

Los presentes contenidos han sido elaborados para que profesores de enseñanza básica de Chile tengan un apoyo para impartir sus clases de astronomía en la asignatura de ciencia.

No obstante lo anterior, cualquier reproducción, distribución, comunicación o transformación de este material debe ser debidamente visados por su autor: El Académico de la Universidad de Chile y Premio Nacional de Ciencias Exactas, José Maza Sancho.

Adicionalmente, se prohíbe – terminantemente- que el material aquí presentado pueda ser incluido en libros, textos o manuales con propósito comercial.

Todos los derechos reservados

Enero de 2011

Departamento de Astronomía

Facultad de Ciencias Física y Matemáticas

Universidad de Chile



El Sistema Solar

José Maza Sancho

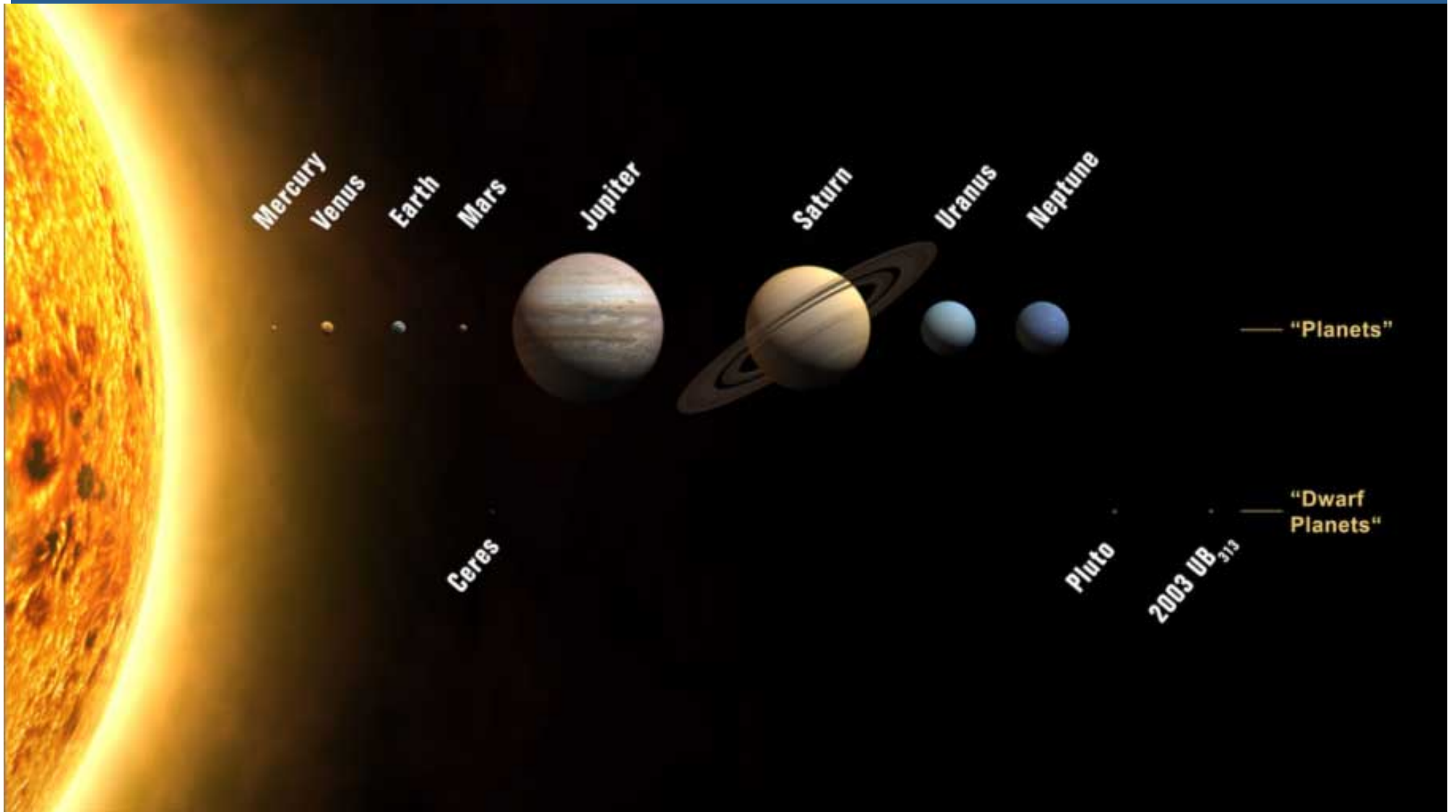
Astrónomo

Departamento de Astronomía

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile

Cerro Calán, 20 de Enero 2011

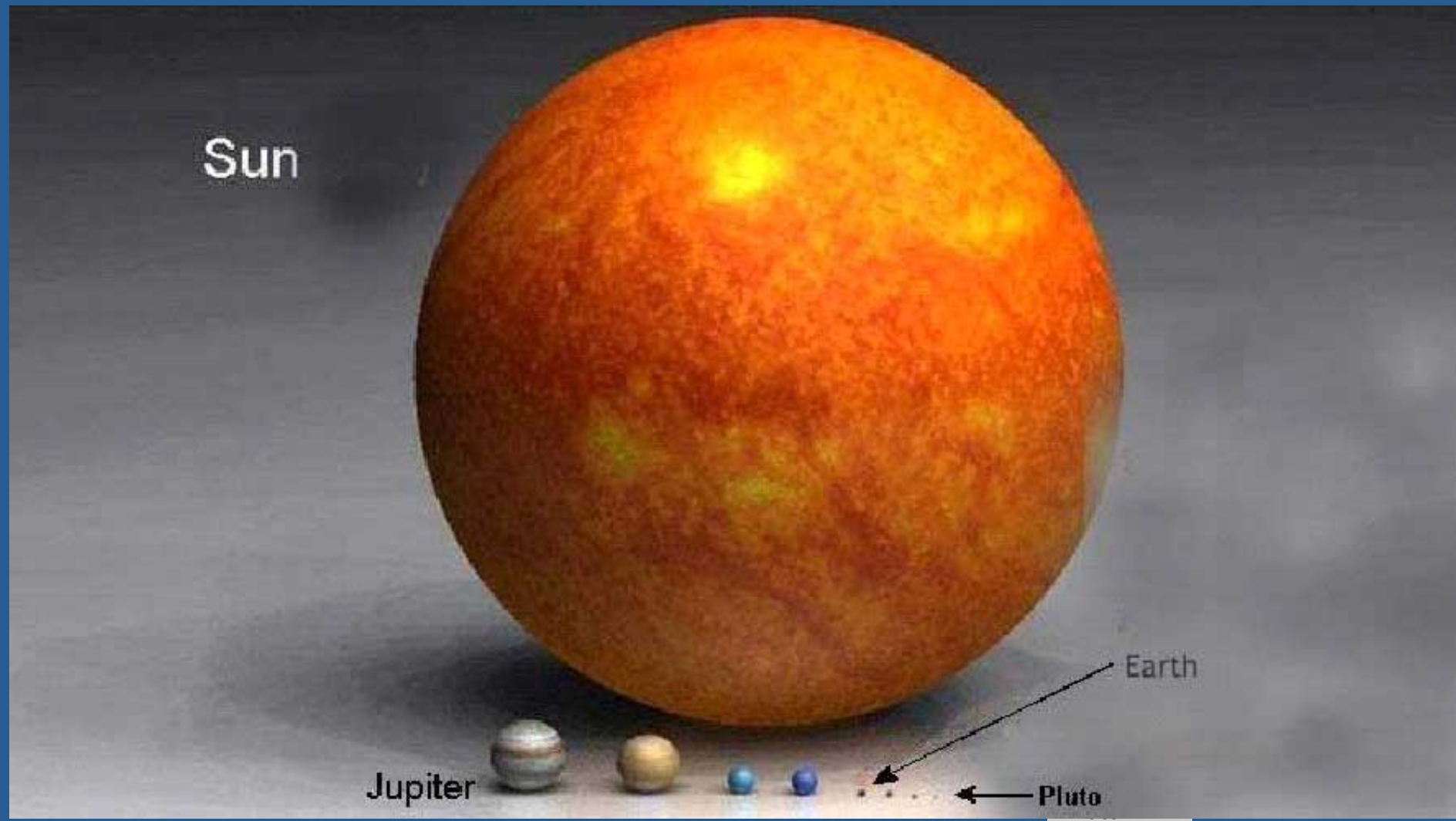


Sun

Jupiter

Earth

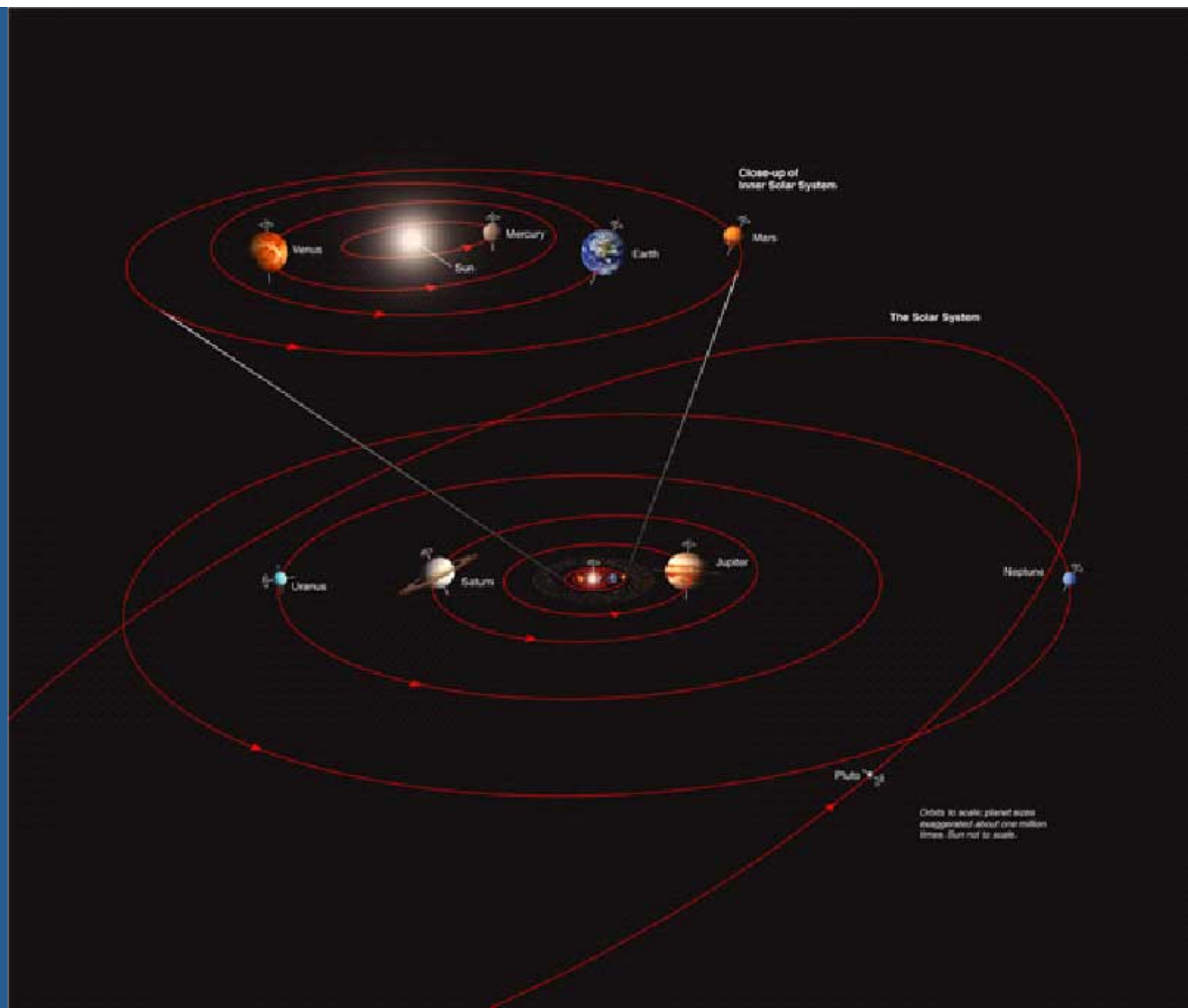
Pluto

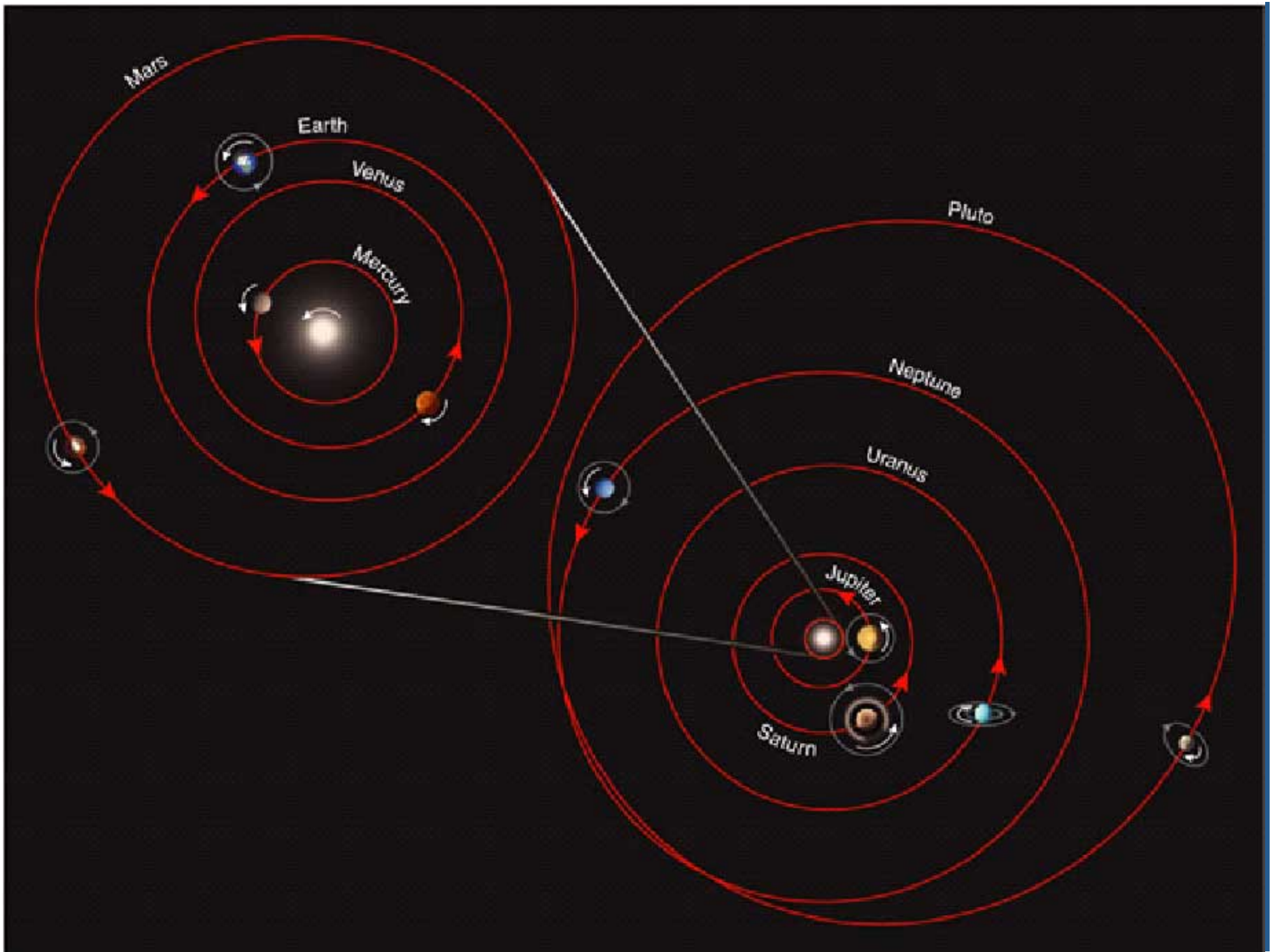


Sistema Solar: Grandes regularidades

- El sistema solar está compuesto por el Sol y los planetas.
- El Sol contiene el 99,87% de la masa del sistema solar.
- La masa del Sol = 330.000 masas de la Tierra
- Masa de Júpiter = 318 masas terrestres
- Masa de todos los planetas equivale a 1,3 milésimas de la masa del Sol.

- Todos los planetas orbitan alrededor del Sol girando en sentido contrario a los punteros de un reloj (vistos desde el norte).
- Todos los planetas giran “casi” en el mismo plano.
- Los planetas rotan en torno a un eje que es “casi” perpendicular al plano de la eclíptica.
- La rotación de los planetas es contra reloj vista desde el norte.





- Se pueden distinguir dos familias de planetas:
- Planetas terrestres
- Planetas jovianos.
- Los planetas terrestres son pequeños, rocosos, densos, cercanos al Sol (**Mercurio, Venus, La Tierra y Marte**).

Tierra



Venus



Marte



Mercurio



Pluton



- Los planetas jovianos son de hielo, poco densos, de gran tamaño y lejanos al Sol: **Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.**

Jupiter

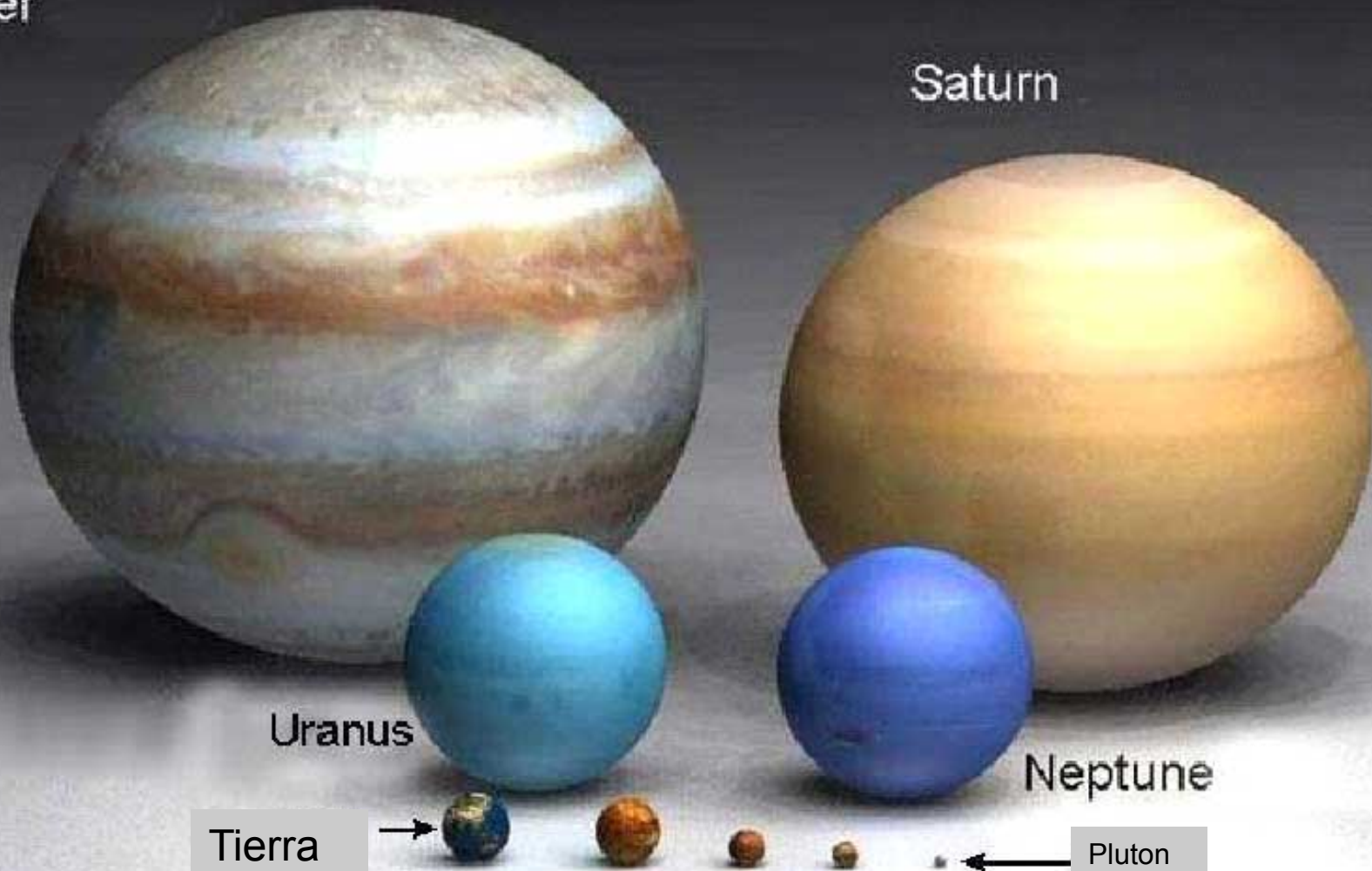
Saturn

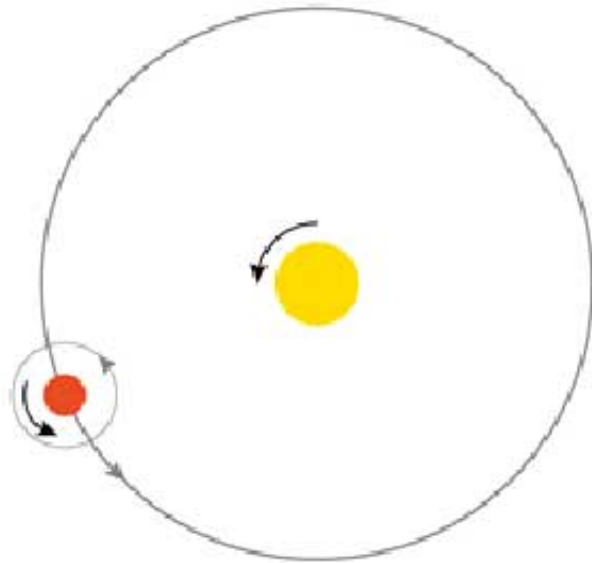
Uranus

Neptune

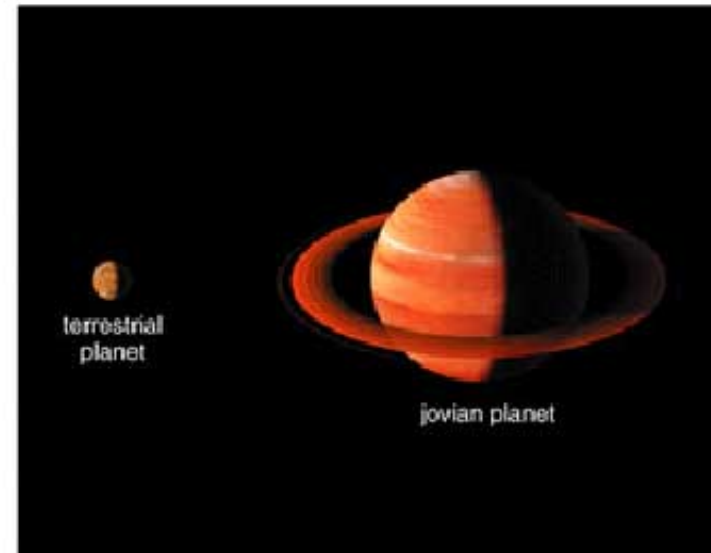
Tierra

Pluton

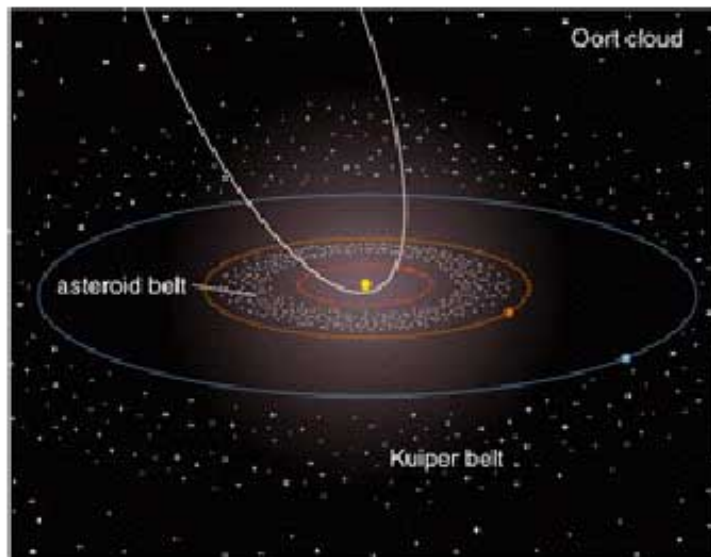




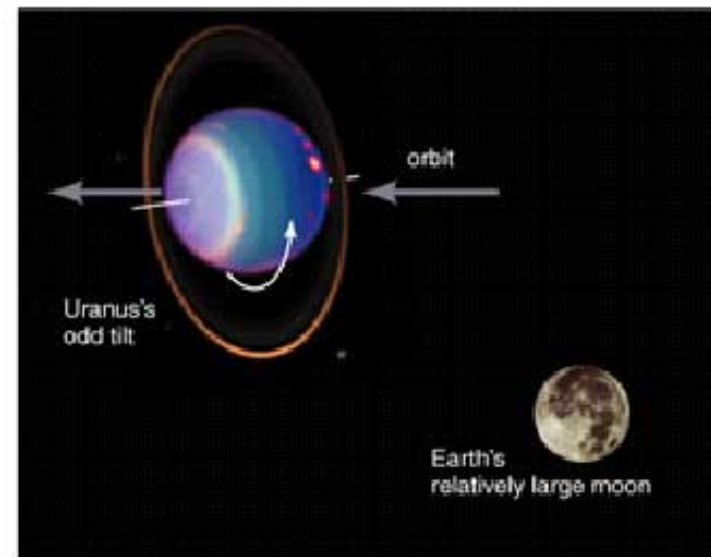
Large bodies in the solar system have orderly motions. All planets and most satellites have nearly circular orbits going in the same direction in nearly the same plane. The Sun and most of the planets rotate in this same direction as well.



Planets fall into two main categories: small, rocky terrestrial planets near the Sun and large, hydrogen-rich jovian planets farther out. The jovian planets have many moons and rings made of rock and ice. Pluto does not fit in either category.

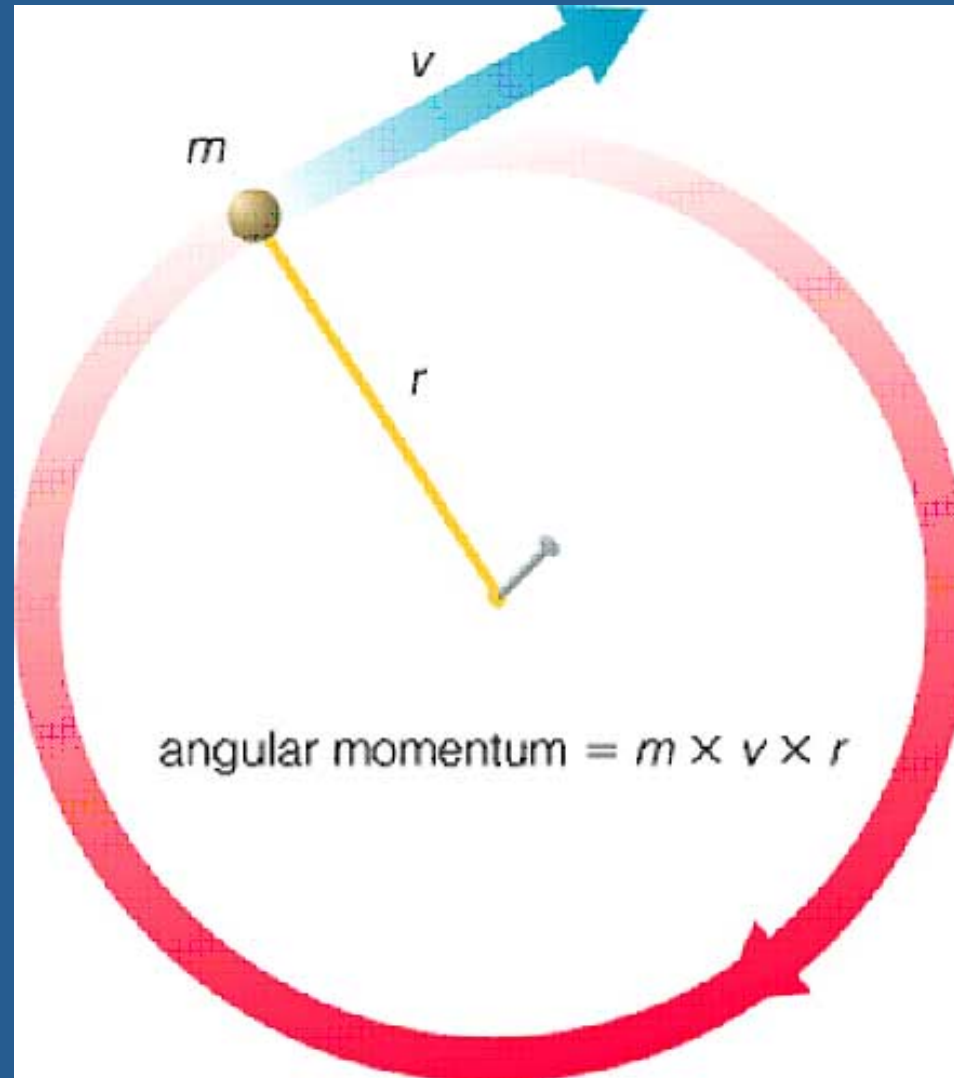


Swarms of asteroids and comets populate the solar system. Asteroids are concentrated in the asteroid belt, and comets populate the regions known as the Kuiper belt and the Oort cloud.



Several notable exceptions to these general trends stand out, such as planets with unusual axis tilts or surprisingly large moons, and moons with unusual orbits.

Momento angular



- El Sol gira en 25 días.
- La masa del sistema solar está en el Sol.
- El momento angular del sistema solar está en los planetas, principalmente los planetas gigantes.
- El momento angular de un sistema de partículas se conserva, a menos que actúen fuerzas externas.
- La nebulosa solar primitiva depositó el momento angular en los planetas y la masa en el Sol.

El Sol.

- Se define la constante solar como la cantidad de radiación (energía) que se recibe en la Tierra, proveniente del Sol, en cada centímetro cuadrado, en cada minuto.
- La constante solar es lo que se mediría sin atmósfera en la superficie de la Tierra.

- La constante solar es de 2 calorías por centímetro cuadrado por minuto.
- Esto es la cantidad de calor que recibe 1 centímetro cuadrado, cada minuto, a la distancia de 150 millones de kilómetros del Sol.
- La cantidad total emitida por el Sol es $5,6 \times 10^{27}$ calorías por minutos, o $9,4 \times 10^{25}$ calorías por segundo.
- Como una caloría equivale a $4,18 \times 10^7$ ergs, la luminosidad solar son $3,8 \times 10^{33}$ ergs/seg.

- La masa solar es de 2×10^{33} gramos, resulta que cada gramo del Sol debe generar: $(9,4 \times 10^{25} \text{ calorías}) / (2 \times 10^{33} \text{ gramos}) = 4,7 \times 10^{-8} \text{ calorías/gramo/seg.}$
- Un gramo de combustible de cohete mezclado con la apropiada cantidad de oxígeno produce, por combustión 200 calorías.
- El tiempo que “durarían” esas 200 calorías, gastadas a razón de $4,7 \times 10^{-8}$ calorías por segundo es de $4,3 \times 10^9$ segundos, equivalentes a 140 años.
- ¡No cabe duda que el Sol ha existido por un período mucho más largo!

- En 1854 el físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894) propuso que el calor solar tendría un origen gravitacional.
- La teoría de von Helmholtz fue desarrollada por J. Homer Lane en 1869, por August Ritter en 1878 y por Lord Kelvin en 1887.
- Actualmente se la conoce como la “**hipótesis de contracción de Helmholtz-Kelvin**”.

- El teorema del virial establece que en un sistema mecánico la mitad del cambio en la energía gravitacional va a aumentar la energía interna del sistema (calor) y la otra mitad debe ser radiada.
- Si el Sol hubiese sido inicialmente de un gran tamaño, al irse contrayendo su energía gravitacional va disminuyendo.
- La energía gravitacional actual es GxM^2/R o sea, del orden de $1,0 \times 10^{41}$ calorías.
- El Sol emite del orden de $1,0 \times 10^{26}$ calorías/seg y podría haber vivido $1,0 \times 10^{41} / 1,0 \times 10^{26} = 1,0 \times 10^{15}$ segundos o sea $3,0 \times 10^7$ años.

- El Sol podría haber vivido 30.000.000 de años radiando energía gravitacional
- Este mecanismo pareció muy interesante, mucho más que la combustión del Sol.
- Kepler, a comienzos del siglo XVII consideraba que la edad de la Tierra era unos 5.000 a 6.000 años.
- En esa perspectiva el tiempo de Helmholtz de 30 millones de años parecía muy adecuado.

- Al comenzar el siglo XX se estableció la edad de la Tierra por la radioactividad de las rocas de la corteza.
- Finalmente se adoptó una edad para la Tierra (y el Sol) de 4.600.000.000 años.
- Con ello la contracción de Helmholtz-Kelvin se hizo totalmente insuficiente para explicar la energía solar.
- En 1926 el astrofísico inglés Arthur Eddington, propone que la energía nuclear es la más probable fuente de energía del Sol y las estrellas.

- Con la equivalencia entre masa y energía, un gramo de materia tiene una energía dada por la fórmula $E=mc^2$.
- Como la masa solar son 2×10^{33} gramos, su equivalente en energía son $1,8 \times 10^{54}$ ergs.
- Con la luminosidad del Sol de $3,8 \times 10^{33}$ ergs/seg la vida posible del Sol, a costa de su energía nuclear es $1,8 \times 10^{54} / 3,8 \times 10^{33} = 4,7 \times 10^{20}$ segundos equivalentes a 1×10^{13} años.
- Esta “escala de tiempo” es evidentemente un límite superior, pues es el tiempo que podría vivir el Sol si la totalidad de su masa se transformase en energía.

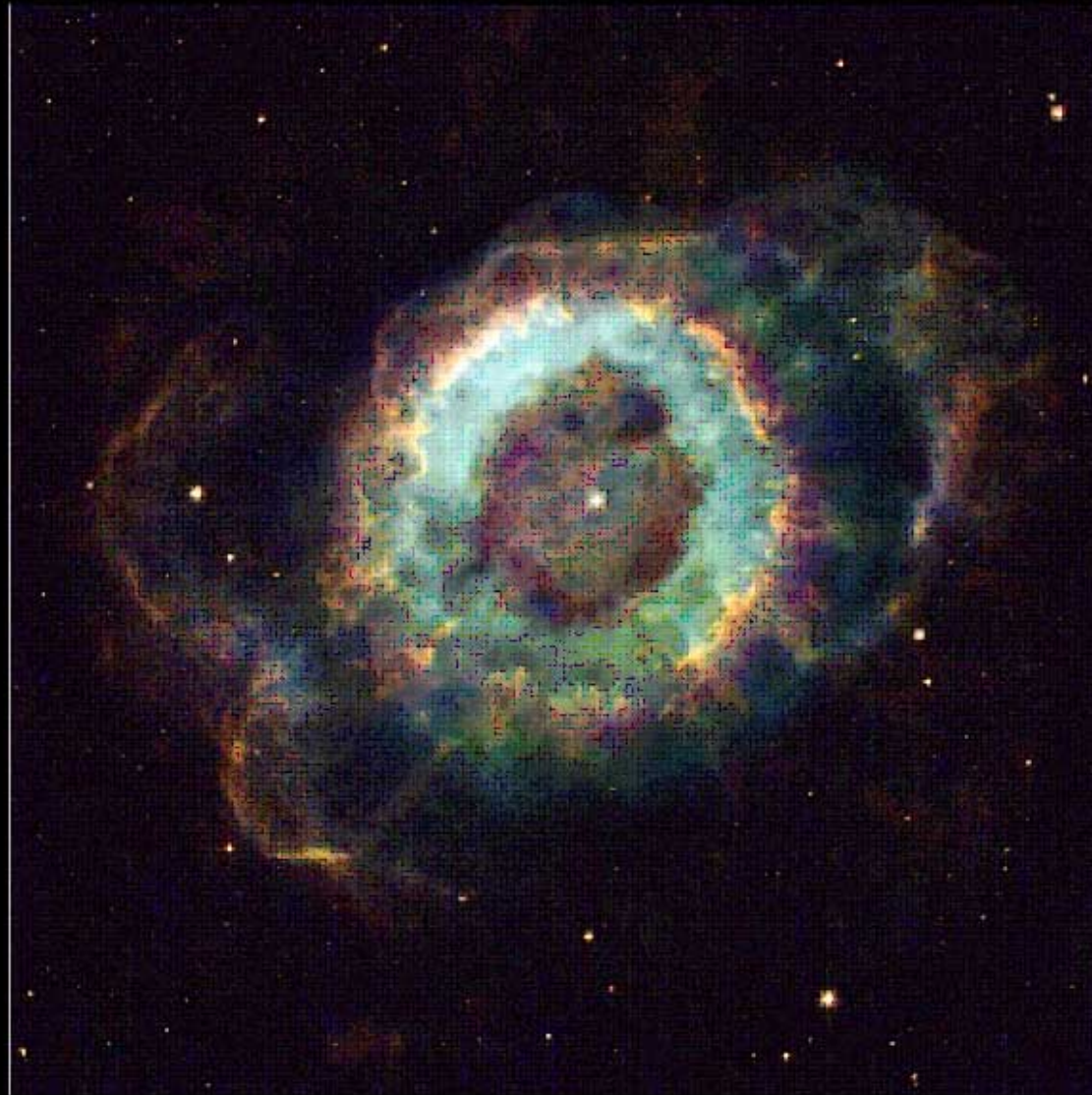
- En 1938 Hans Bethe, en Estados Unidos, y Carl von Weizsäcker en Alemania, demostraron que las estrellas como el Sol transmutan Hidrógeno en Helio.
- En el proceso 1.000 gramos de Hidrógeno se transforman en 993 gramos de Helio más 7 gramos de energía.
- Sólo el 7 por mil de la materia se transforma en energía.

- Sólo en las zonas centrales de una estrellas están las condiciones de densidad y temperatura para que ocurran transmutaciones nucleares.
- Por ello el 7 por mil se transforma en algo cercano a 1 por mil. Los 10^{13} años calculados por Eddington hay que rebajarlos a unos 10^{10} años; esa es aproximadamente el tiempo que le tomará al Sol “quemar su combustible Hidrógeno”.
- El Sol ha “vivido” 4.600 millones de años y por ende le quedan 5.400 millones de años de vida.

- El Sol se transformará en una estrella gigante roja, alcanzando un tamaño cien veces el actual.
- El Sol se verá como un disco en el cielo de 50 grados de diámetro.
- La temperatura superficial del Sol bajará de 5.800 K a unos 3.000 K
- La temperatura en la Tierra aumentará a unos 1.500 K.
- Se evaporarán los océanos y se extinguirá toda forma de vida.

- El Sol logrará una temperatura central de 200 millones de grados y quemará Helio en Carbono.
- La temperatura actual del centro del Sol es de 15 millones de grados Kelvin y transmuta Hidrógeno en Helio.
- El Sol funcionará mil millones de años quemando Helio.
- Al cumplir 11 mil millones de años el Sol se transformará en enana blanca, pasando por una fase de nebulosa planetaria.

Planetary Nebula NGC 6369 • The Little Ghost



Hubble
Heritage

Planetary Nebula NGC 6751



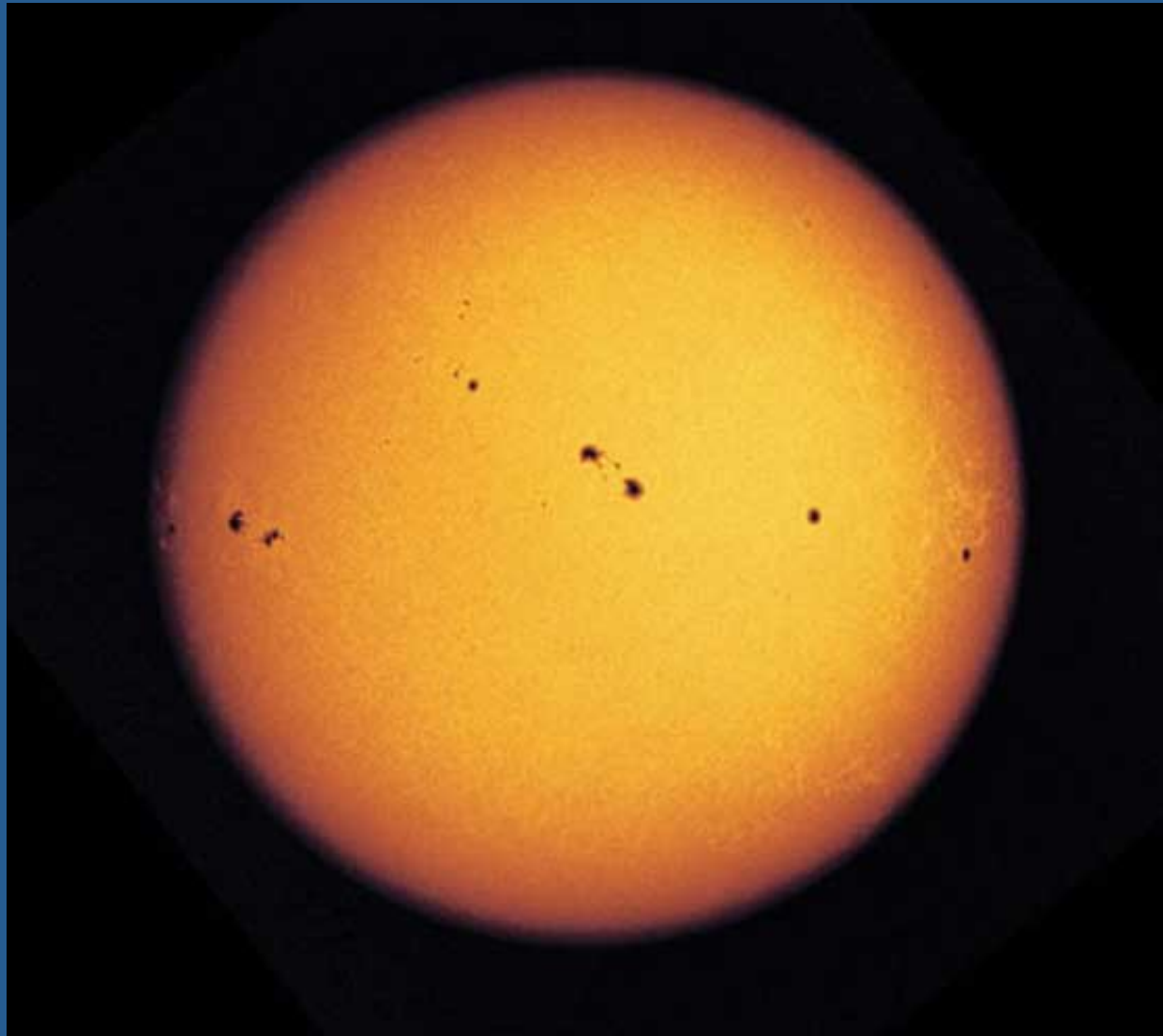
Hubble
Heritage

PRC00-12 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Actividad Solar

- Galileo descubrió manchas solares en 1611.
- A partir de 1826 el químico de Dessau, Alemania, Heinrich Schwabe, descubrió que el número de manchas variaba significativamente, siendo máximo entre 1828-1829 y 1836-1839 y siendo mínimo en 1833 y 1843. Schwabe dedujo que el Sol tiene un ciclo cercano a una década; sus resultados los publicó en 1843.
- En el siglo XIX se descubrió que las manchas solares pasan por un mínimo y un máximo en un ciclo de once años.

Manchas solares



Earth shown
for size comparison



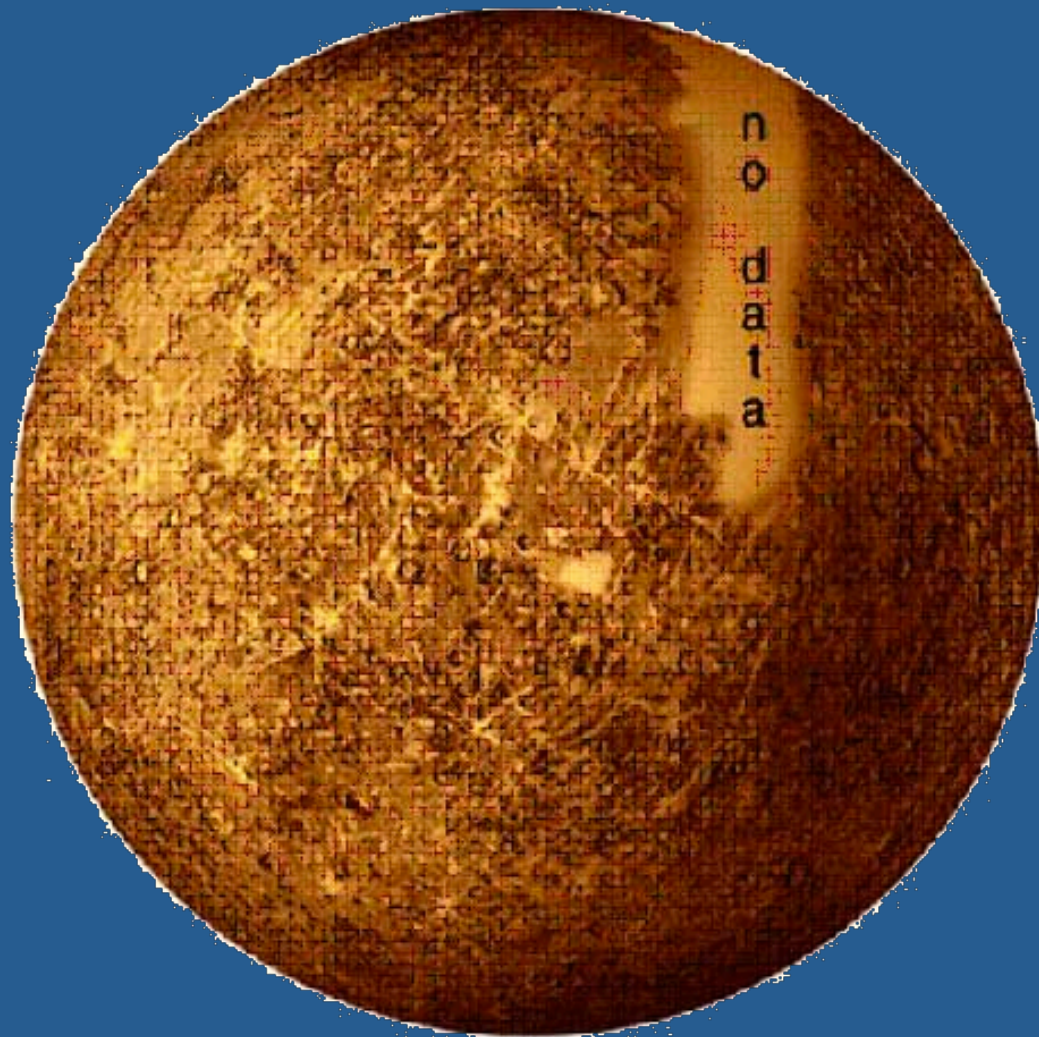
Mercurio

- Diámetro ecuatorial: 4.879 km
- Masa: 0,0055274 M_{\oplus}
- Densidad: 5,43 gr/cm^3
- Período sideral: 88 días
- Período de rotación: 58,646 días
- Velocidad de escape: 4,2 km/s

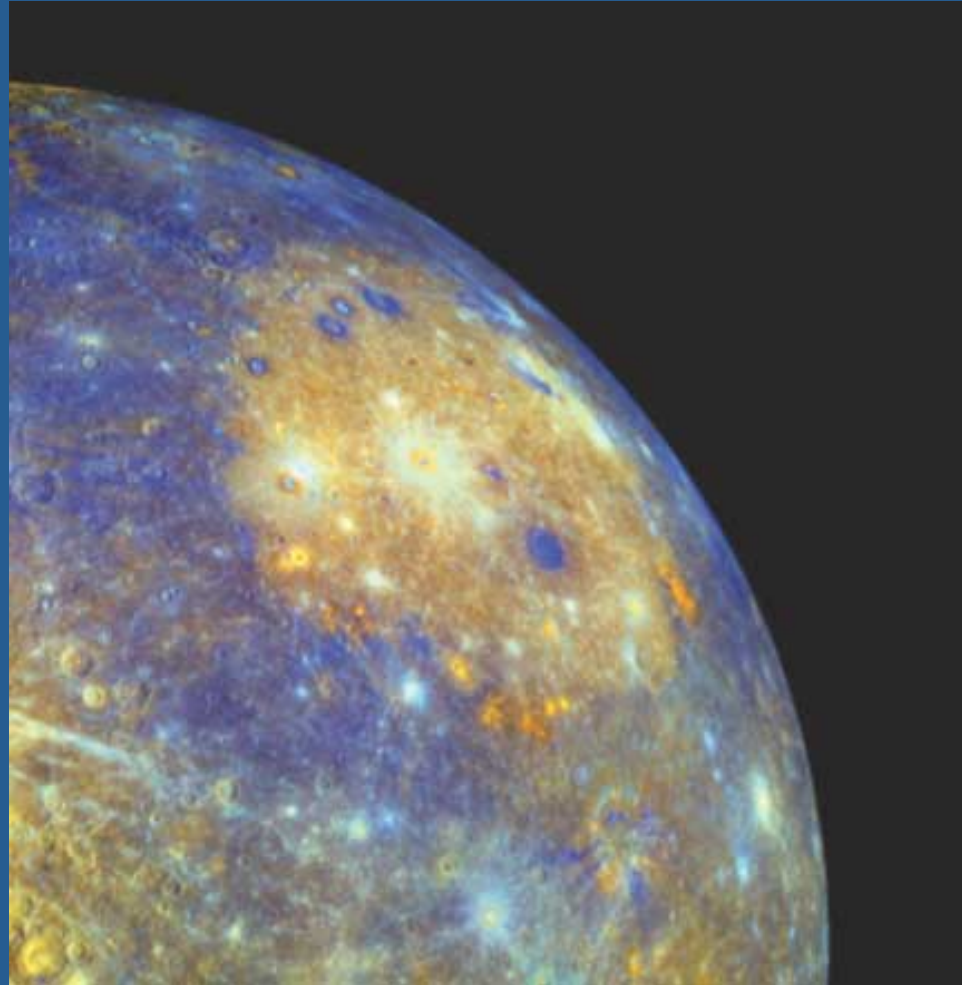
Mercurio



Mercurio



Mercurio



Venus

- Diámetro ecuatorial: 12.104 km
- Masa: 0,815005 M_{\oplus}
- Densidad: 5,24 gr/cm³
- Período sideral: 224,7 días
- Período de rotación: 243,019 días (R)
- Velocidad de escape: 10,4 km/s
- Temperatura: 470 C
- Presión atmosférica 90 atmósferas.

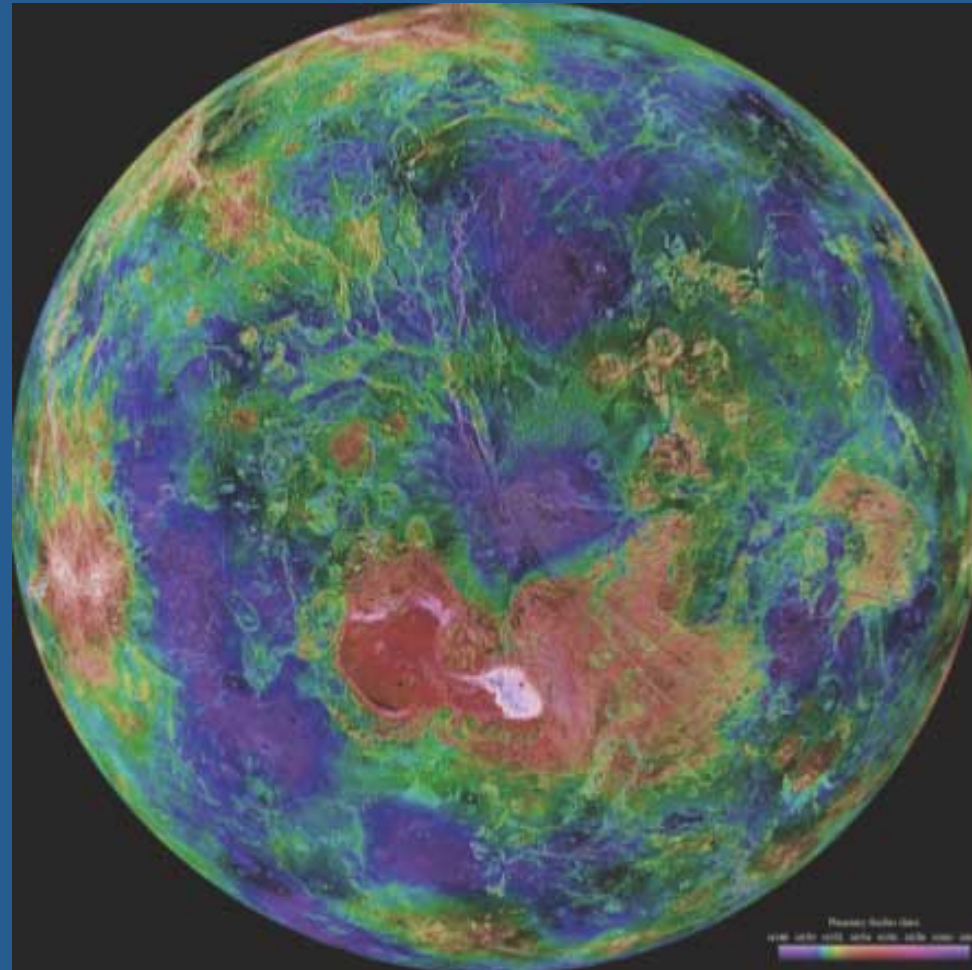
Venus



Venus



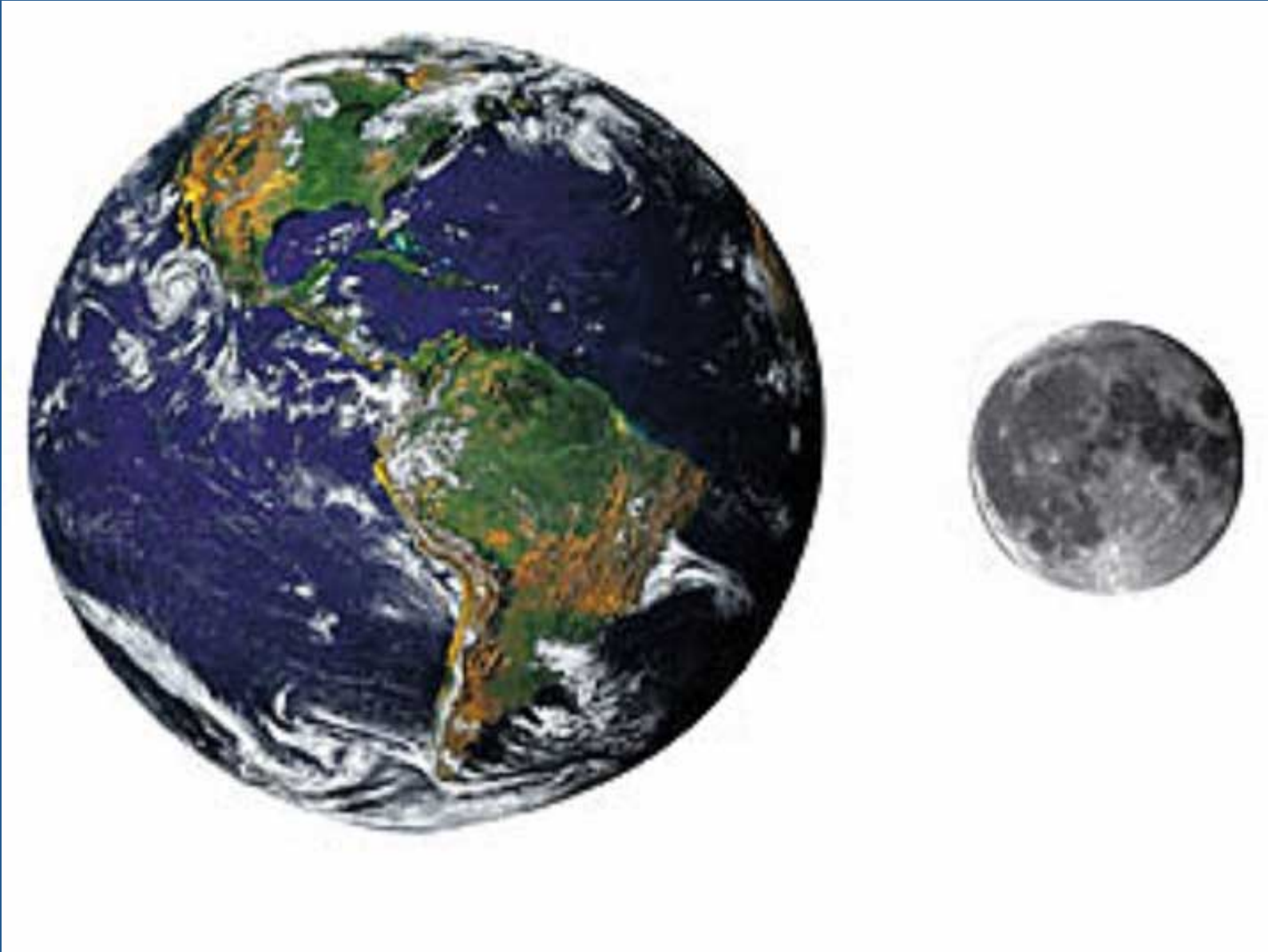
Venus



La Tierra

- Diámetro ecuatorial: 12.756 km
- Masa: 1,000 M_{\oplus}
- Densidad: 5,52 gr/cm^3
- Período sideral: 365,25 días
- Período de rotación: 24 horas
- Velocidad de escape: 11,2 km/s



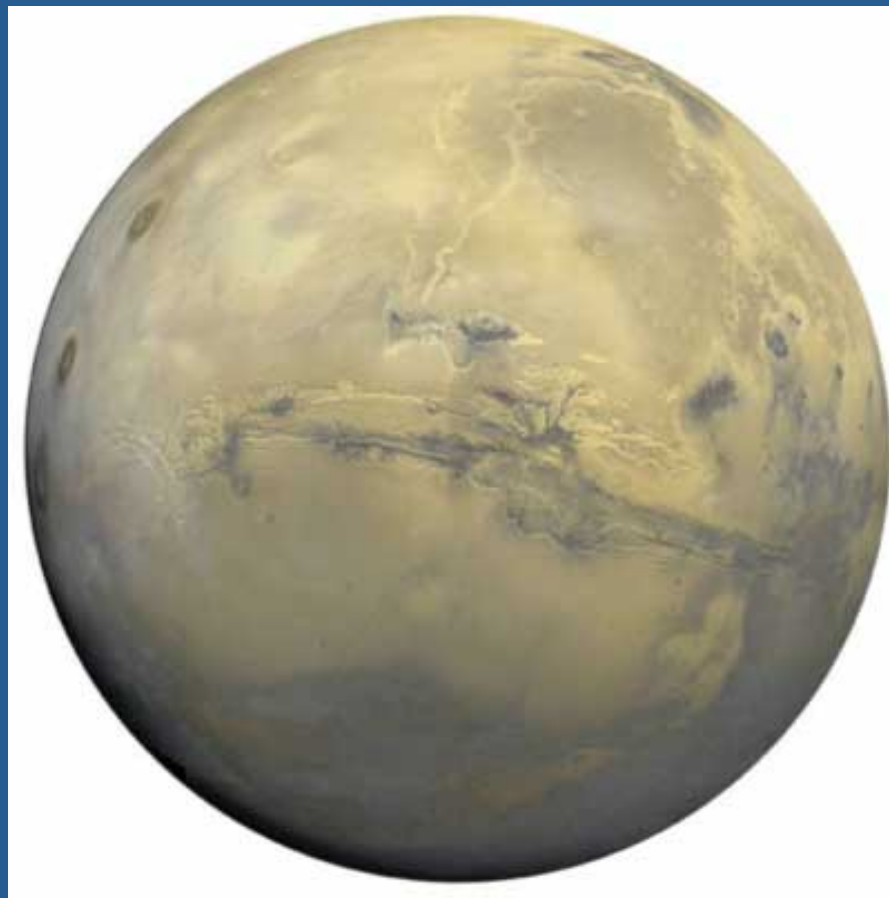




Marte

- Diámetro ecuatorial: 6.794 km
- Masa: 0,107447 M_{\oplus}
- Densidad: 3,94 gr/cm³
- Período sideral: 687 días
- Período de rotación: 24 h 37 m 26s
- Velocidad de escape: 5,0 km/s
- Temperatura: -10 C
- Presión atmosférica 0,007 atmósferas

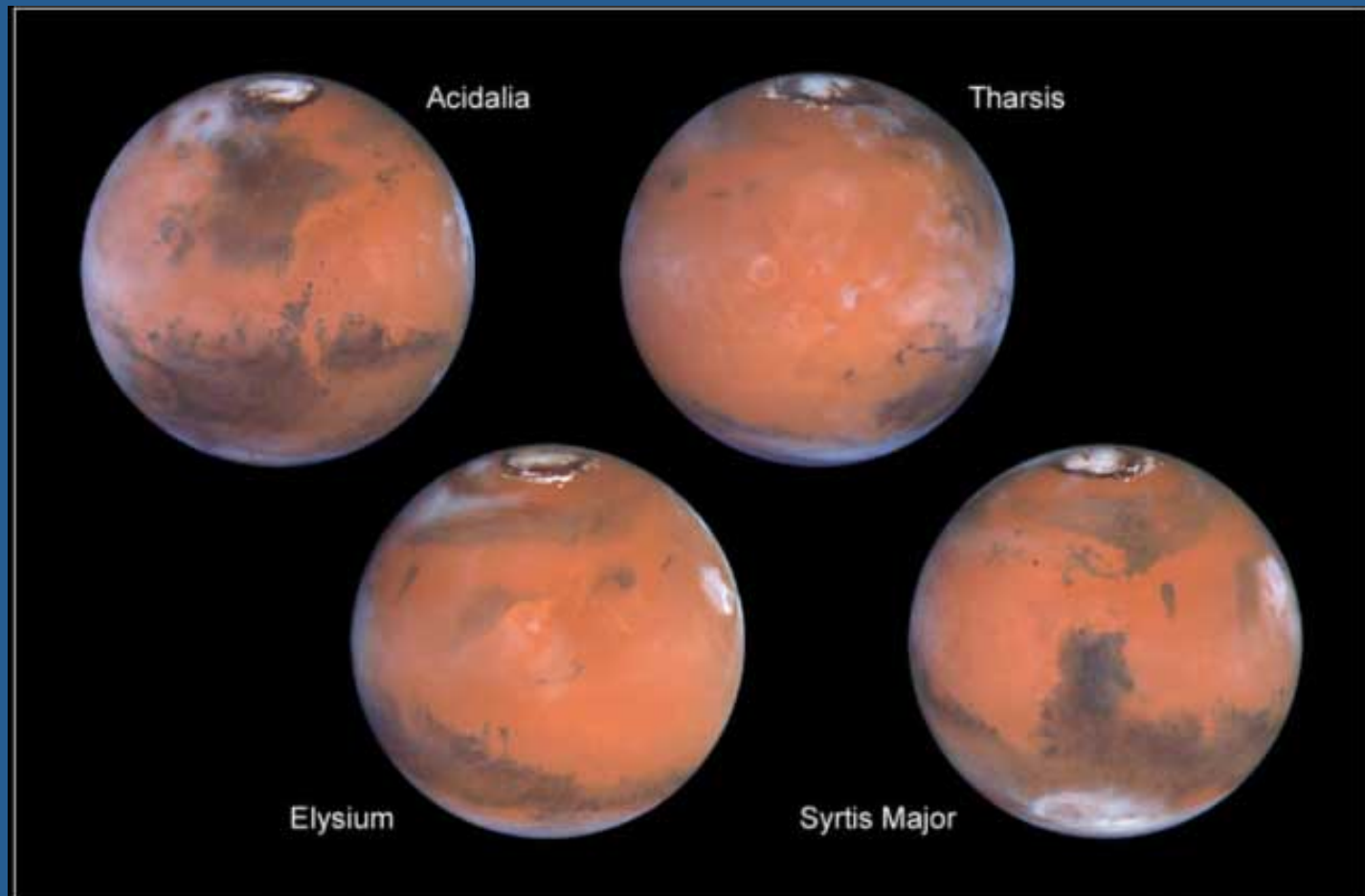
Marte



Marte



Marte

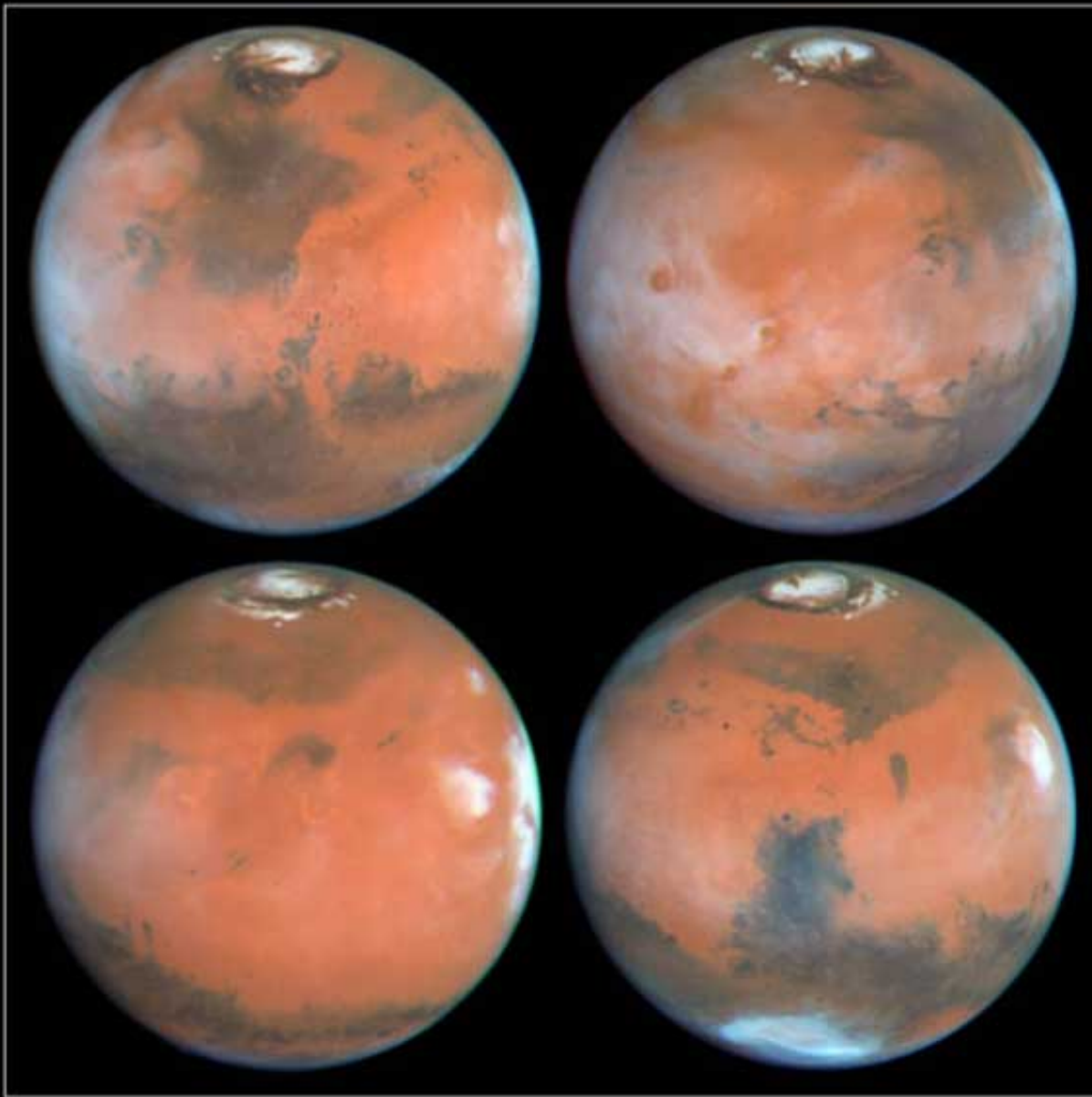


Mars • April-May 1999

PRC99-27 • STScI OPO

S. Lee (University of Colorado), J. Bell (Cornell University), M. Wolff (Space Science Institute) and NASA

HST • WFPC2

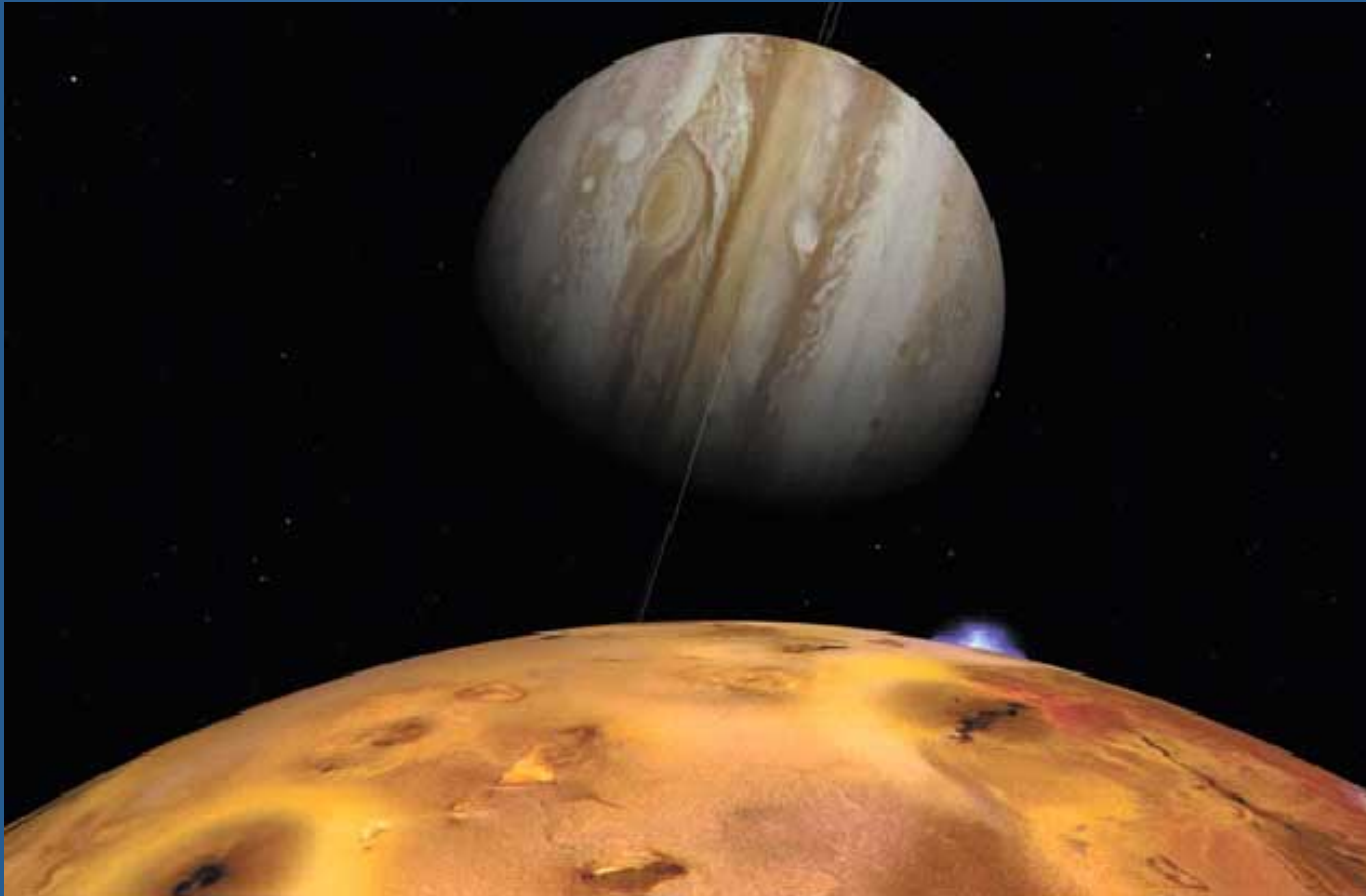


Mars • March 1997
Hubble Space Telescope • WFPC2

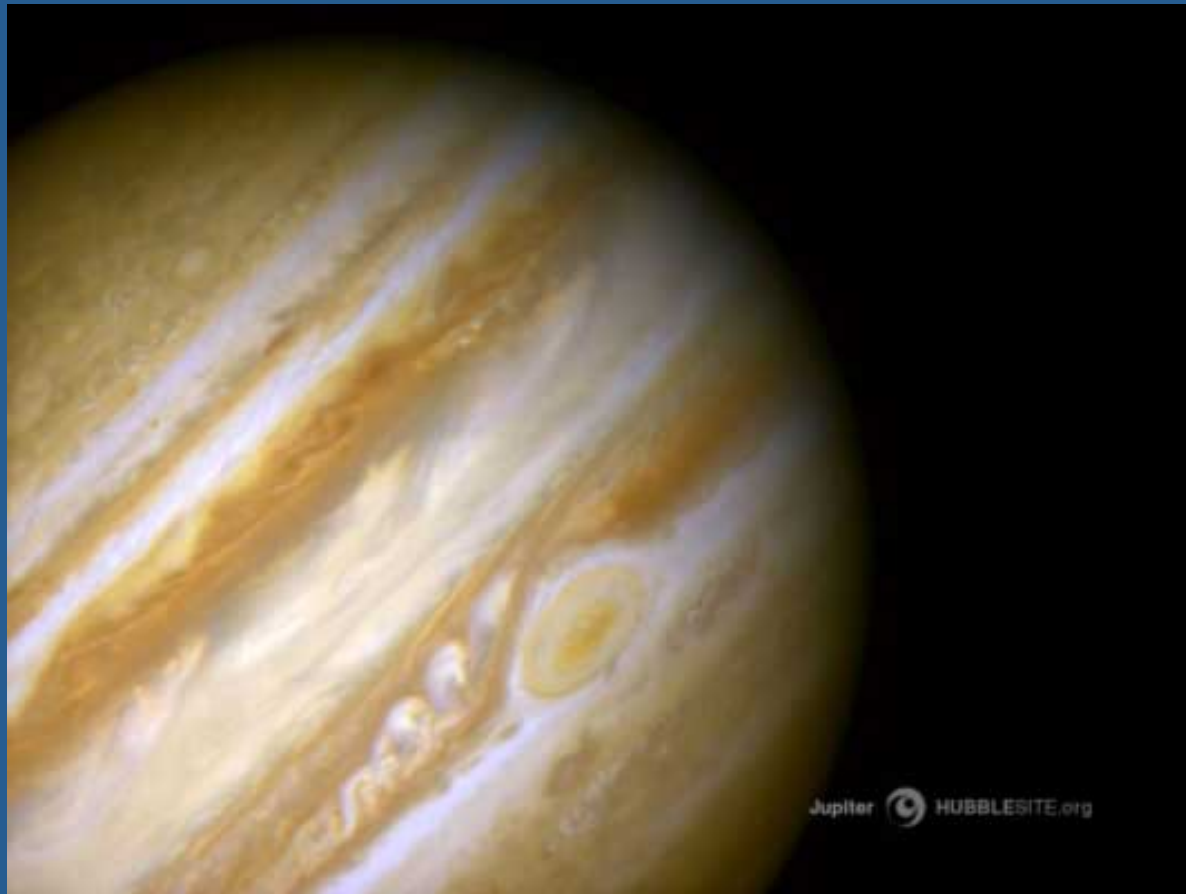
Júpiter

- Diámetro ecuatorial: 142.980 km
- Masa: 317,833 M_{\oplus}
- Densidad: 1,33 gr/cm^3
- Período sideral: 11,8612 años
- Período de rotación: 9 h 50 m 33s
- Velocidad de escape: 59,5 km/s
- Temperatura: -140 C

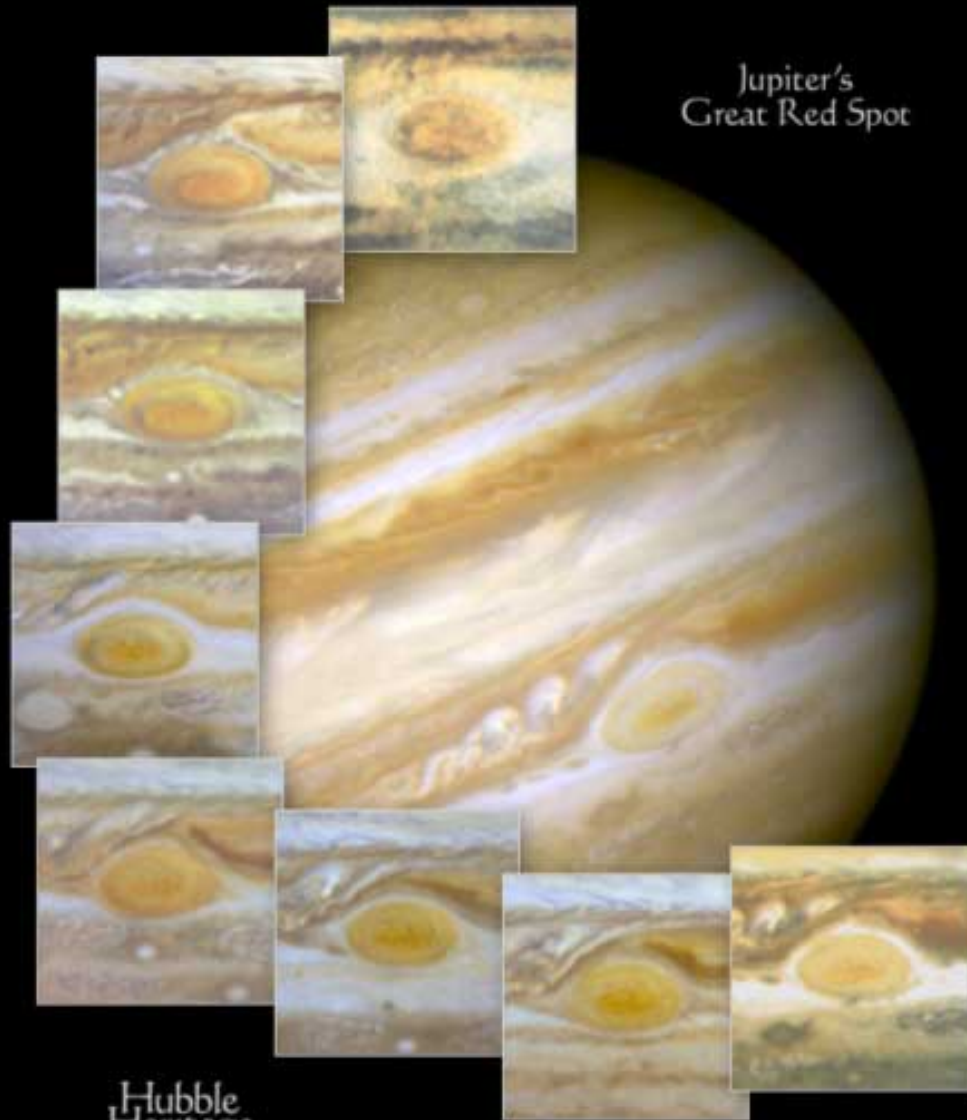
Jupiter



Jupiter



Jupiter's
Great Red Spot



Hubble
Heritage

STScI-PRC99-29 • Hubble Space Telescope WFPC2 • Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

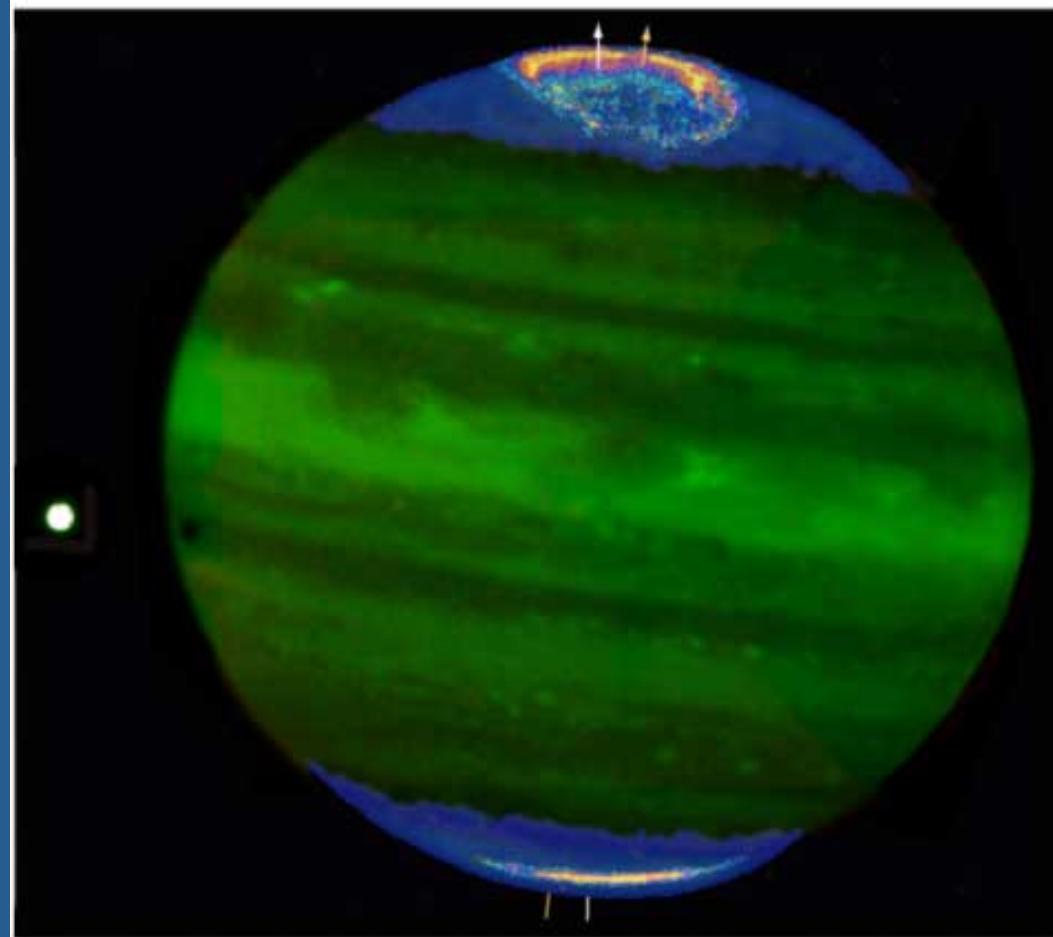


Jupiter and Io (VLT ANTU + ISAAC)

ESO PR Photo 21a/01 (7 June 2001)

© European Southern Observatory





Jupiter's Auroral Ring and Polar Haze
(VLT ANTU + ISAAC)

ESO PR Photo 21e/01 (7 June 2001)

© European Southern Observatory



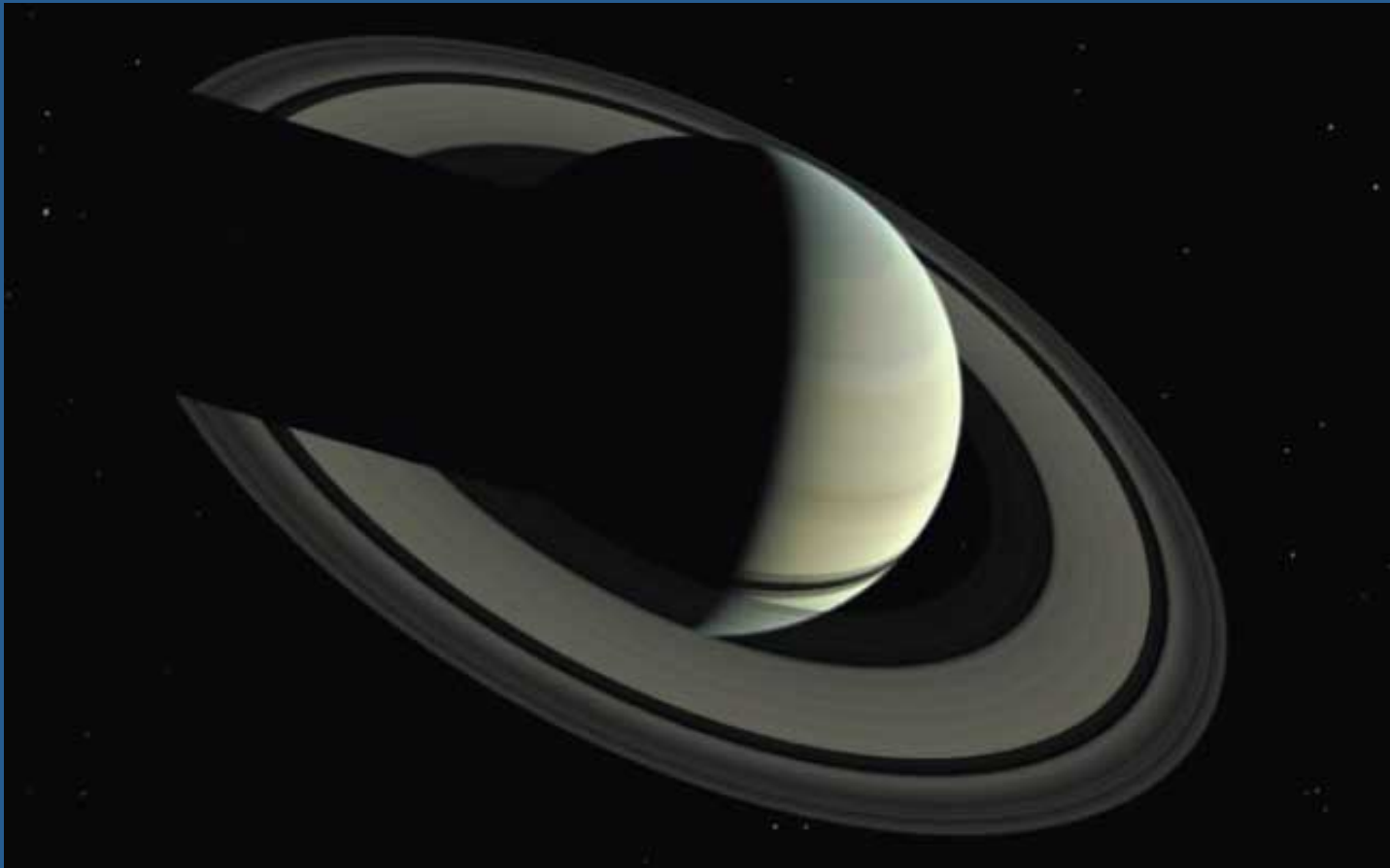
Júpiter



Saturno

- Diámetro ecuatorial: 120.540 km
- Masa: 95,159 M_{\oplus}
- Densidad: 0,70 gr/cm³
- Período sideral: 29,67 años
- Período de rotación: 10 h 39 m 22s
- Velocidad de escape: 35,5 km/s
- Temperatura: -176 C

Saturno



Saturno



Saturno



Giant Planet Saturn (H+K-band composite)
(VLT YEPUN + NAOS-CONICA)

ESO PR Photo 04a/02 (31 January 2002)

© European Southern Observatory



Saturno



Saturno

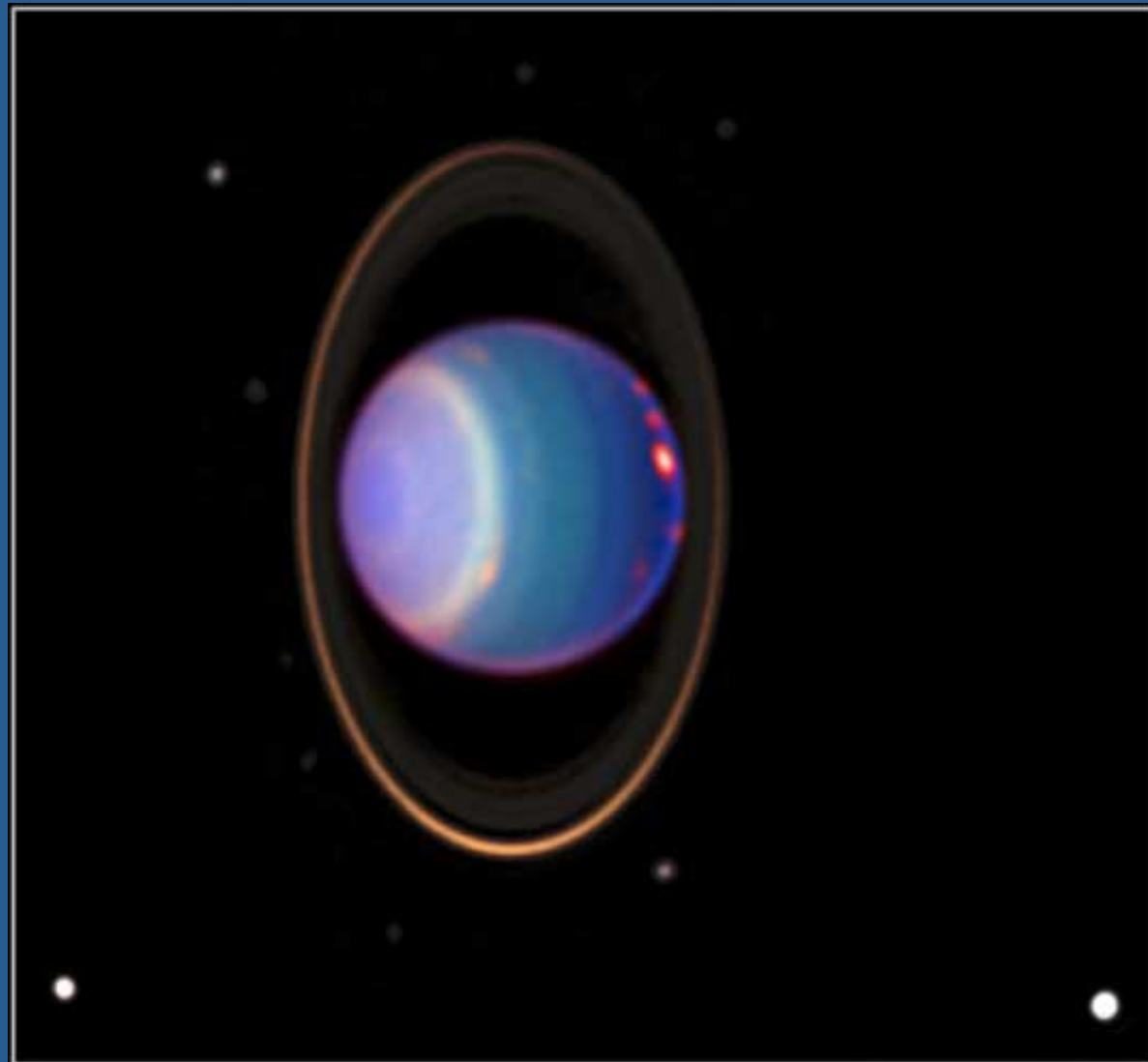


Urano

- Diámetro ecuatorial: 51.120 km
- Masa: 14,5 M_{\oplus}
- Densidad: 1,30 gr/cm³
- Período sideral: 83,68 años
- Período de rotación: 17 h 14 m 21s
- Velocidad de escape: 21,3 km/s
- Temperatura: -200 C

Urano





Uranus • August 8, 1998

HST • NICMOS

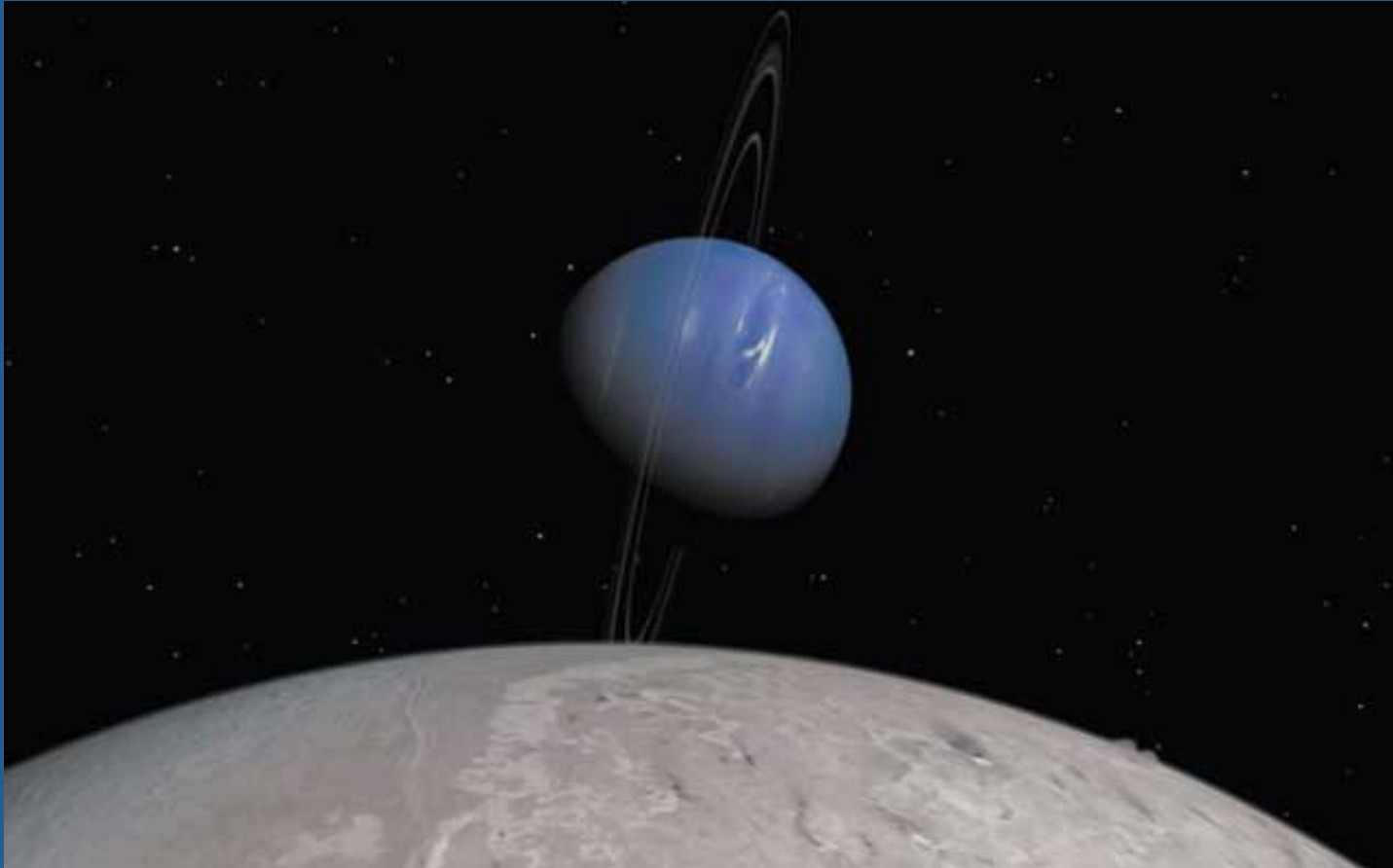
PRC98-35b • ST ScI OPO • October 14, 1998

E. Karkoschka (University of Arizona) and NASA

Neptuno

- Diámetro ecuatorial: 49.530 km
- Masa: 17,204 M_{\oplus}
- Densidad: 1,76 gr/cm³
- Período sideral: 163,87 años
- Período de rotación: 16 h 6 m 32s
- Velocidad de escape: 23,5 km/s
- Temperatura: -218 C

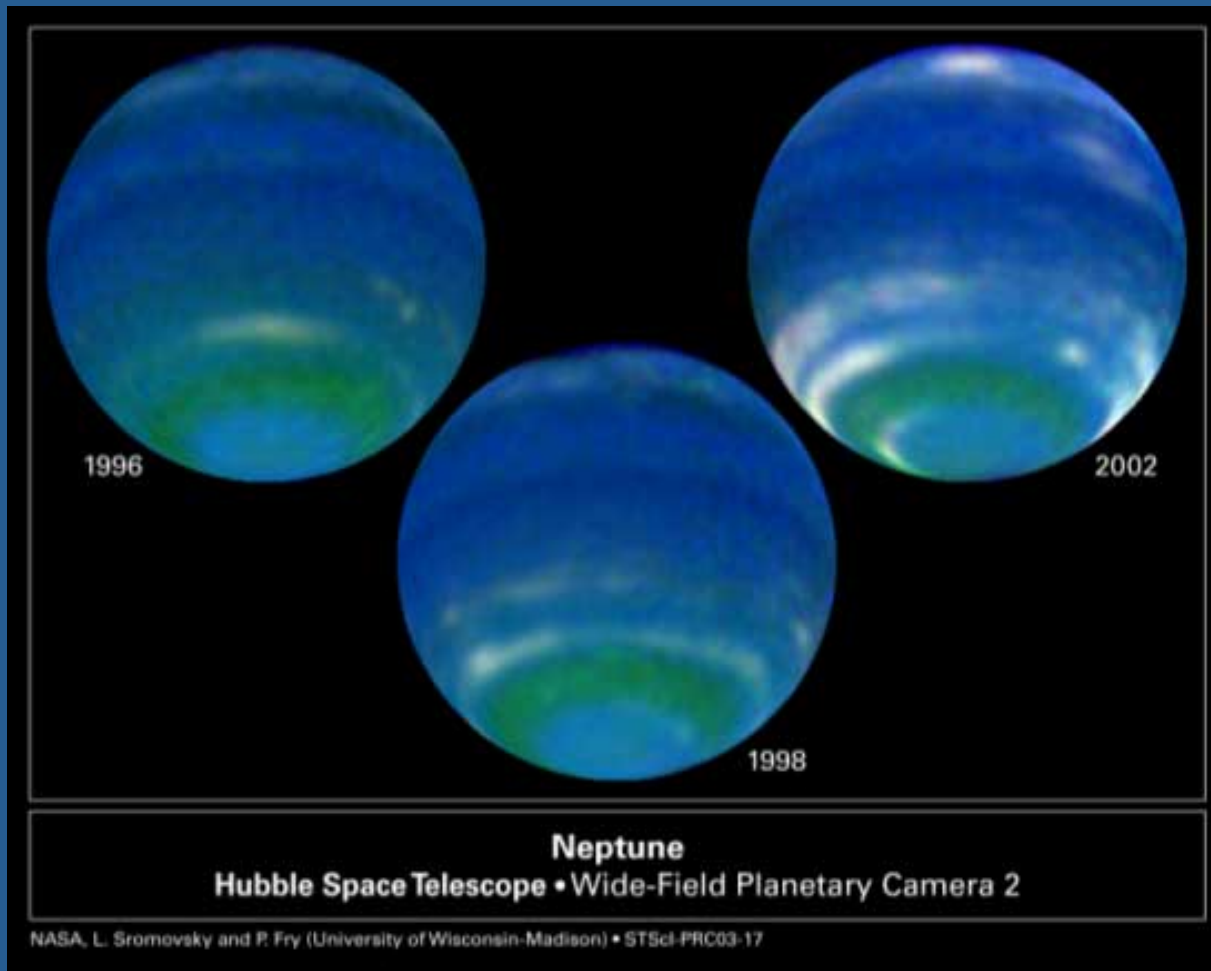
Neptuno



Neptuno



Neptuno



Plutón

- Diámetro ecuatorial: 2.300 km
- Masa: 0,002 M_{\oplus}
- Densidad: 1,1 gr/cm³
- Período sideral: 247,39 años
- Período de rotación: 6 d 9 h 18 m
- Velocidad de escape: 1,3 km/s
- Temperatura: -225 C

Plutón y Caronte



Satélites Planetarios

- Tierra: La Luna
- Júpiter: Io, Europa, Ganímedes, Calixto.
- Saturno: Titán
- Urano:
- Neptuno: Tritón

Satélites Planetarios: los siete grandes

- Mercurio: 4.879 km
- La Luna : 3.475 km 5º
- Io: 3.643 km 4º
- Europa: 3.122 km 6º
- Ganímedes: 5.262 km 2º
- Calixto: 4.820 km 3º
- Titán: 5.550 km 1º
- Tritón: 2.706 km 7º

Satélites Planetarios: los ocho siguientes

- Titania (Urano): 1.578 km
- Rea (Saturno): 1.530 km
- Oberón (Urano): 1.523 km.
- Japeto (Saturno): 1.436 km
- Umbriel (Urano): 1.169 km
- Ariel (Urano): 1.158 km
- Dione (Saturno): 1.120 km
- Tetis (Saturno): 1.060 km

Satélites principales del Sistema Solar







- Titán es el único satélite que posee una atmósfera.
- Tritón (Neptuno) tiene una órbita retrógrada.
- Nereida (Neptuno) posee una gran excentricidad (0,76).
- La Luna es el más grande comparado con su planeta.
- El sistema de satélites de Júpiter es el más importante del sistema solar, con 4 satélites gigantes y 64 en total.

Ley de Titius-Bode

- El alemán **J. Daniel Titius** (1729-1796), encontró una relación numérica que reproduce los semi-ejes mayores de las órbitas planetarias.
- La publicó en 1772 en una nota a pie de página en un libro que tradujo.
- Esta serie pasó inadvertida hasta que **Johan Elert Bode** (1747-1826), la dio a conocer en 1778 y ahora es referida como la “*ley de Titius-Bode*”, o simplemente como *ley de Bode*.

- Partiendo de una sucesión formada por el número 0 y los términos de una progresión geométrica de razón 2 y primer término 3
- **(0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, ...)**,
- si le agregamos 4 a cada término y luego dividimos por 10, resulta la serie:
- **0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10,0 19,6 38,8 ...**
- Esta serie representa muy bien las distancias de los planetas al Sol, desde Mercurio hasta Saturno, empezando en orden desde el primer término, pero omitiendo el quinto.

Planeta	Òley de Ó	Distària Slo
Mercú	0,4	0,39
Venus	0,7	0,72
Tierra	1,0	1,00
Marte	1,6	1,52
????	2,8	
Júpiter	5,2	5,20
Saturne	10,0	9,54
Urano	19,6	19,18

- Cuando en marzo de 1781 el inglés William Herschel descubrió el planeta Urano y su distancia correspondía a la “predicha” por la ley de Bode un grupo de astrónomos empezó a buscar el planeta perdido.
- **Guisepe Piazzi (1746-1826) Guisepe Piazzi (1746-1826)**, descubrió el 1º de Enero de 1801, el asteroide Ceres.
- Ceres resultó ser muy pequeño para ser un planeta; se lo llamó pequeño planeta.

- Otros astrónomos descubrieron Palas, Juno y Vesta.
- Este grupo de cuatro pequeños planetas son los más grandes descubiertos entre las órbitas de Marte y Júpiter.
- Actualmente se conocen más de 100.000 pequeños planetas.
- La inmensa mayoría tiene tamaños de unos pocos kilómetros de diámetro.

- Ceres 1.003 km 1°
- Palas 608 km 2°
- Juno 247 km 13°
- Vesta 538 km 3°

Cometas

- Son cuerpo muy pequeños (10 a 20 km de diámetro).
- Están compuesto por hielos.
- Al acercarse al Sol parte del hielo se sublima y forma una coma de miles de kilómetros.
- La presión de la radiación solar les forma una cola de millones de kilómetros.

Cometa McNaught 2007

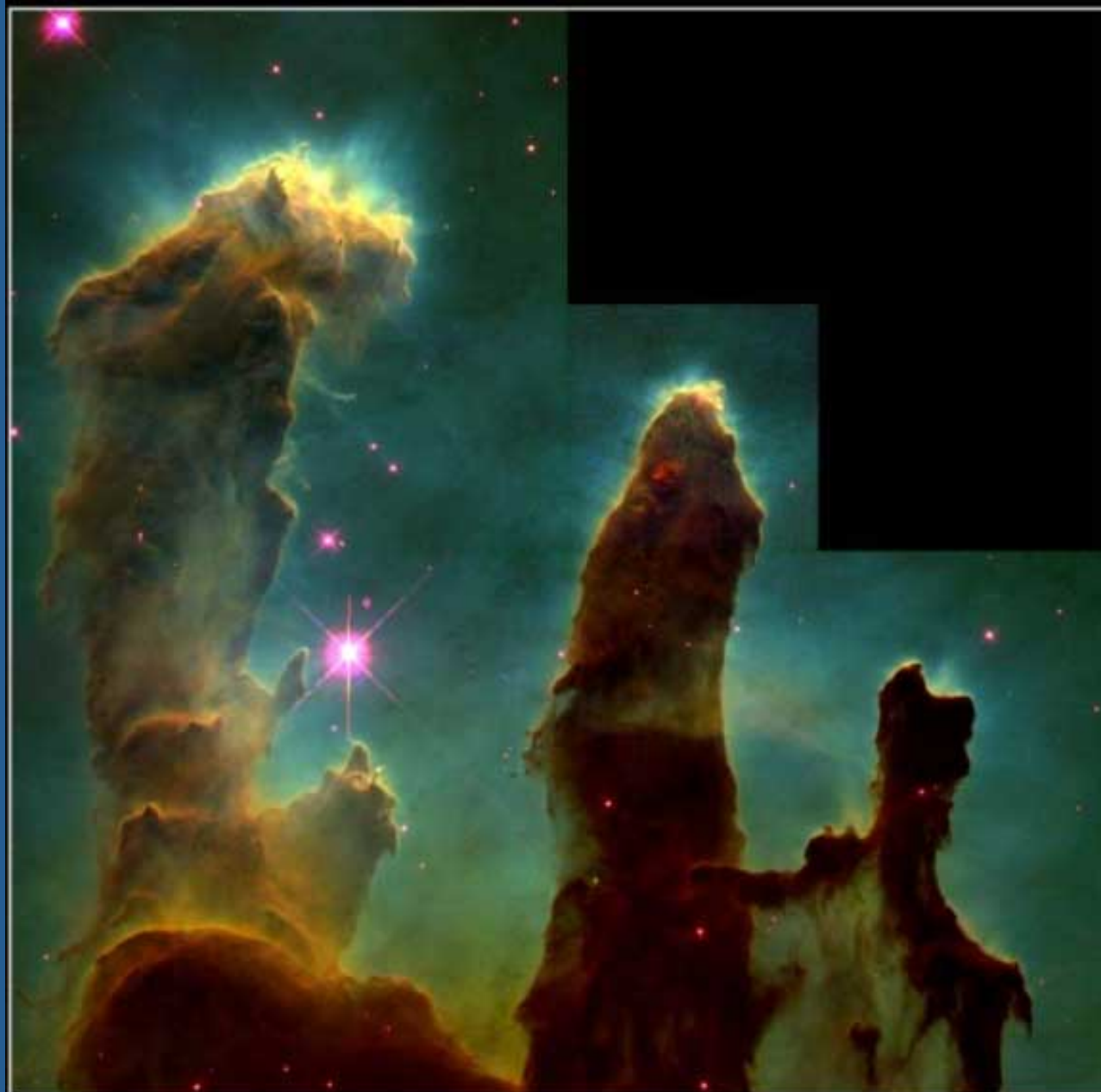


Cometa McNaught 2007 sobre Paranal



Formación del Sistema Solar

- El sol y los planetas se formaron a partir de una nube de gas hace 4.600 millones de años.



Gaseous Pillars · M16

HST · WFPC2

PRC95-44a · ST Sci OPO · November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA



a The original cloud is large and diffuse, and its rotation is imperceptibly slow. The cloud begins to collapse.



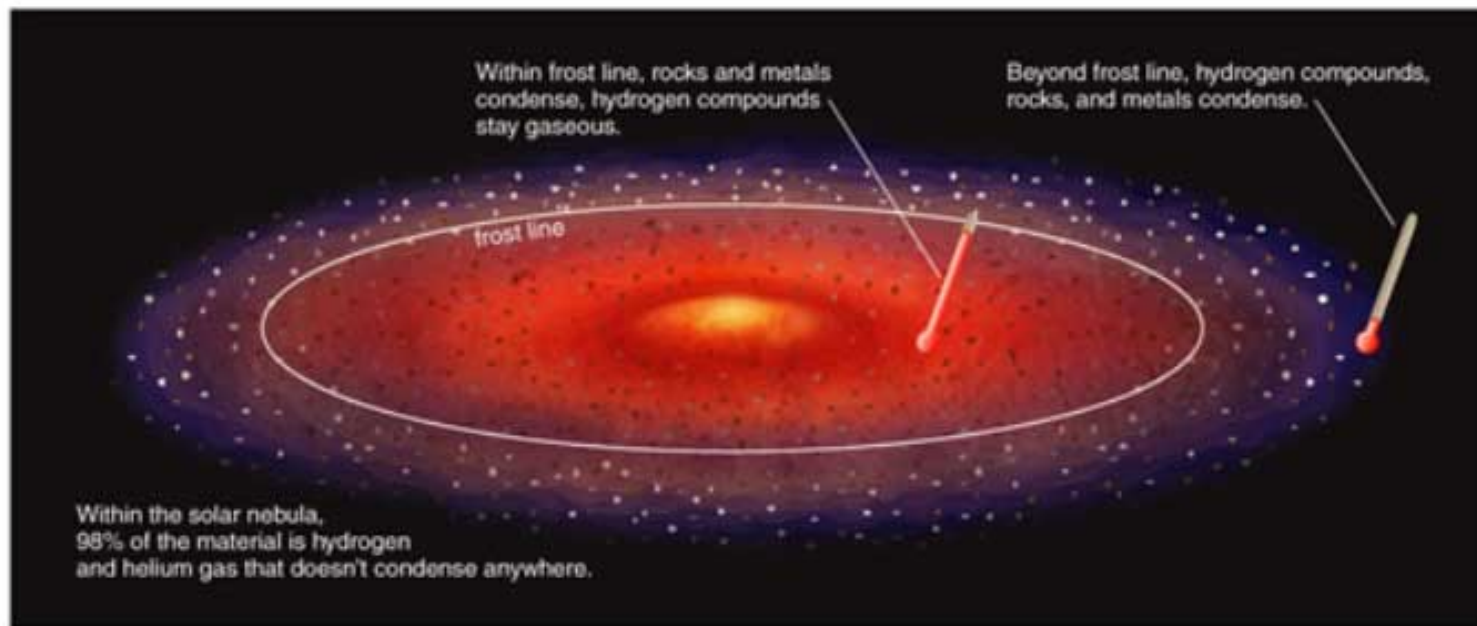
b Because of conservation of energy, the cloud heats up as it collapses. Because of conservation of angular momentum, the cloud spins faster as it contracts.



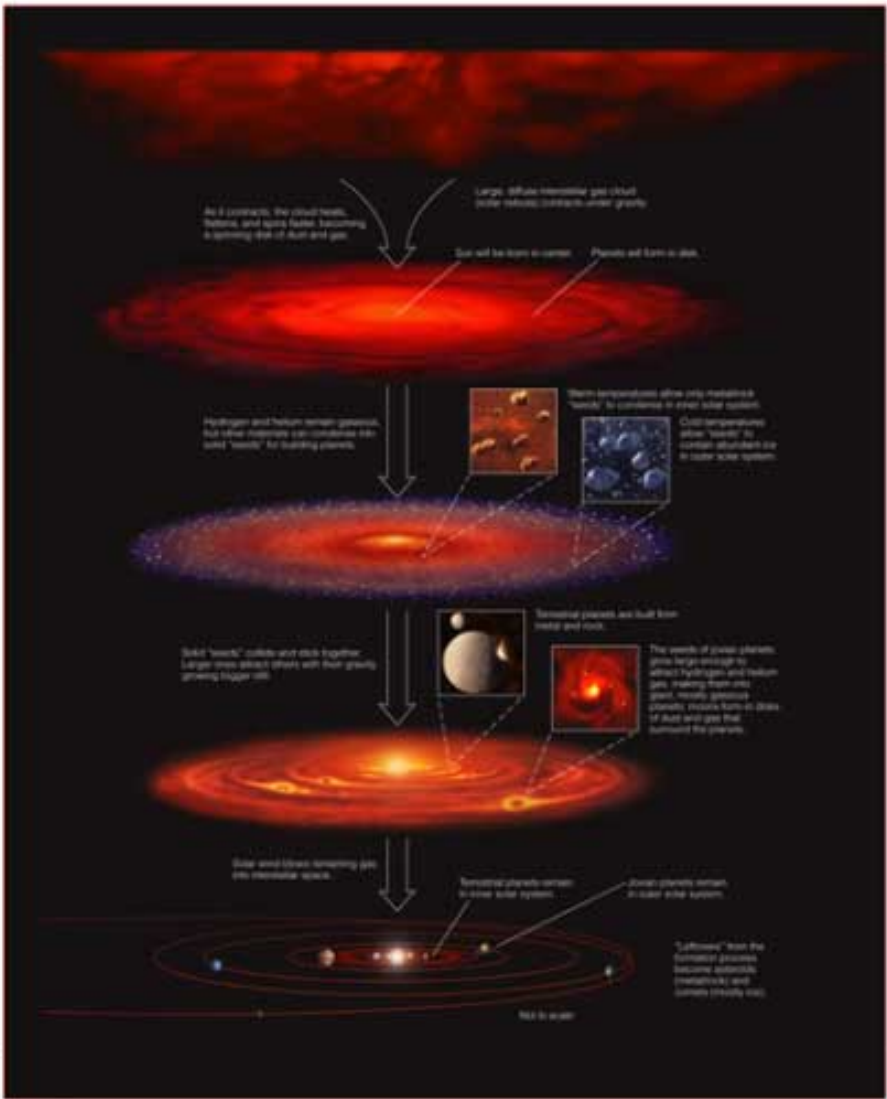
c Collisions between particles flatten the cloud into a disk.

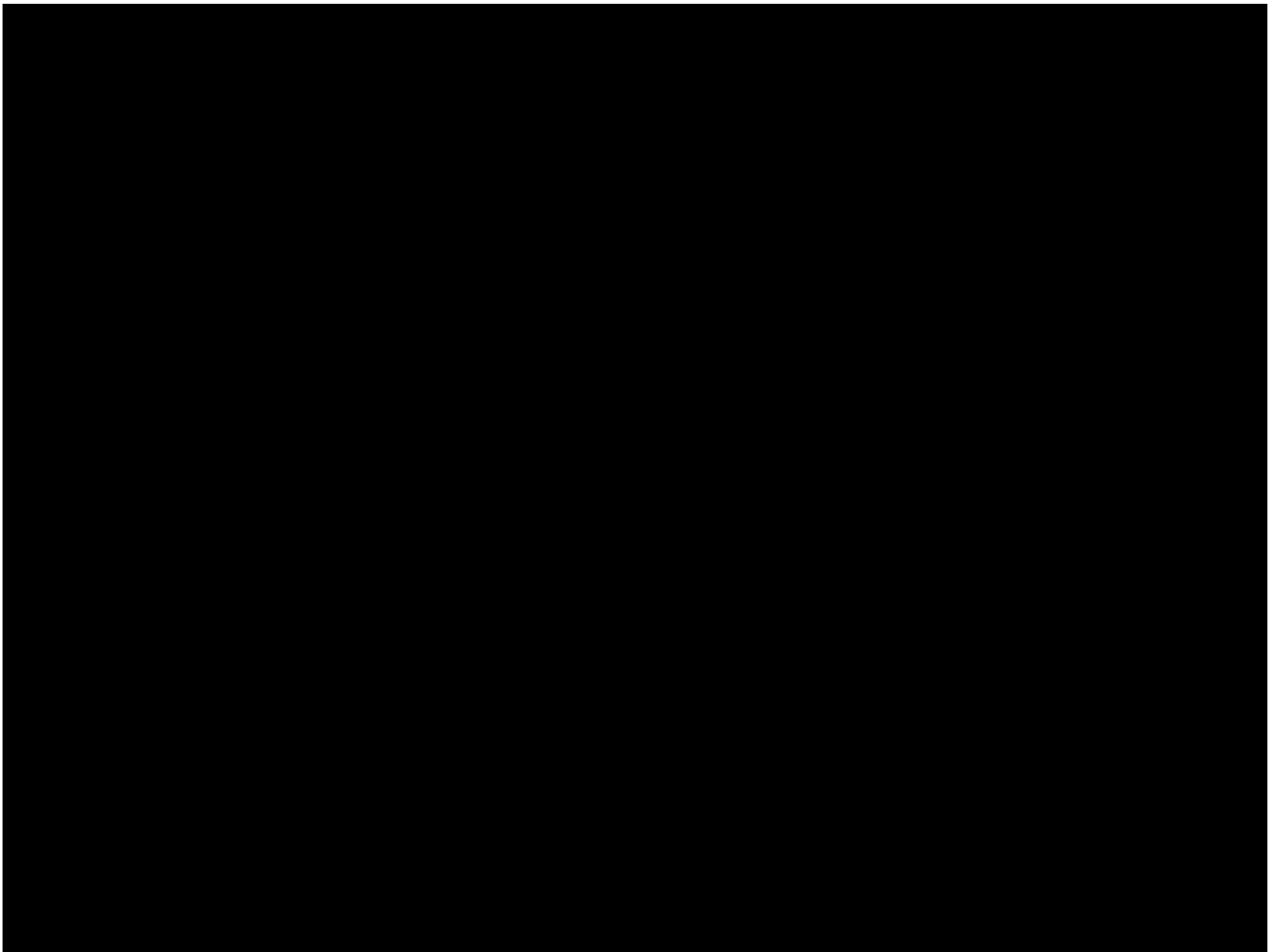


d The result is a spinning, flattened disk, with mass concentrated near the center and the temperature highest near the center.









FIN