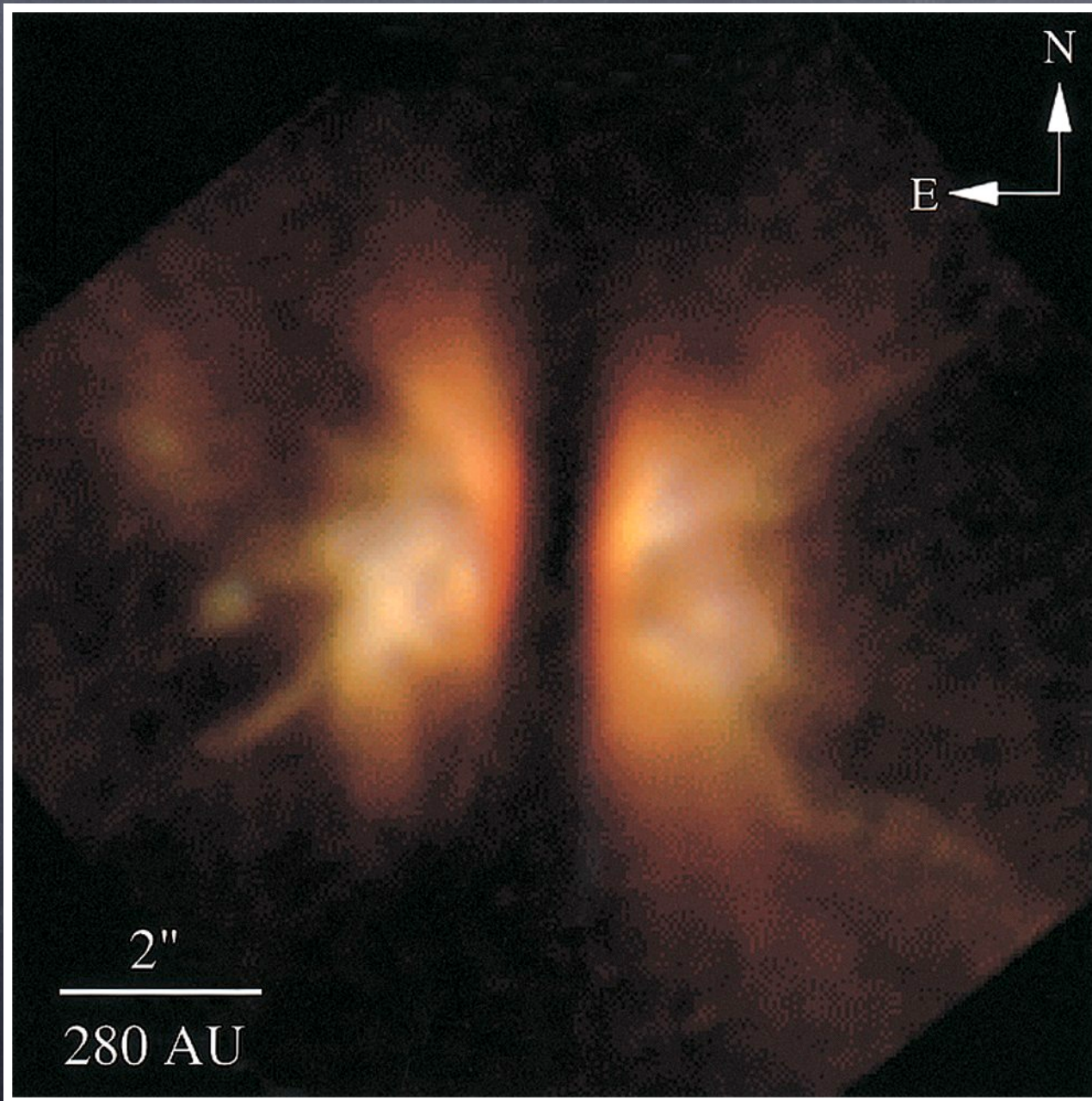
**(b) As a result of contraction and rotation, a flat, rapidly rotating disk forms. The matter concentrated at the center becomes the protosun.**



- Solen bildades genom gravitationell sammandragning av nebulosans centrum (Kelvin-Helmholtz kontraktion  $\rightarrow$   $T$  ökar centralt)
- Efter ca  $10^8$  år blev temperaturen i protosolens centrum tillräckligt hög för att initiera kärnreaktioner, som konverterar väte till helium, och en verklig stjärna bildades

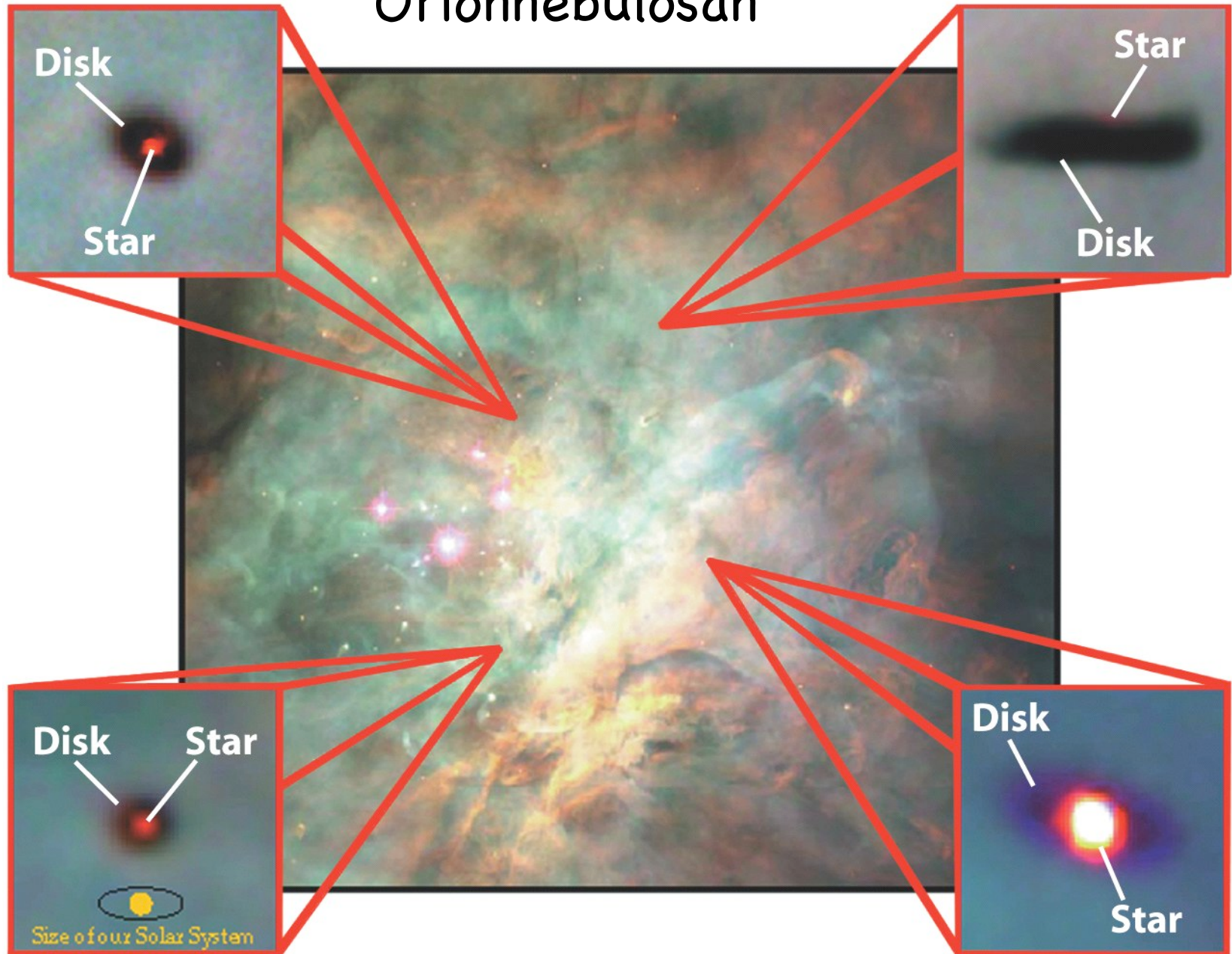


Den unga  
solliknande stjärnan  
HD141569A



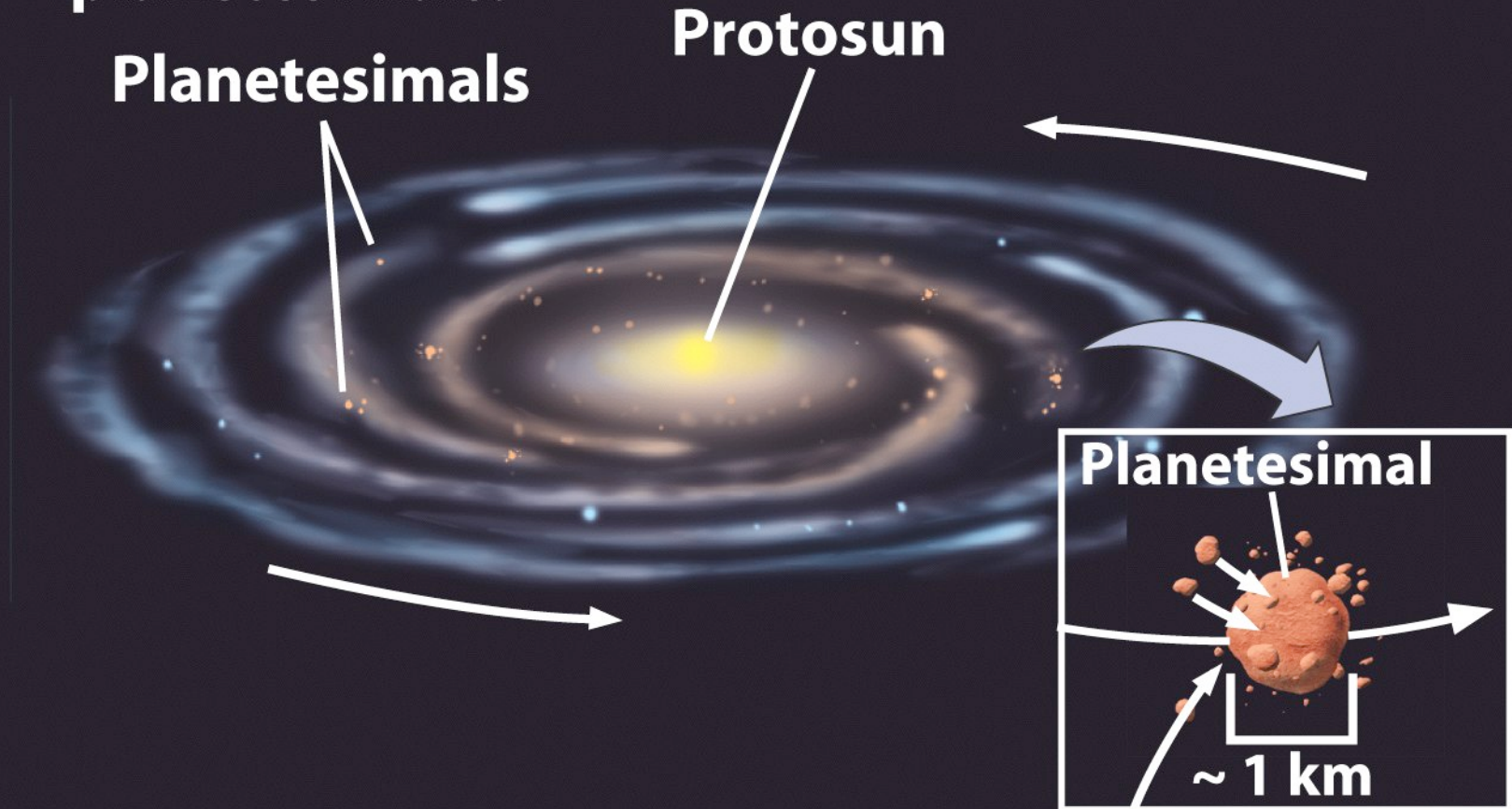
Protoplanetarisk  
skiva kring den  
unga stjärnan  
IRAS 04302  
+2247

# Orionnebulosan

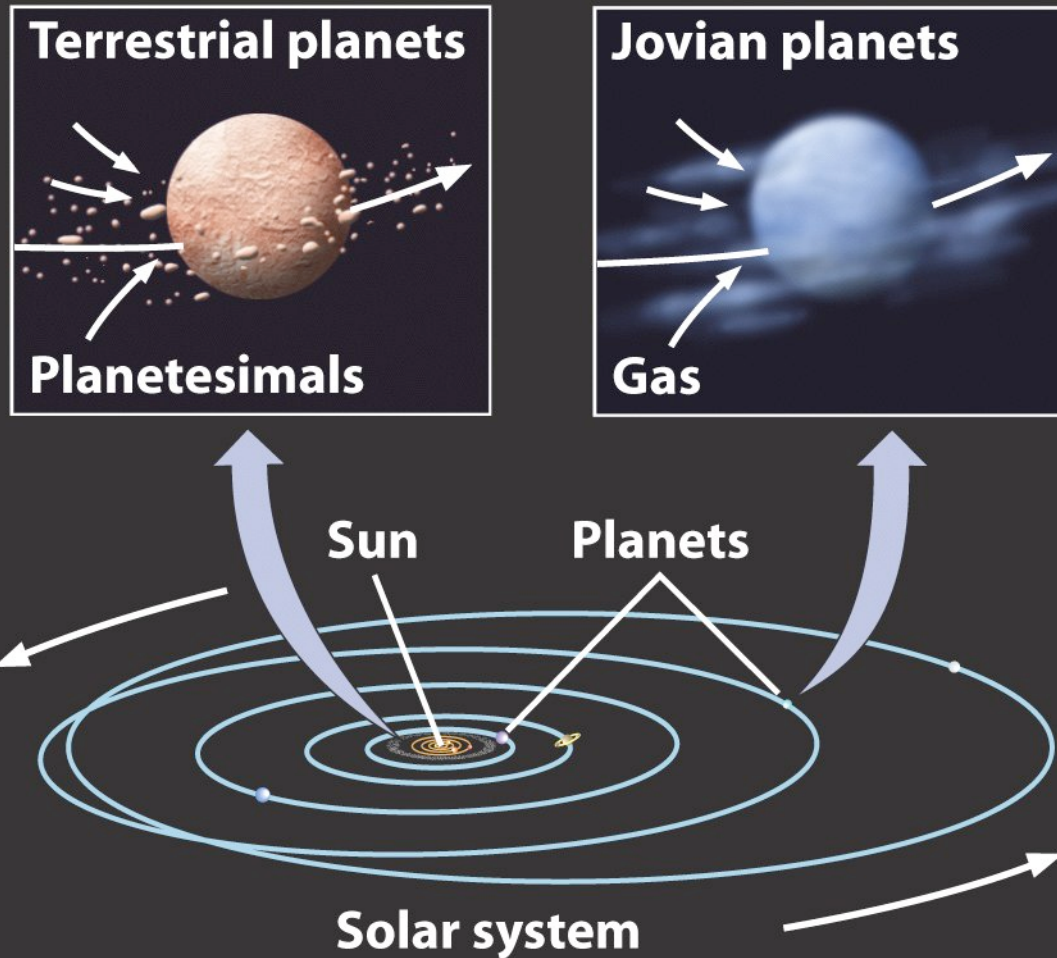


Planeterna skapades genom ansamling av mindre beståndsdelar (planetesimals) och gas i solnebulosan

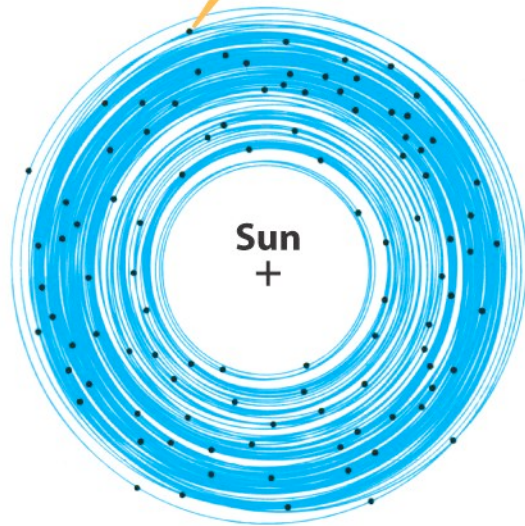
**(a) Within the disk that surrounds the protosun, solid grains collide and clump together into planetesimals.**



**(b) The terrestrial planets built up by collisions and by the accretion of planetesimals by gravitational attraction. The Jovian planets formed by gas accretion.**

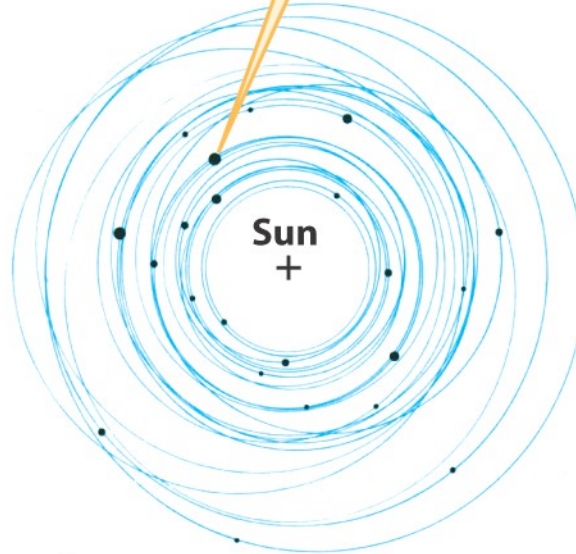


The computer simulation begins with 100 planetesimals orbiting the Sun.



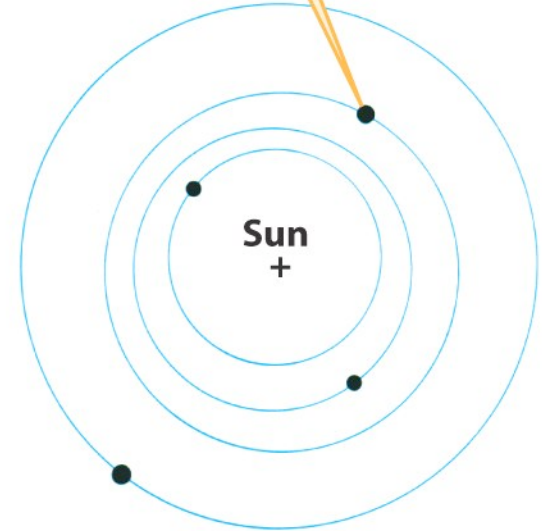
(a)

After 30 million years, the 100 have coalesced into 22 planetesimals...



(b)

...and after a total elapsed time of 441 million years, four planets remain.



(c)

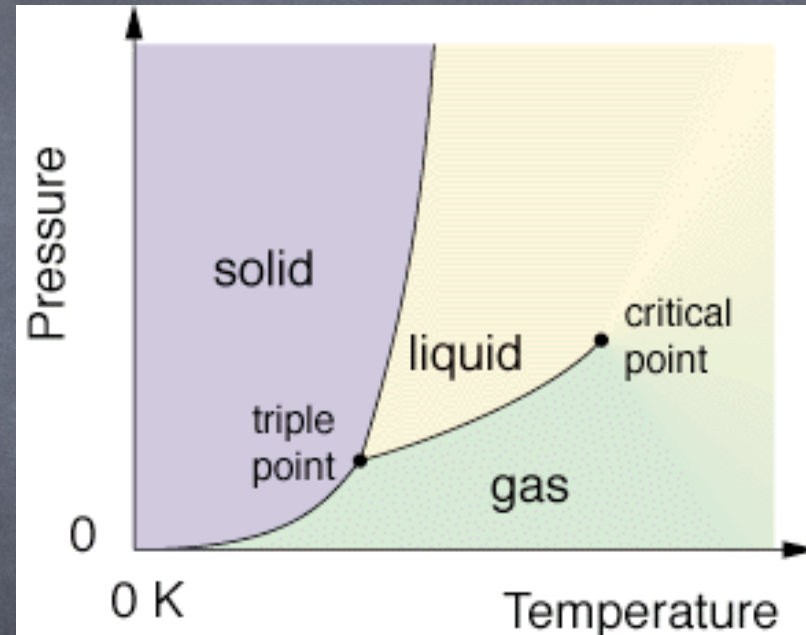
# Kondruler

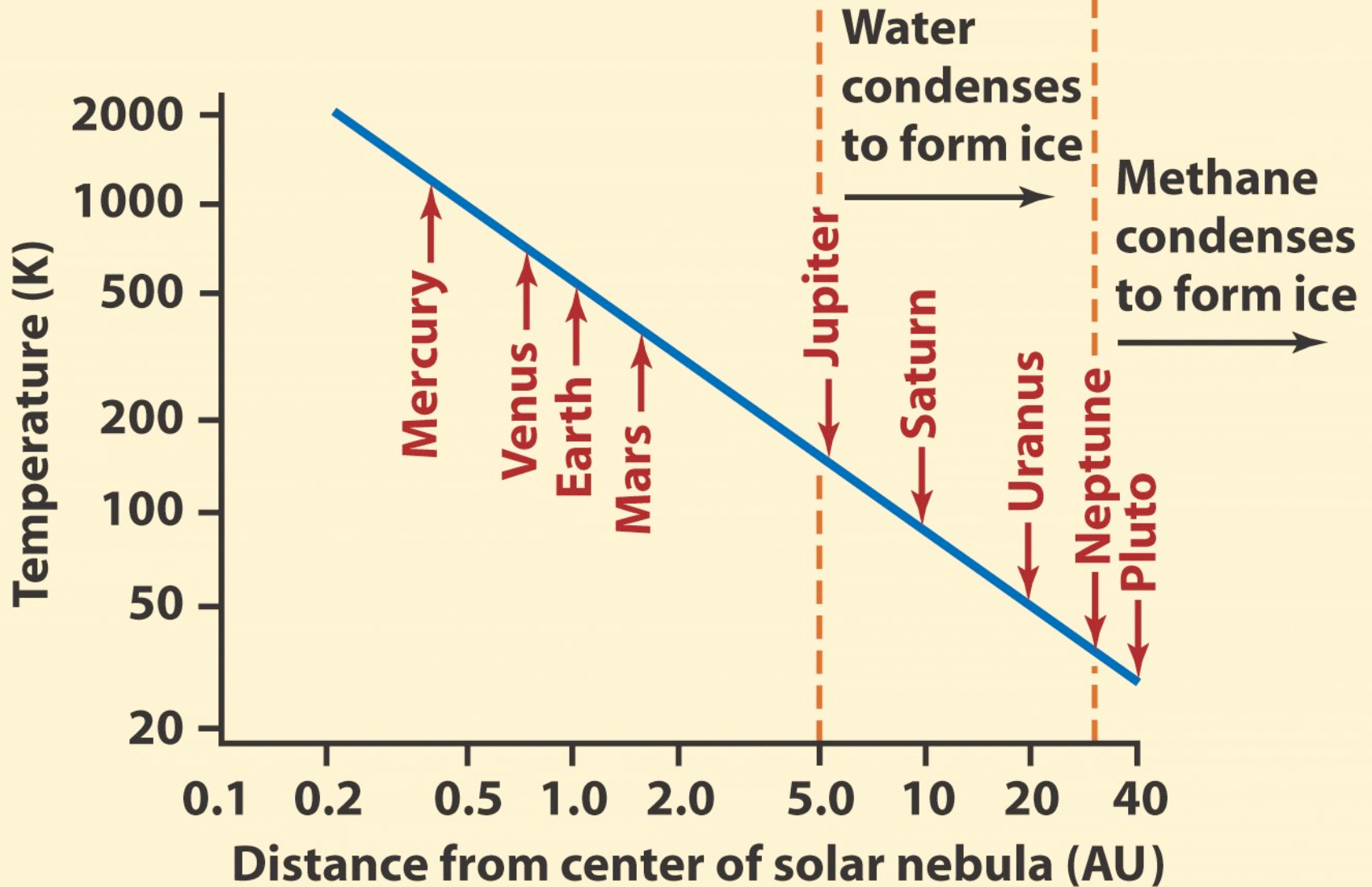


— 1 cm —

# Fas-diagram

- Tre faser: fast – flytande– gas
- Vid lågt tryck (som råder i protoplanetariska diskar) bara fast- eller gas-form.
- Kondensationstemperatur (väte och helium nära 0 K, vatten och ammoniak vid 100–300K, för metaller 1300–1600 K)
- Strålningstryck från protostjärnan påverkar mindre partiklar mer

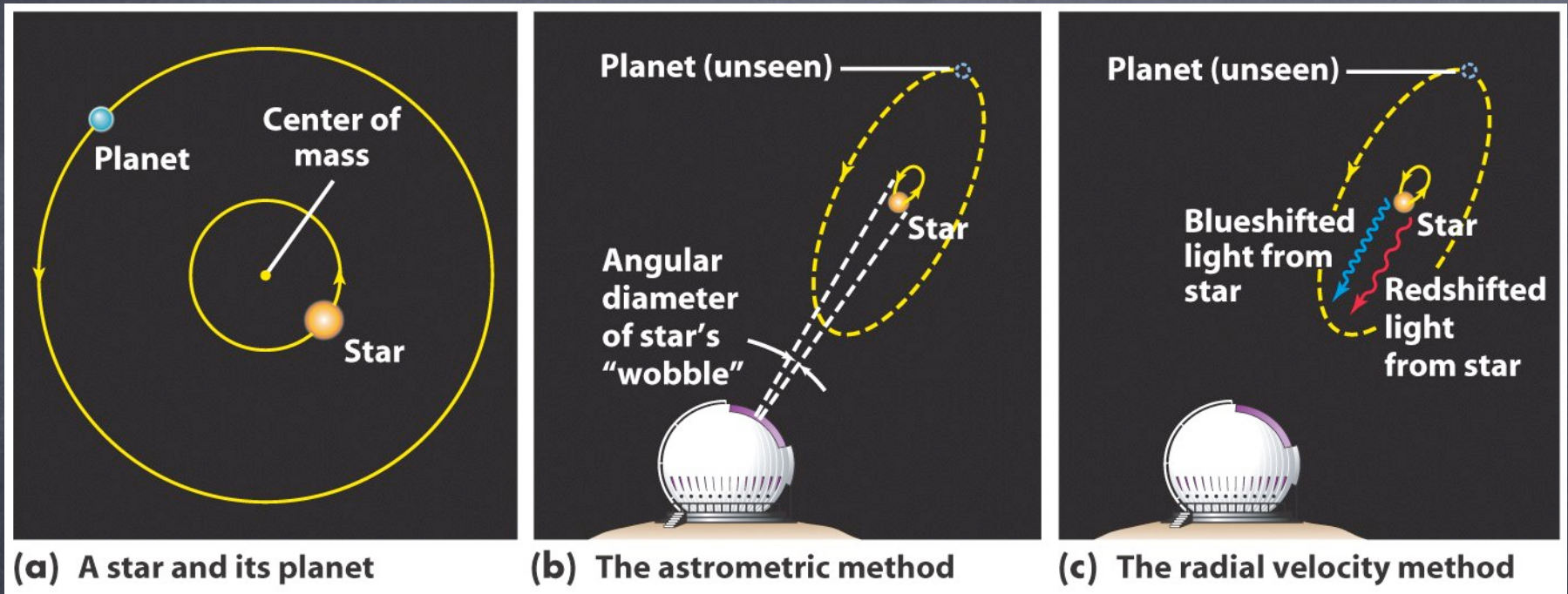




# Två ursprung för jätteplaneterna

- En kärna av gas och sten skapas på samma sätt som de jordliknande planeterna. Dock finns det rikligt med gas för detta "frö" att samla upp från omgivningen. Kräver migration av Uranus och Neptunus.
- "disk instability model" gravitationell kollaps av gas i skivan kring solen bildar jätteplaneterna. Ingen migration nödvändig.

# Sökandet efter extrasolära planeter

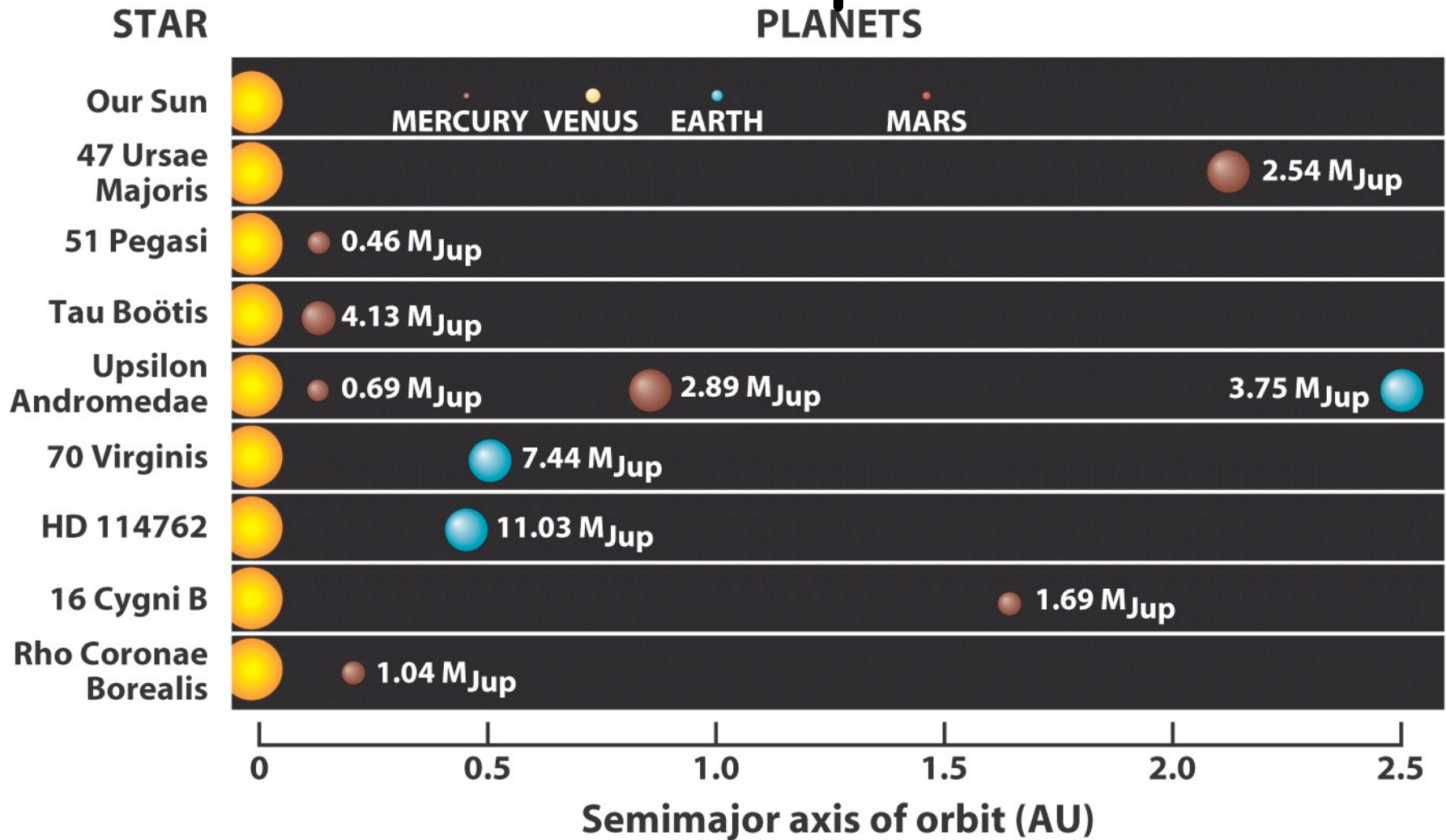


- Själva planeterna är ej direkt synbara; deras närvaro är härleds från rörelse hos stjärnan som de kretsar kring

# 28 November 2005

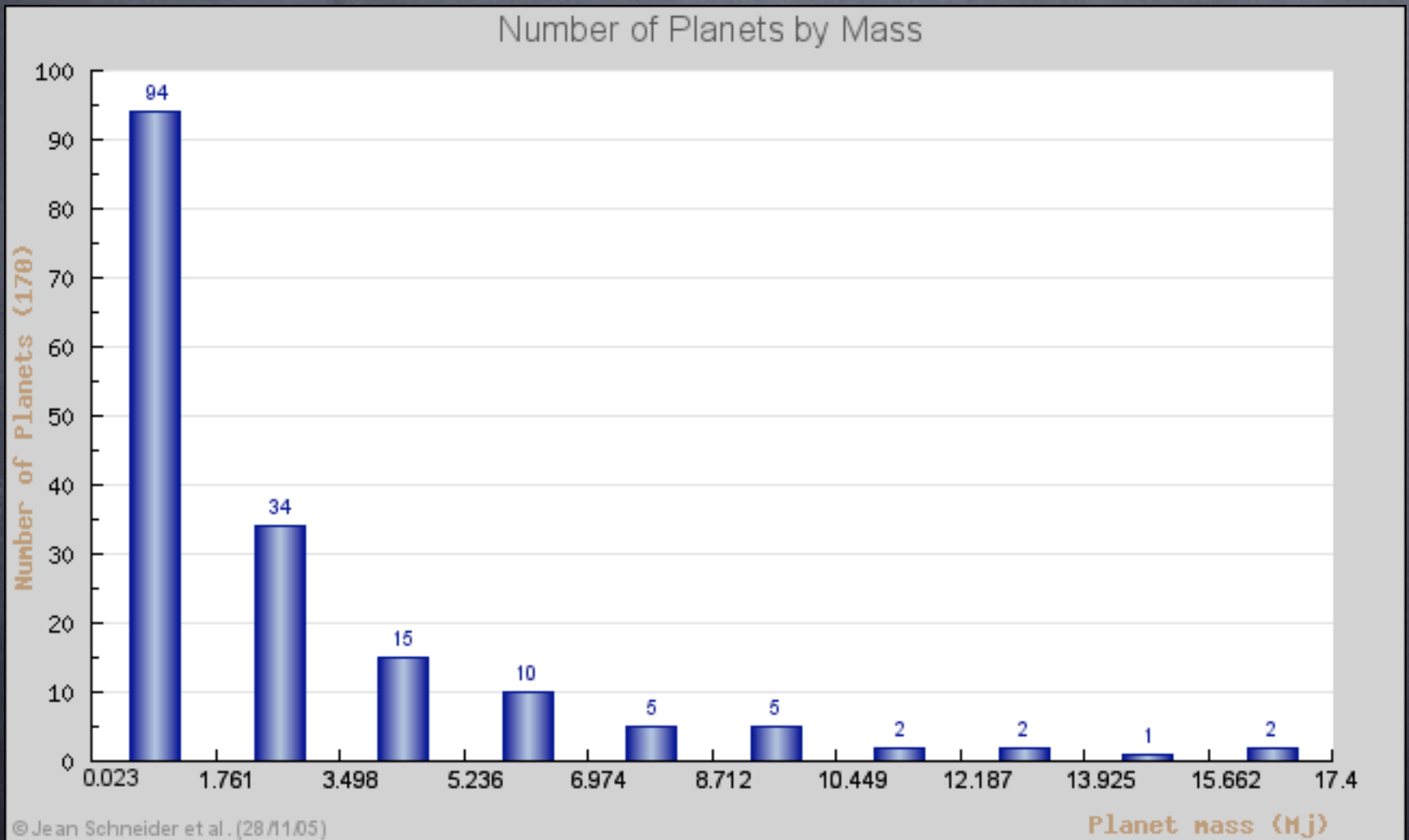
- 146 kända planetsystem
- 170 planeter
- 18 multipla planetsystem

# Extrasolära planeter

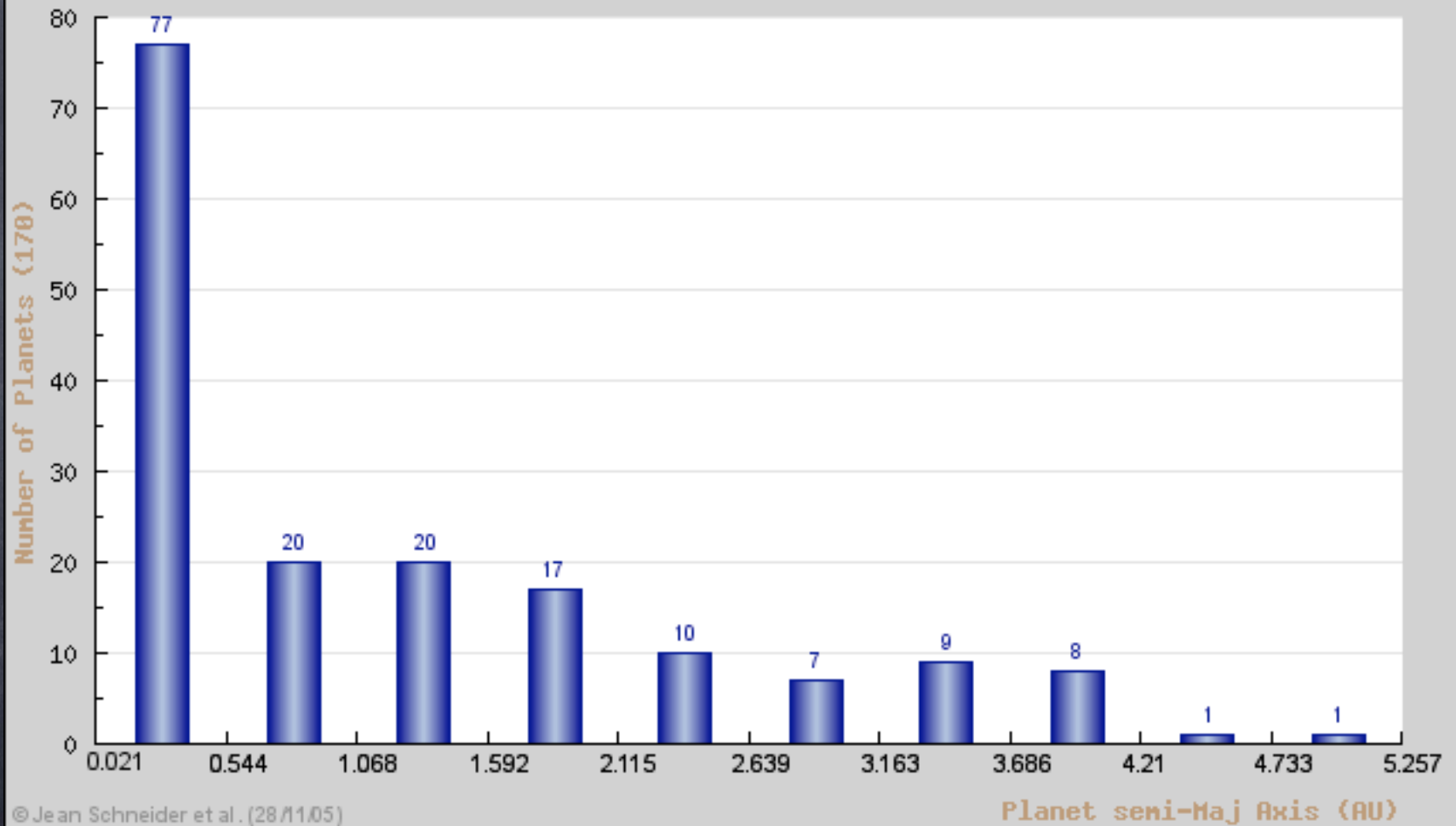


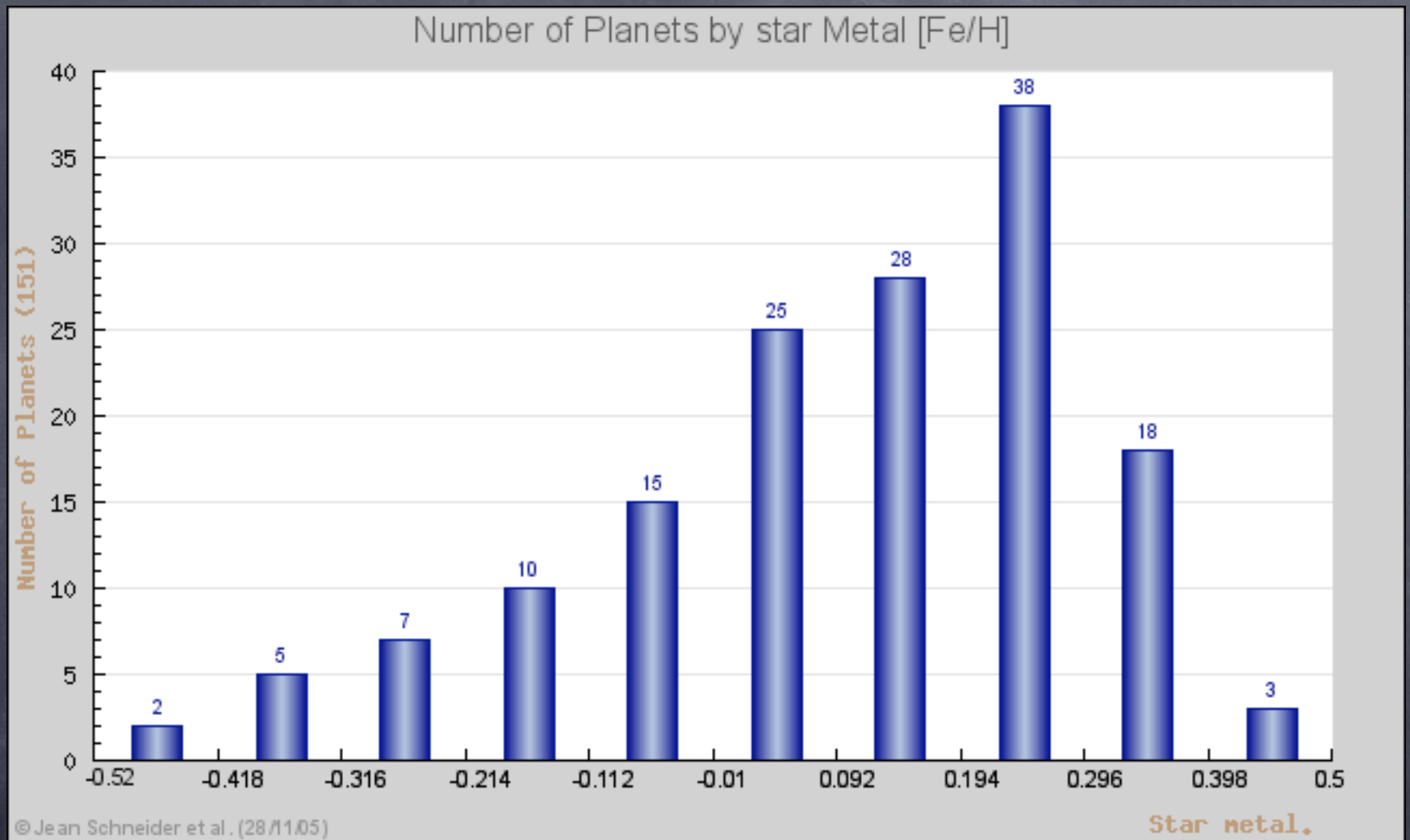
De flesta extrasolära planeter som hittills upptäckts har relativt hög massa och har banor som skiljer sig markant från planeter i vårt eget solsystem

# Statistik

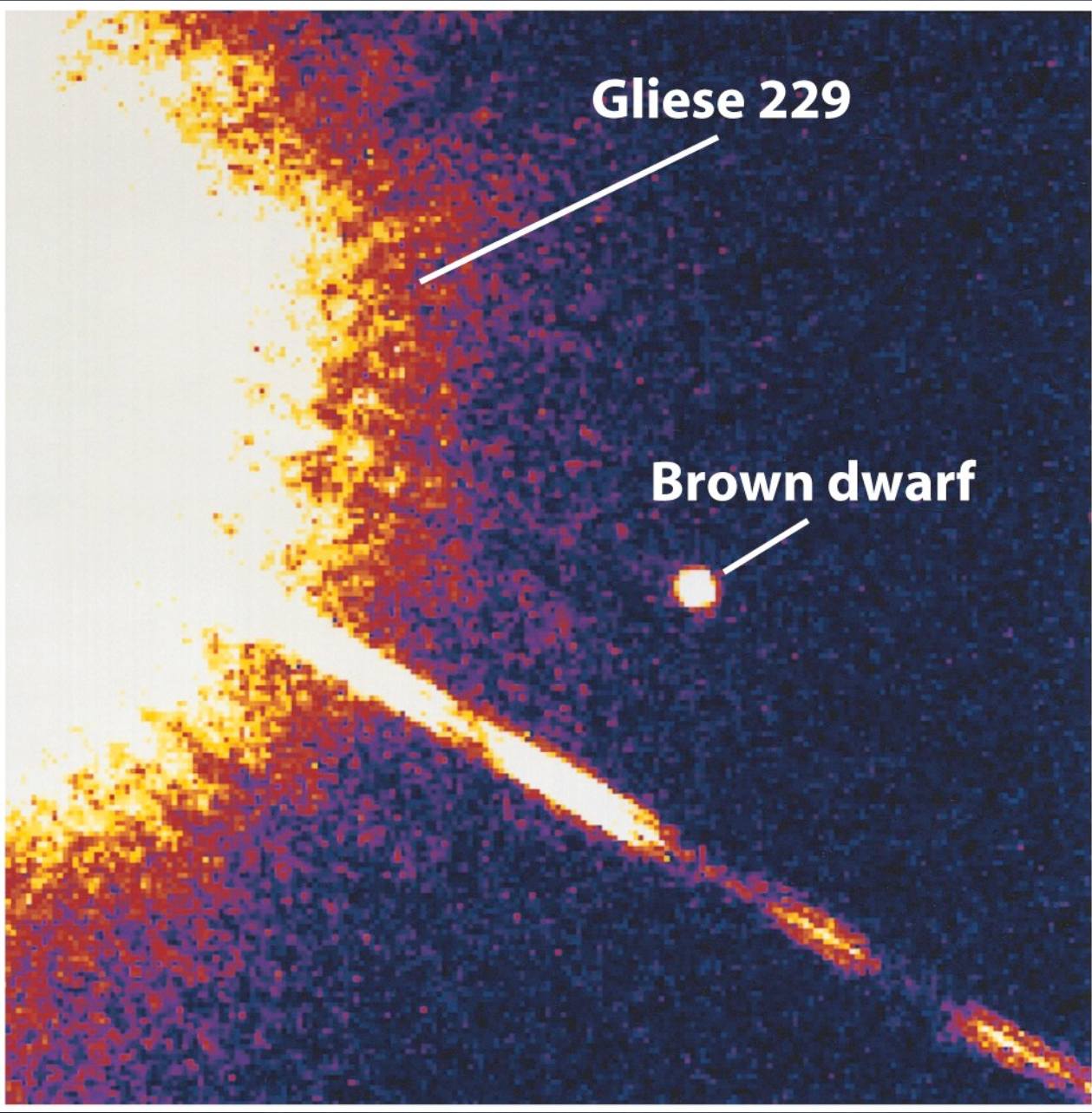


Number of Planets by semi-Maj Axis





Ger stöd åt planetesimal teorin

An astronomical image showing a bright, elongated, yellowish-white object on the left, which is the star Gliese 229. To its right is a smaller, reddish-orange object labeled as a brown dwarf. The background is dark blue with some faint, diagonal streaks of light. White lines with arrows point from the text labels to the respective objects.

**Gliese 229**

**Brown dwarf**

$a = 32 \text{ AU}$

$M = 30\text{--}55 \text{ } M_{\text{jup}}$