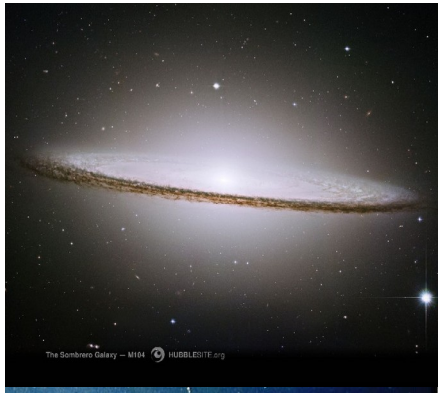
Universidade Federal do ABC

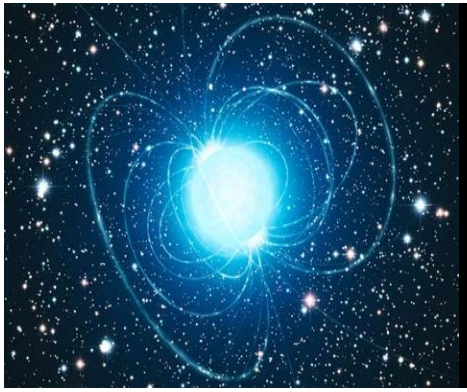
Noções de Astronomia e Cosmologia

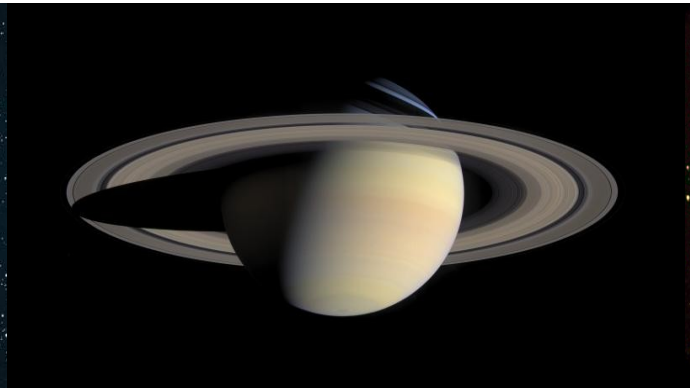


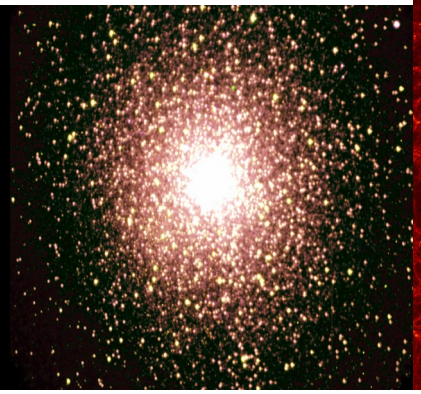
4. O Sistema Solar: Os Planetas.

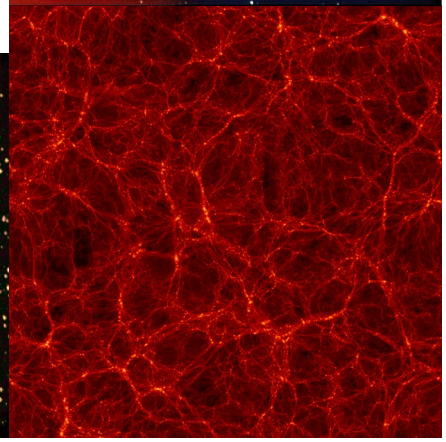
Prof. Pieter Westera
pieter.westera@ufabc.edu.br

http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Astro.html









O Sistema Solar

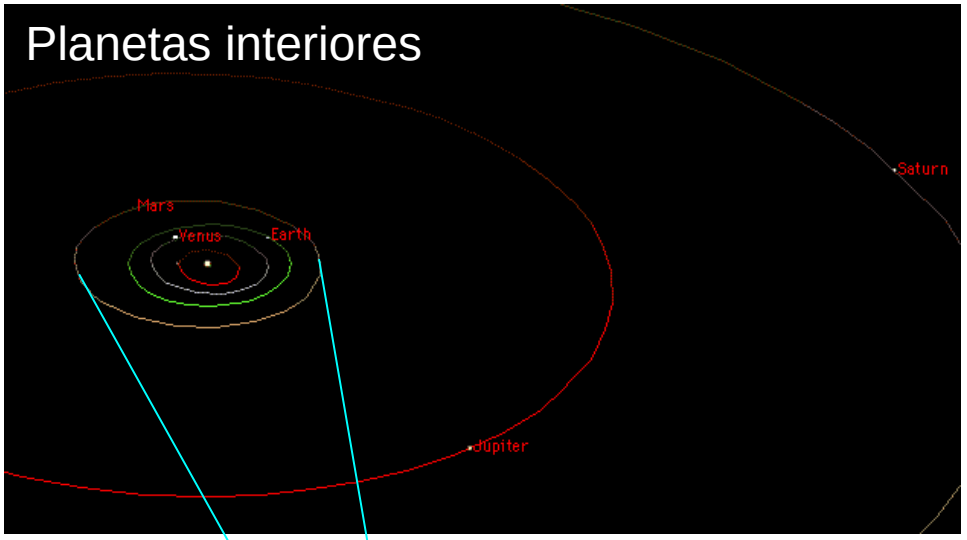
O Sistema Solar

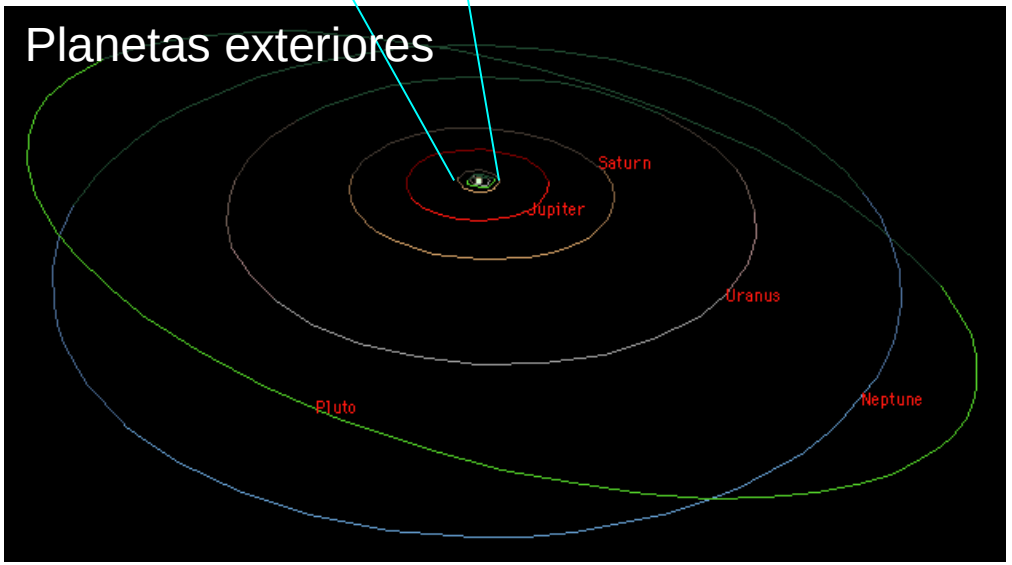
Consiste do Sol: estrela, ~99.85 % da massa do Sistema Solar (SS),

dos planetas
- interiores: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte
- exteriores: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno

e suas luas e anéis,

de outros corpos: asteróides, objetos trans-netunianos, cometas

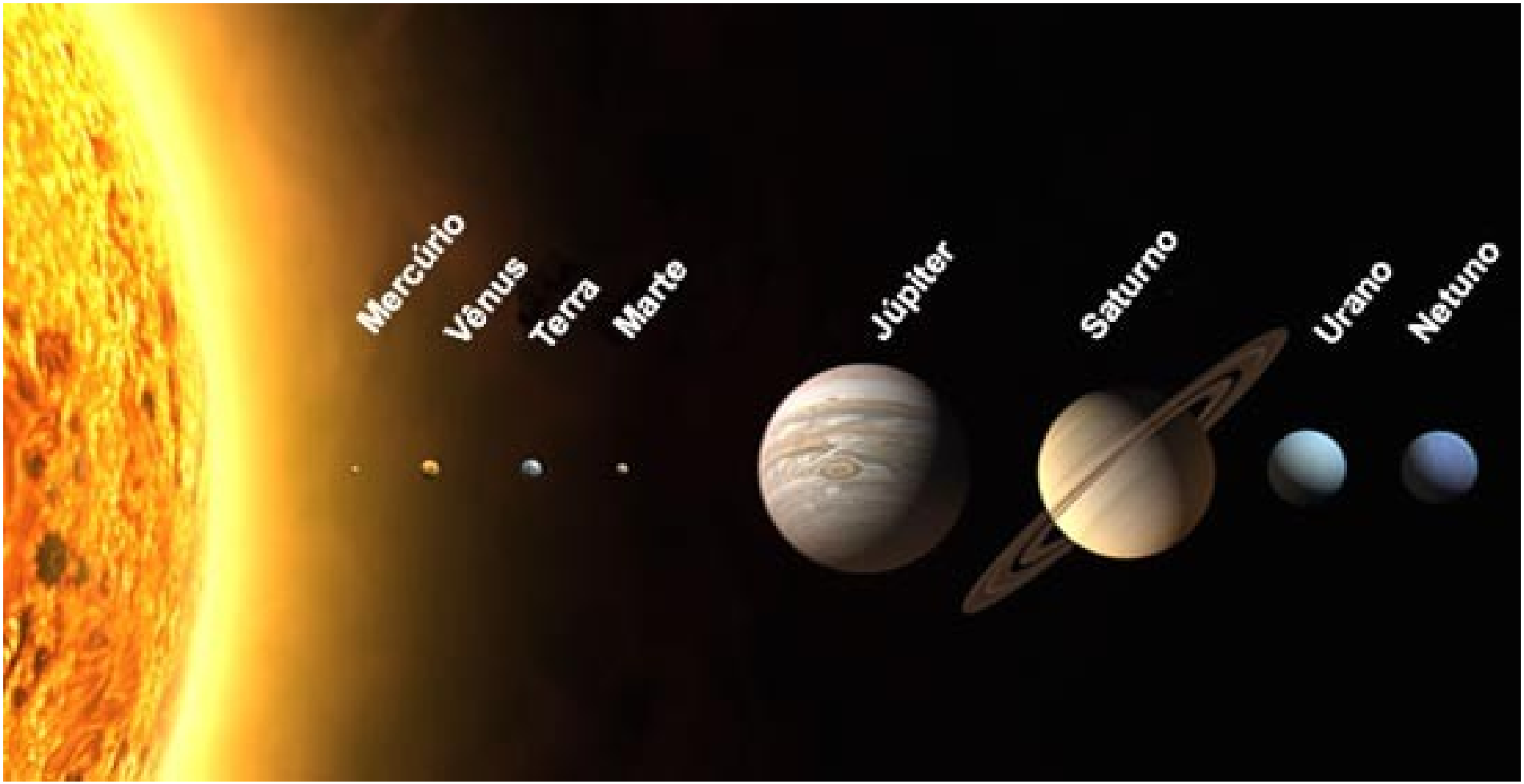




e um montão de espaço vazio (até uns 122 AU do Sol)

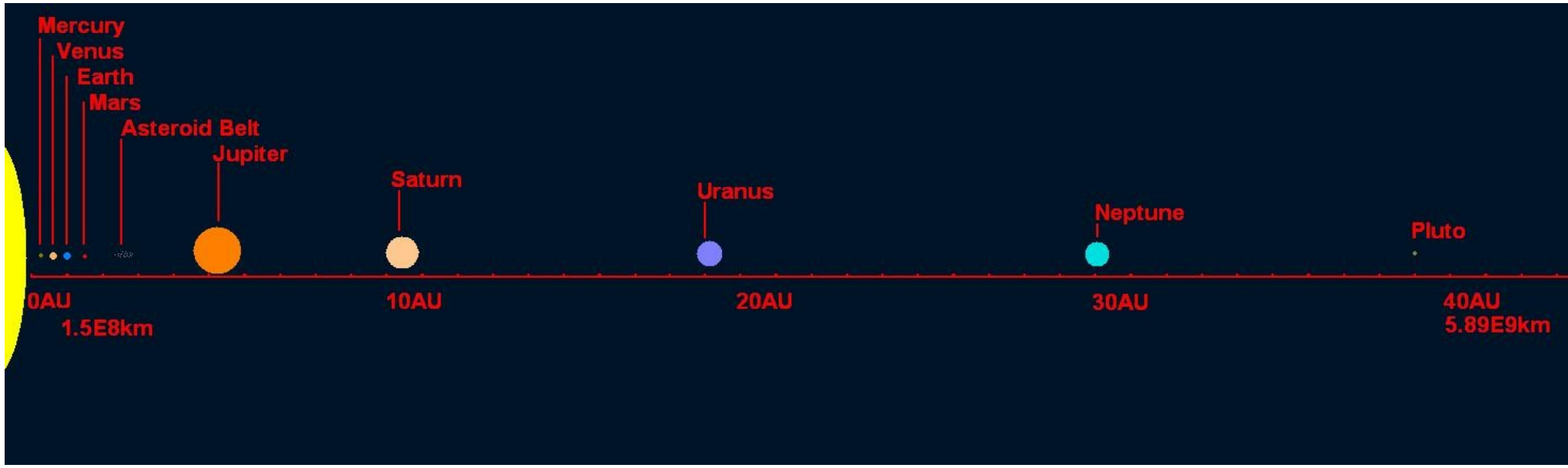
O Sistema Solar

Pra se ter uma ideia dos tamanhos do Sol e dos planetas:



O Sistema Solar

Pra se ter uma ideia das distâncias:



A 122 AU do Sol encontra-se a heliopausa, onde o vento solar é parado pelo meio interestelar e é considerado o limite do Sistema Solar.

Os Planetas do Sistema Solar

Planetas interiores, ou terrestres, ou telúricos:
- dentro de 2 AU do Sol
- massas baixas ($\leq M_{\oplus}$)
- "pequenos" (≤ tamanho da Terra)
- na maior parte material rochoso, contendo ferro, oxigênio, silício, magnésio, alumínio, níquel, e enxofre
- densidades altas (4000 a 5500 kg/m³)
- temperaturas altas: 215-733 K
- fonte da energia interna: Decaimento lento de isótopos radioatívos
- atividade sísmica / vulcânica (atual ou no passado)
- possuem poucos satélites naturais (luas) ou nenhum
- sem anéis
- rotação lenta
- campos magnéticos fracos ou ausentes

Os Planetas do Sistema Solar

Planetas exteriores, ou jovianos ou gigantes gasosos/gelosos:
- a mais de 5 AU do Sol
- massas altas (> 14 $M_\oplus$, todos juntos: 99.5 % da massa dos planetas)
- grandes (diâmetros 4 a 11 vezes o da Terra)
- na maior parte elementos leves como hidrogênio e hélio,
  e um pouco de carbono, oxigênio, nitrogênio, e enxofre
- densidades baixas (700 a 1700 kg/m³)
- temperaturas baixas: 70-165 K
- fonte da energia interna: Energia potencial gravitacional,
  contração e He descendo pela atmosfera (=> teorema do virial:
  Metade da energia potencial ganha esquenta o planeta,
  a outra metade é irradiada para fora no infravermelho)
- sem atividade sísmica / vulcânica (atual ou no passado)
- muitos satélites naturais
- com anéis
- rotação rápida
- campos magnéticos fortes ($B_♃$ ~ 19 000 $B_\oplus$)

Como calcular a temperatura dum planeta?

- Chamando temperatura e raio do Sol de $T_\odot$ (= 5777 K) e $R_\odot$ (= $6.96 \cdot 10^5$ km), os do planeta de T_p e R_p, e a distância Sol-planeta, de D, e supondo equilíbrio térmico (A energia recebida da estrela é igual à energia irradiada para o espaço):

Potência recebida: $P_{in} = \underbrace{\pi R_p^2}_{\text{seção transversal que o planeta apresenta á radiação da estrela}} \cdot F_D = \pi R_p^2 \cdot L_\odot / 4\pi D^2$

Fluxo da radiação da estrela na distância D

Luminosidade do Sol

Lei de Stefan-Boltzmann, $L/A = \sigma T^4$

$$= \pi R_p^2 \cdot \underbrace{\sigma 4\pi R_\odot^2}_{\text{Superfície do Sol}} T_\odot^4 / 4\pi D^2 = \pi R_p^2 \cdot \sigma R_\odot^2 T_\odot^4 / D^2$$

Potência irradiada para fora (de novo usando a Lei de Stefan-Boltzmann): $P_{out} = \sigma 4\pi R_p^2 T_p^4$

Como calcular a temperatura dum planeta?

$P_{in} = \pi R_p^2 \cdot \sigma R_\odot^2 T_\odot^4 / D^2$, $P_{out} = \sigma 4\pi R_p^2 T_p^4$

igualando P_{in} e P_{out} e explicitando T_p:

$T_p = (\frac{1}{4} \cdot (R_\odot^2/D^2))^{1/4} \cdot T_\odot = \sqrt{(R_\odot/2D)} \cdot T_\odot$

Ainda dá para levar em conta que uma fração da luz recebida, o albedo a, não é absorvida, mas refletida sem esquentar o planeta (substituir P_{in} por $(1-a) \cdot P_{in}$):

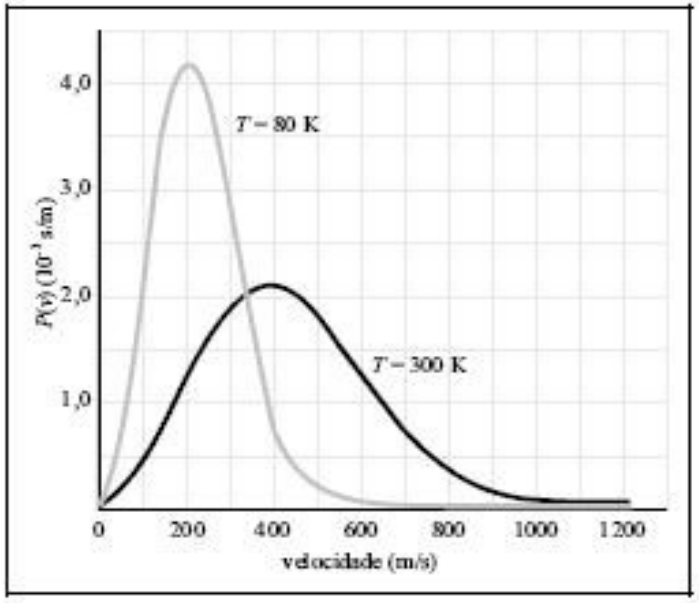
$T_p = (\frac{1}{4} \cdot (1-a) \cdot (R_\odot^2/D^2))^{1/4} \cdot T_\odot = (1-a)^{1/4} \cdot \sqrt{(R_\odot/2D)} \cdot T_\odot$

Distribuição de Maxwell-Boltzmann

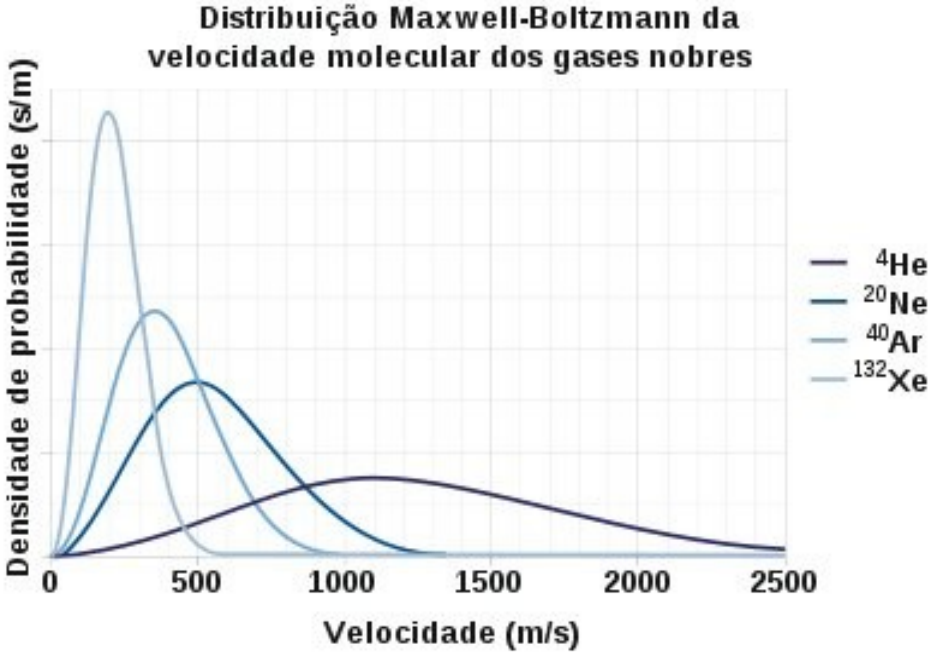
Fenômenos Térmicos:
Distribuição de velocidades *v*
de partículas de massa *m*
num gás de temperatura *T*:

$$f(v) = \sqrt{\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^3} 4\pi v^2 \exp\left(\frac{-mv^2}{2kT}\right)$$

onde $k = k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K = constante de Boltzmann



variando *T*



variando *m*

Distribuição de Maxwell-Boltzmann

Velocidade mais provável (bom exercício para em casa):

$$v_{mp} = \sqrt{2k_B T/m}$$

Velocidade média: $v_{méd} = \sqrt{8k_B T/\pi m}$

Velocidade média quadrática: $v_{rms} = \sqrt{3k_B T/m}$

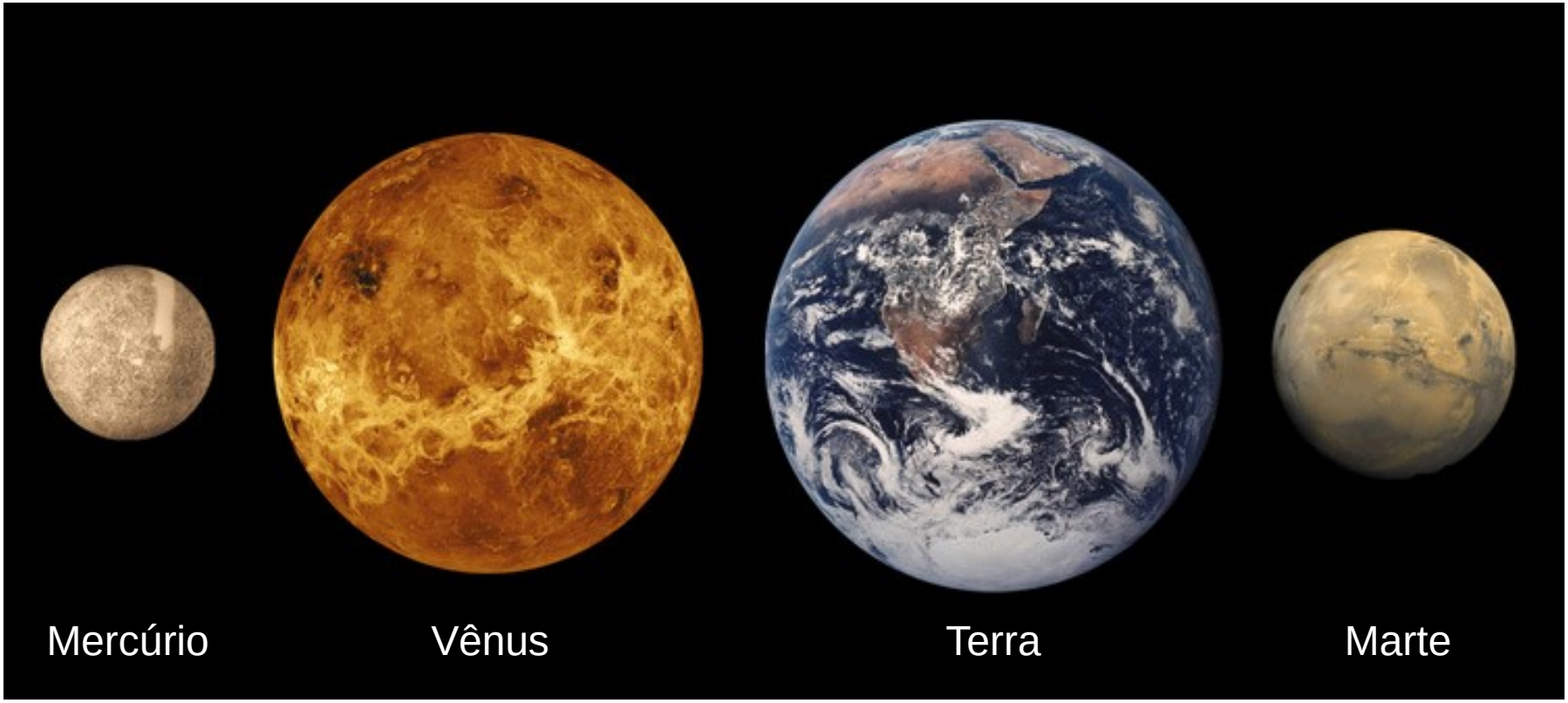
Estimativa para um planeta de massa M_p e raio R_p ter perdido dado componente atmosférico até hoje:

$$v_{rms} > 1/6 \cdot v_{esc} \quad \Rightarrow \quad T_{esc} = 1/54 \cdot GM_p m/k_B R_p$$

Em consequência, os elementos que compôem os gases mais leves (principalmente H e He) são subrepresentados nas atmosferas dos planetas de menor massa e maior temperatura (os interiores).

Planetas Interiores

Ou Terrestres ou Telúricos



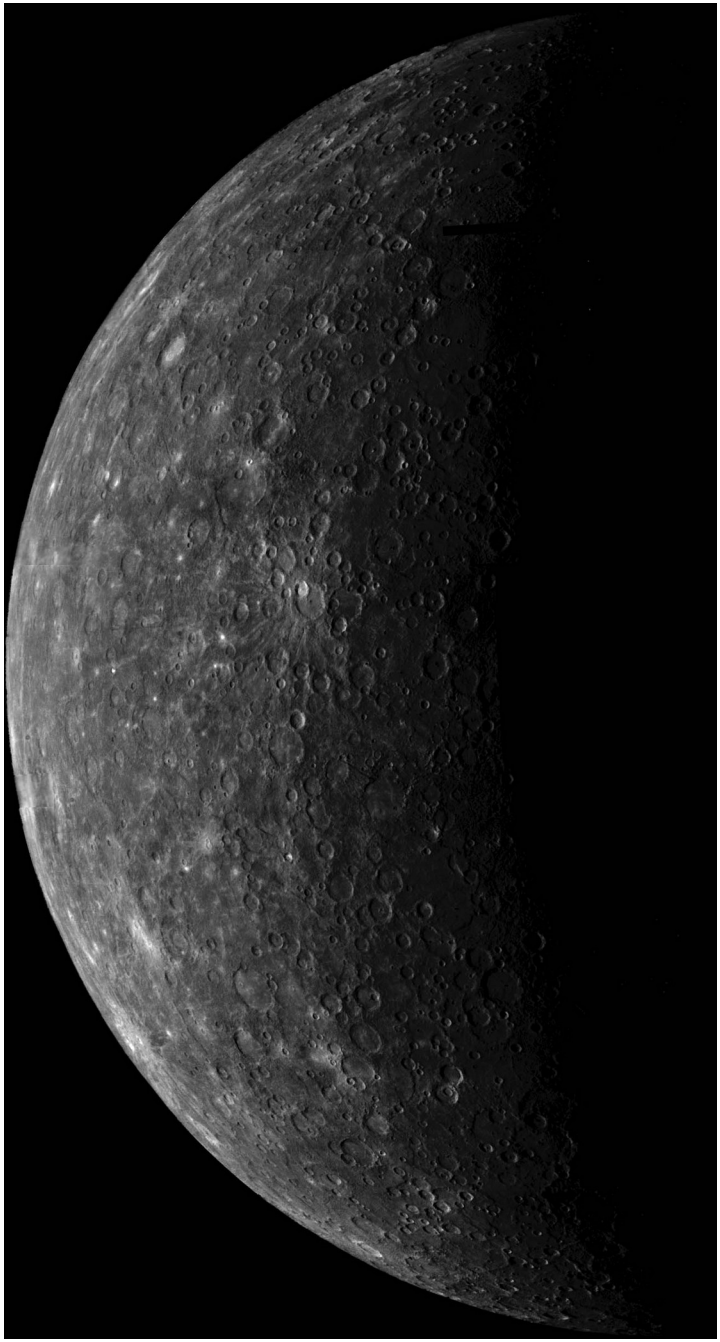
Mercúrio

Símbolo: ☿
Na mitologia grega o deus do comércio,
das viagens e do roubo

Planeta mais próximo do Sol (0.39 AU)

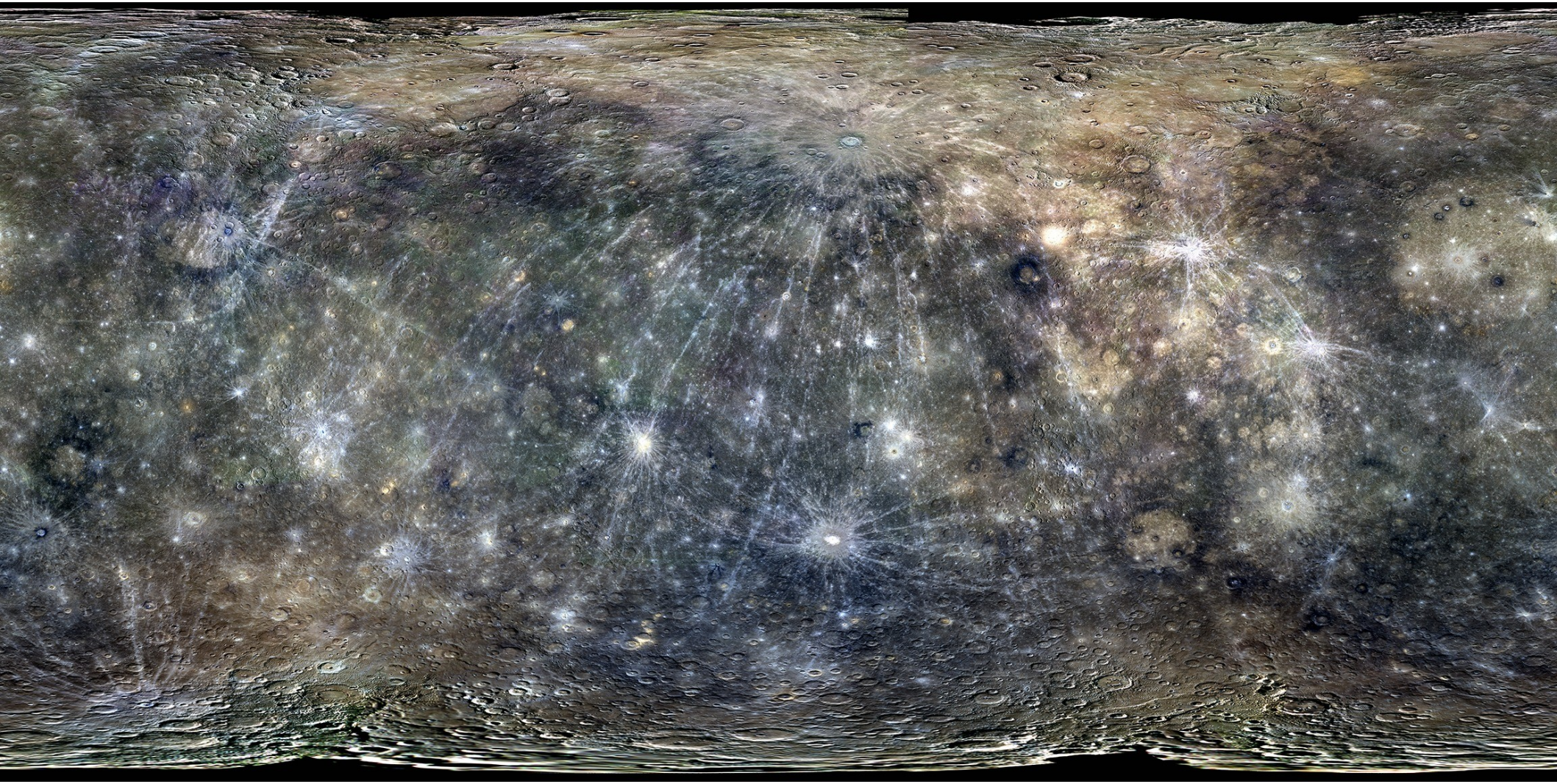
Menor planeta do Sistema Solar
(0.055 $M_\oplus$, 0.38 $R_\oplus$)
Vulcanismo no passado,
mas inativo há muito tempo
=> Numerosas crateras de impacto
de asteróides, etc.,
superfície “lunar” (mas sem os “mares”)

Núcleo denso, rico em níquel e ferro,
que ocupa ~65% da massa do planeta,
tal que $\rho_☿$ = 5427 kg/m³ = 1.6 $\rho_☽$



Talvez perdeu boa parte de um possível manto numa colisão

Mercúrio



Mapa do planeta

Mercúrio

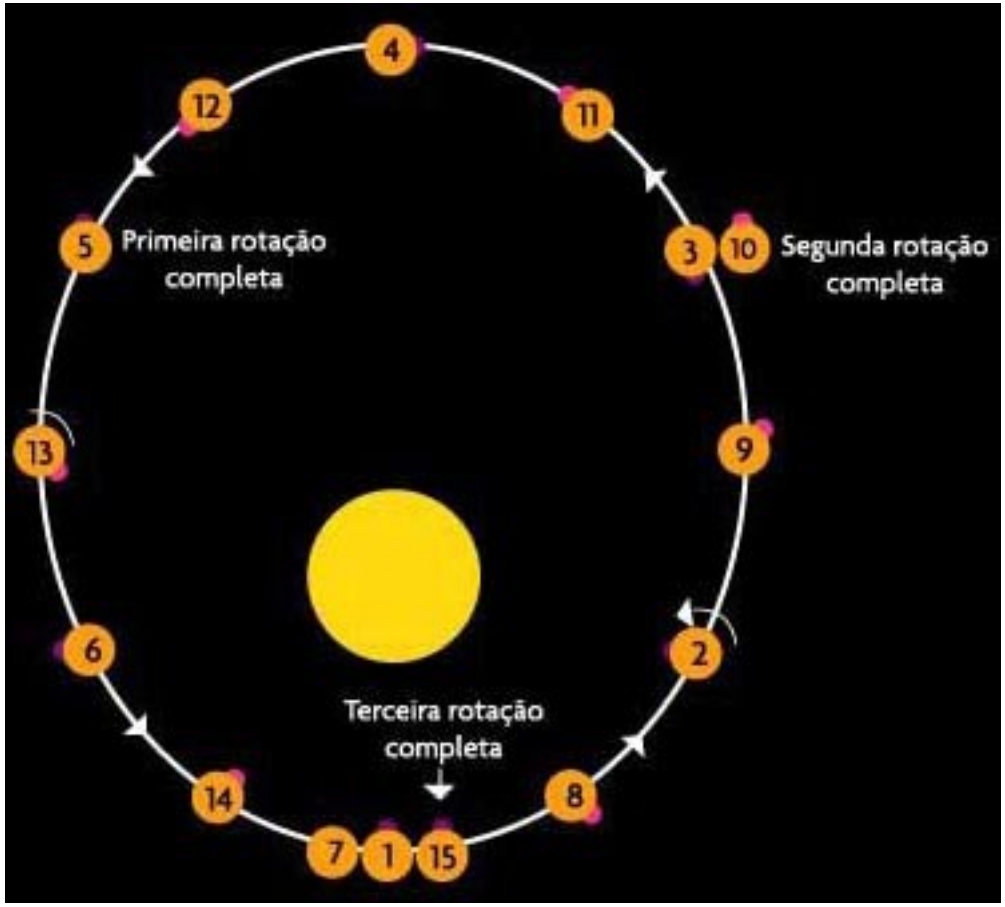
O cálculo da temperatura de Mercúrio (supondo albedo zero) dá 448 K = 174 °C
usando o albedo de 0.068
dá 440 K = 167 °C

Segundo a nossa estimitiva, todos os componentes atmosféricos de Mercúrio foram perdidos
há um bom tempo.

Mesmo assim, Mercúrio tem uma atmosfera. muito tênue (pressão ~10^{-14} $P_{\oplus}$), na maior parte H e He, provavelmente partículas do vento solar capturadas pelo campo magnético.

Mercúrio

Rotação (dia sideral) de 58.6 dias terrestres (d) e Revolução (ano sideral) de 87.9 dias em ressonância 2:3
=> Dia mercuriano:
$(1/58.5 - 1/87.9)^{-1}$ d
= 175.8 d terrestres, maior que o ano mercuriano!
https://www.youtube.com/watch?v=AUde7LFOlPs

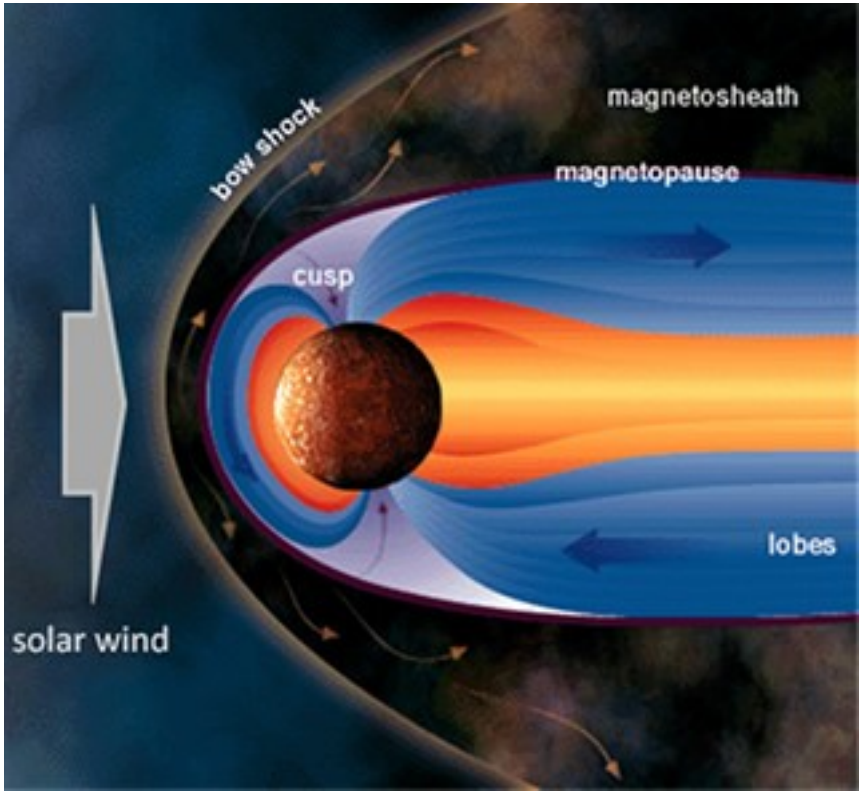


Juntando a isso a (quase) falta de atmosfera, Mercúrio tem variações de temperatura enormes:
dia: ~430 °C, noite: ~-170 °C

- Ainda há gelo em crateras não iluminadas nos polos!

Mercúrio

Mercúrio tem um campo manético fraco, da ordem de um centésimo do da Terra, que não é bem entendido: Já que o núcleo deve ter se solidificado faz um tempo, e a rotação do planeta é lenta, o campo não pode ser devido a um efeito dínamo (efeito responsável pelos campos da Terra, dos planetas jovianos e do Sol => mais pra frente).



Campo “congelado” sobrando do passado, quando Mercúrio tinha um núcleo líquido e girava mais rápidamente?

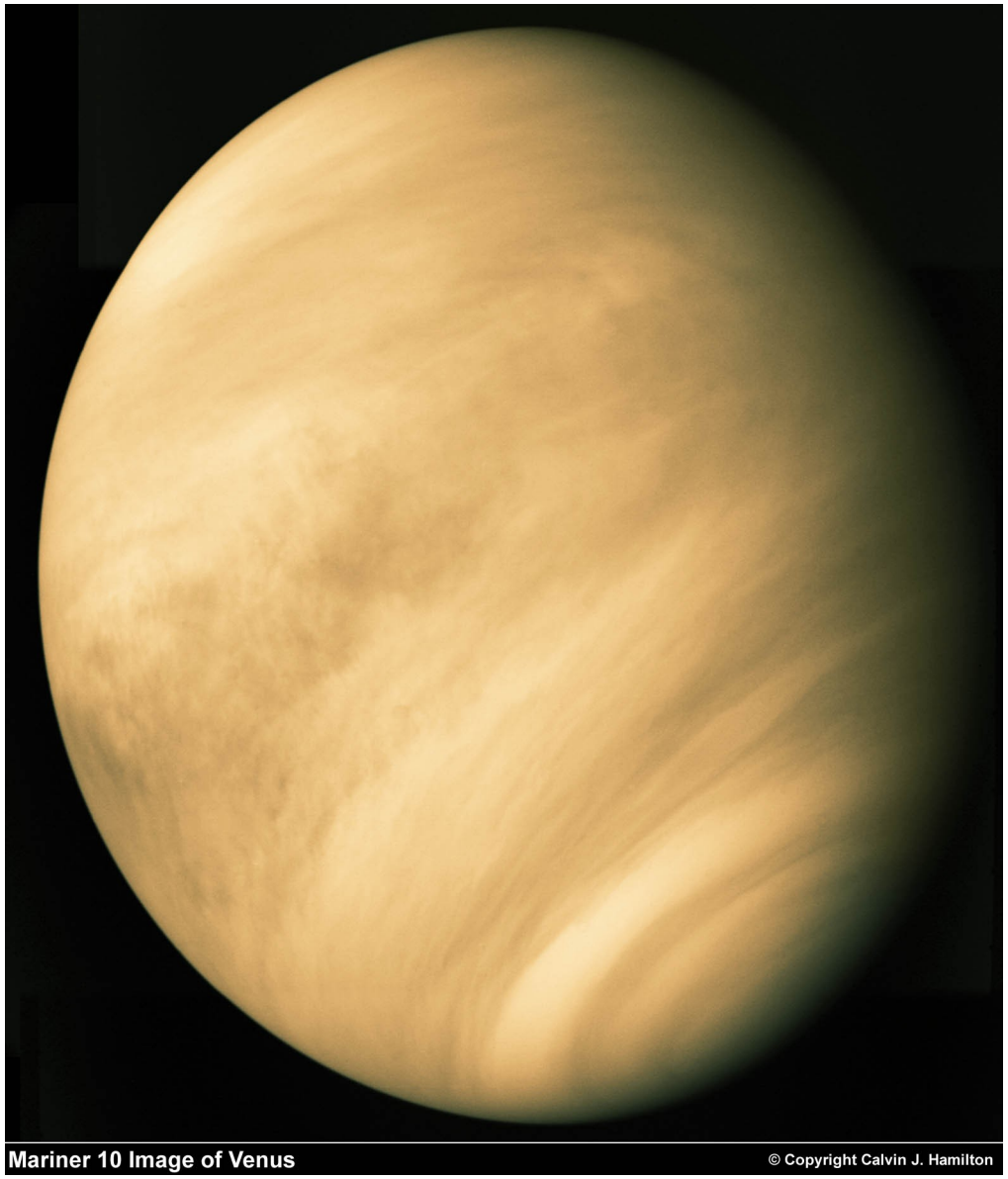
Vênus

Símbolo ♀
Estrela d'Alva / da noite
Deusa grega do amor e da beleza, “Irmã” da Terra

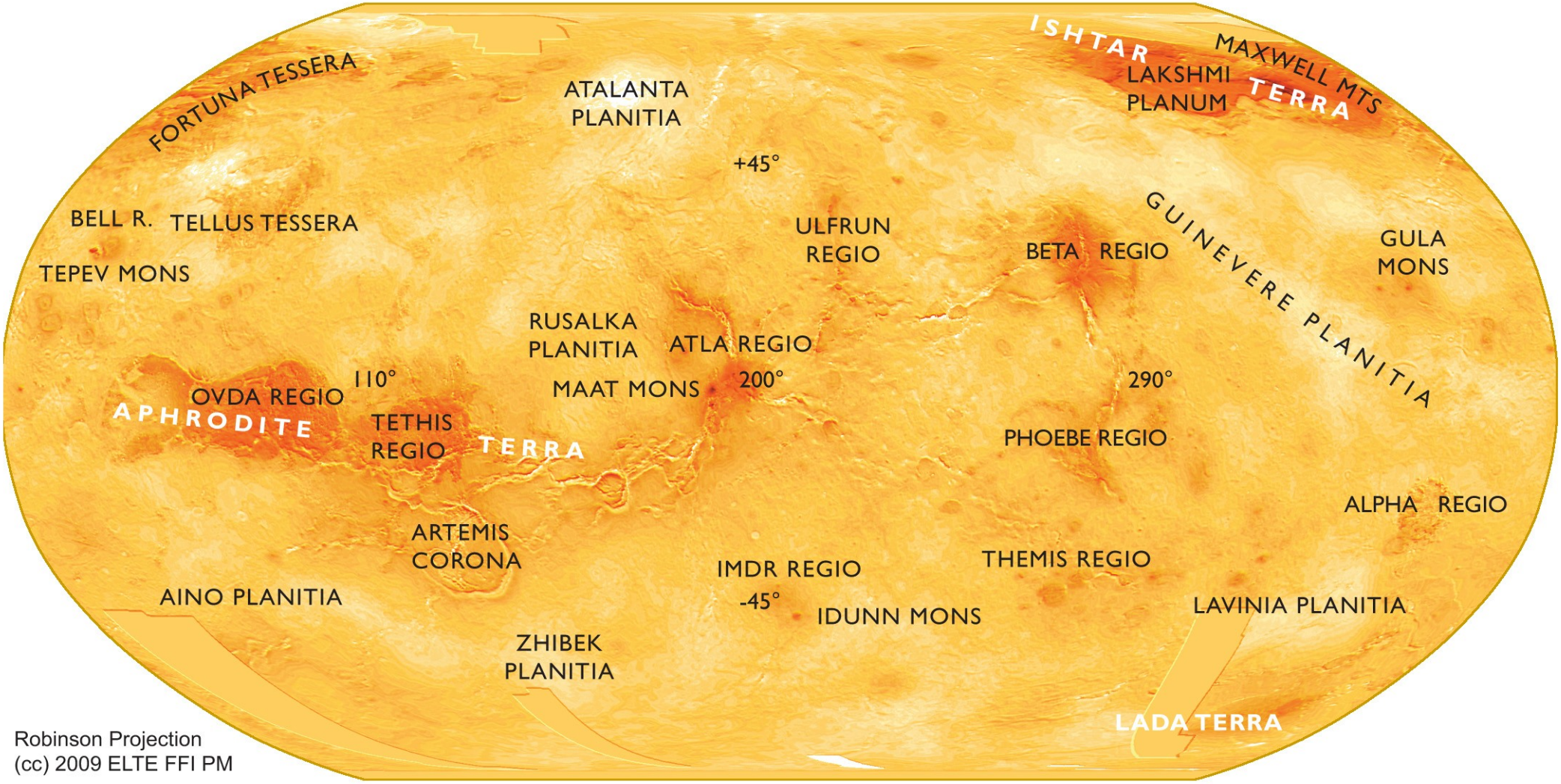
3º objeto mais brilhante do céu (após Sol e Lua)

2º planeta do Sol, 0.72 AU

Vênus em uma noite de boa visibilidade



Vênus

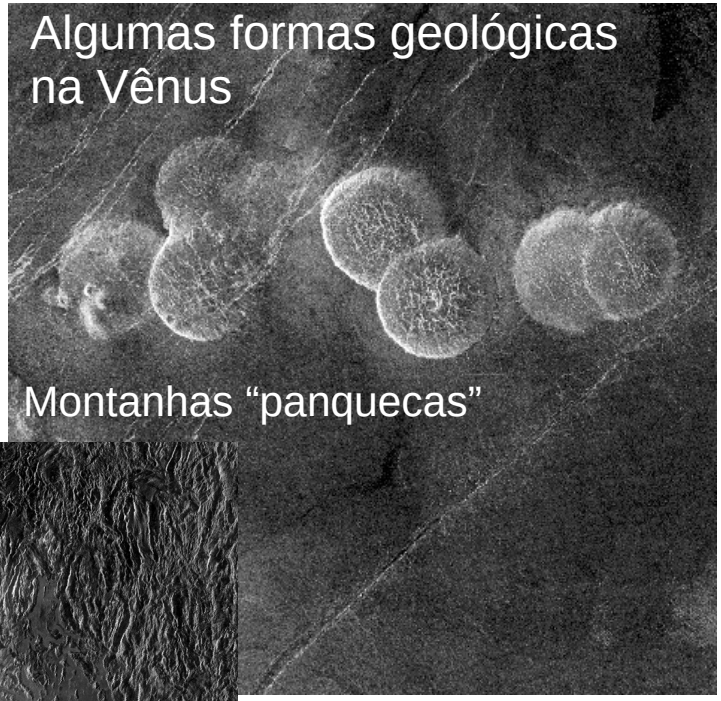


Mapa da superfície (obtido no rádio) com os “continentes” Afrodite e Ishtar

Vênus

Geologicamente ativo,
Vulcanismo domina a superfície
=> poucas crateras de impacto

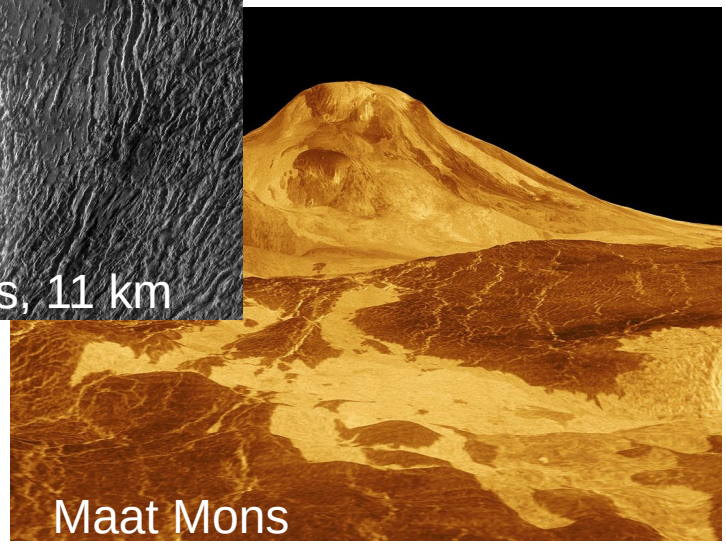
Imagem da superfície obtida por radar



Algumas formas geológicas na Vênus

Montanhas “panquecas”

Maxwell Montes, 11 km



Maat Mons

Vênus

Várias propriedades da Vênus são da mesma ordem que as da Terra: raio = $0.95 \cdot R_{\oplus}$, massa = $0.82 \cdot M_{\oplus}$,

$R_{\text{órbita}} = 0.72 \cdot R_{\text{órbita},\oplus}$ (2º planeta do Sol).

Será que a Vênus é um lugar aconchegante?

Nosso cálculo da temperatura dá 327 K = 54 °C
Quase agradável.

Mas Vênus tem nuvens densos, que refletem quase toda a luz incidente => albedo de 0.8 a 0.9
Assim, o cálculo da temperatura dá:
184 K a 219 K = -89 °C a -54 °C
Um pouco frio.

Vênus

Porém, o nosso cálculo não levou em conta o efeito estufa, que é muito forte na Vênus:

CALOR RETIDO

No efeito estufa, o calor irradiado pela superfície de um planeta (mostrado pela seta vermelha) é retido por sua atmosfera, como o calor retido dentro de uma estufa de plantas.

Atmosfera muito densa (pressão 90 vezes a na Terra) e corrosiva, composta essencialmente por CO_2, algum N_2 e uma pequena quantidade de água que permitem a formação de ácidos como o HCl e o H_2SO_4.

Estas nuvens densas retêm o calor
=> efeito estufa forte
=> ~480 °C. Afinal não tão frio assim.

Vênus

Teoria mais provável, como se deu este efeito estufa forte:

- Inicialmente a Vênus ainda não tinha o albedo de hoje, e tinha composição similar à da Terra, incl. oceanos de água quente naqueles o CO_2 da atmosfera estava dissolvido. Na Terra, isto ainda é o caso, e parte foi incorporada em rochas calcárias.
- Parte da água evaporou, quando a temperatura do Sol aumentou (=> evolução do Sol) e o planeta foi bombardeado por planetesimais (=> próxima aula), o que esquentou a Vênus.
- Este vapor causou um efeito estufa, aquecendo Vênus mais, evaporando mais água, etc. => reação em cadeia
  => efeito estufa descontrolado, chegando a 1800 °C

Nesta temperatura, todas as moléculas leves da atmosfera alcançaram a velocidade de escape, inclusive as da própria água, disocciadas pela radiação UV do Sol ($H_2O + \gamma \rightarrow H + OH$).

Só CO_2 ficou e está causando o efeito estufa atual.

Vênus

Outras chatices na Vênus:

- sempre escuro por causa das nuvens densas

- a já mencionada pressão de 9.2 MPa

- brumas de ácido sulfúrico

=> Não muito aconchegante.

Curiosidades:

- Vênus tem rotação retrógrada, de período de 243 dias terrestres. A causa não é muito clara. Acredita-se que aconteceu cedo na formação do planeta por influença dos outros planetas.

- Sem campo magnético => partículas do vento solar podem chegar na atmosfera superior, ionizando e causando ondas de choque.

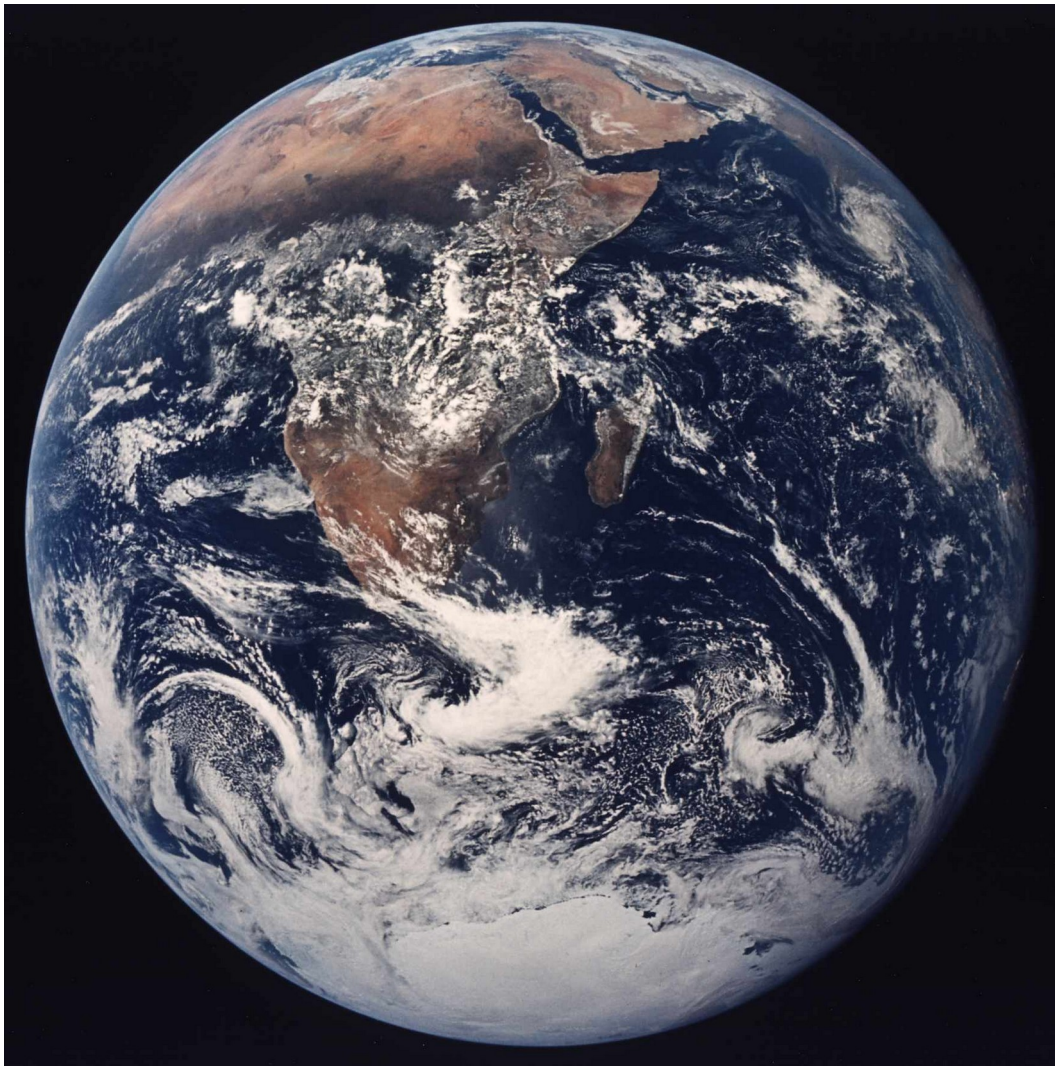
Terra

Símbolo ⊕ ou ♁

3º planeta do Sol
a 150 milhões km do Sol
Massa $5.97 \cdot 10^{24}$ kg,
Raio 6378 km:
Maior planeta terrestre

Geologicamente ativo
Com intensa atividade vulcânica e sísmica
=> poucas crateras de impacto

Ondas sísmicas ajudam estudar o interior.



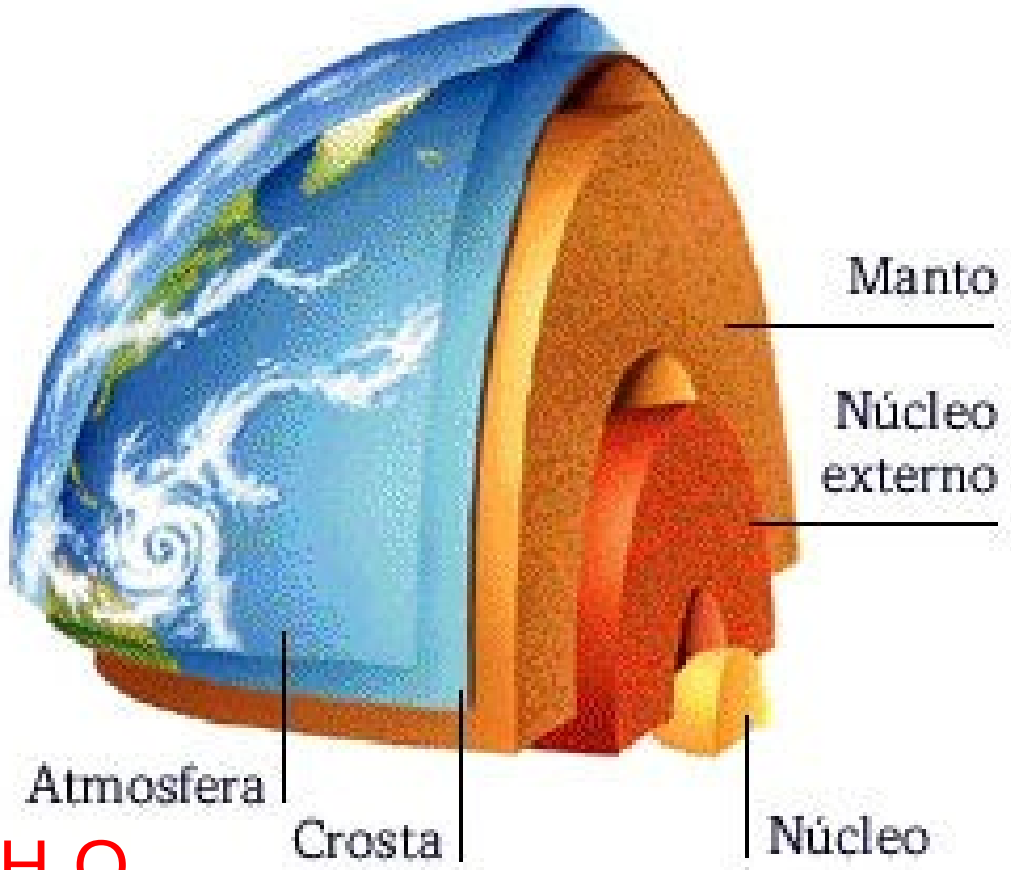
Terra

As fontes de calor interior são, além da
- Radioatividade já mencionada,
- Calor residual do processo de formação,
- Dissipação de energia rotacional por forças de maré, e
- Liberação de energia potencial gravitacional quando materiais pesados "afundam" em direção ao interior, similar ao que acontece com o He no interior dos planetas jovianos.

Terra

Composição:

- Núcleo interno de Fe e um pouco de Ni, ...
- Núcleo externo de Fe líquido
- Manto de O, Si, Mg, ...
- Crosta de O, Si, Al, …
- Atmosfera de N_2 (77 %), O_2 (21 %), Ar (1 %), CO_2, H_2O, ...

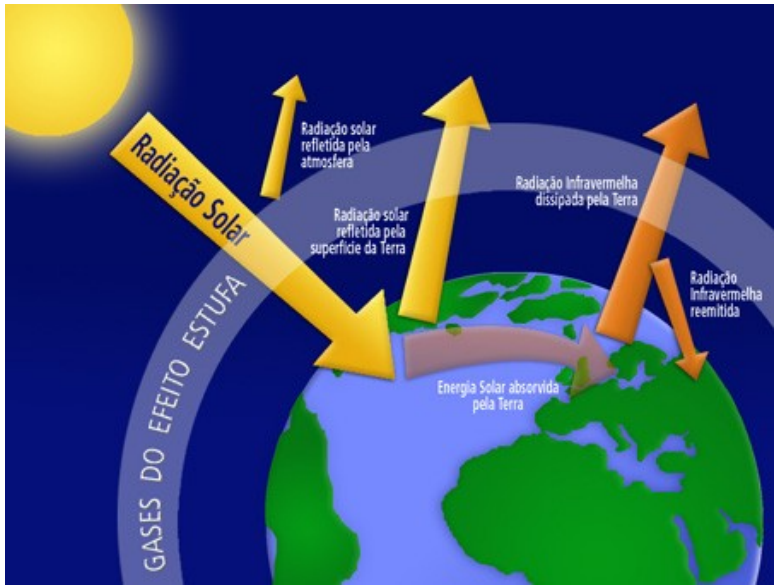


de origem volcânica ou trazida por cometas/asteróides
A composição é parcialmente devida à existência de vida.

Planeta mais denso do Sistema Solar.

Terra

Nosso cálculo da temperatura dá:
- sem albedo: 279 K = 6 °C
- com albedo (0.3): 255 K = -18 °C



Graças a um efeito estufa moderado, temos ~+15 °C na Terra.

=> Único planeta a ter água nos três estados
=> Desenvolvimento de Vida.

Afinal, o efeito estufa é o que possibilita a vida na Terra, mas não queremos aumentá-lo demais e chegar em um efeito estufa descontrolado (=> Vênus).

Terra

Apresenta um campo magnético produzido pelo efeito dínamo no ferro líquido do núcleo externo.

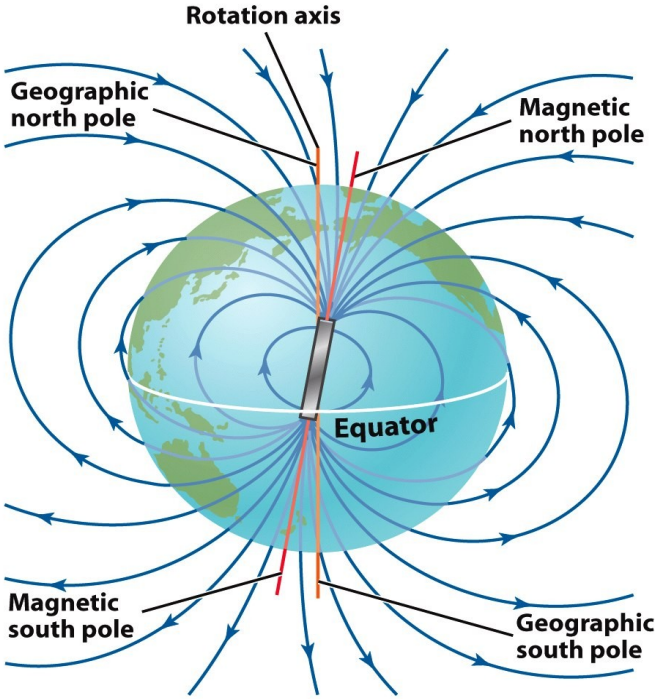
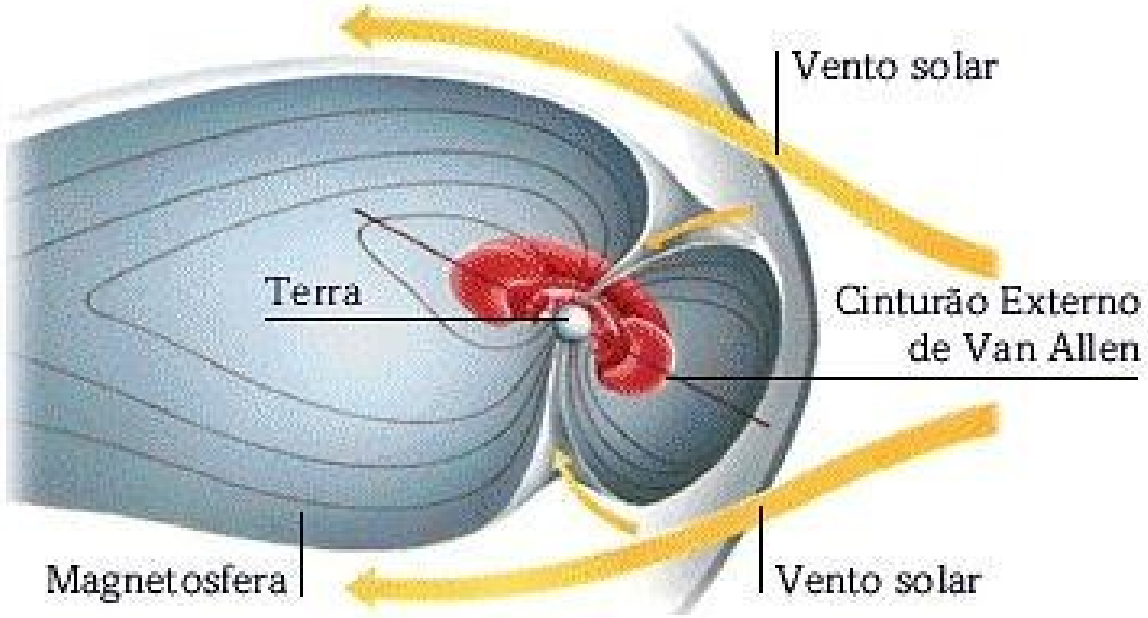


Figure 7-13b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company



Este campo protege a Terra das partículas carregadas do vento solar, outro fator que ajudou no desenvolvimento de vida.

O campo é periodicamente revertido.

Terra

Estas partículas seguem as linhas do campo. As mais energéticas entram na atmosfera perto dos polos magnéticos da Terra (em Alaska (N) e Antárctica (S)) e podem excitar as partículas da atmosfera. Quando estas últimas recaem pro estado fundamental, elas emitem luz, que pode ser visto como aurora borealis (N) ou australis (S).

Lua

Símbolo ☽
único satélite natural
da Terra
fica a 384 400 km, ~30
diâmetros terrestres daqui

$R_{☽}$ = 1737 km ≈ ¼·$R_{\oplus}$

Muitas Crateras, mas tem
regiões, as "Mares", mais
baixas e escuras e com
menos crateras.

São mares de lava que chegaram na superfície e secaram mais "recentemente" que o resto da superfície, depois da época do "bombardeamento pesado", uns 700 mio. de anos após a formação da Lua, que foi uns 4.6 bio. anos atrás.

Lua

Formada junto com a Terra

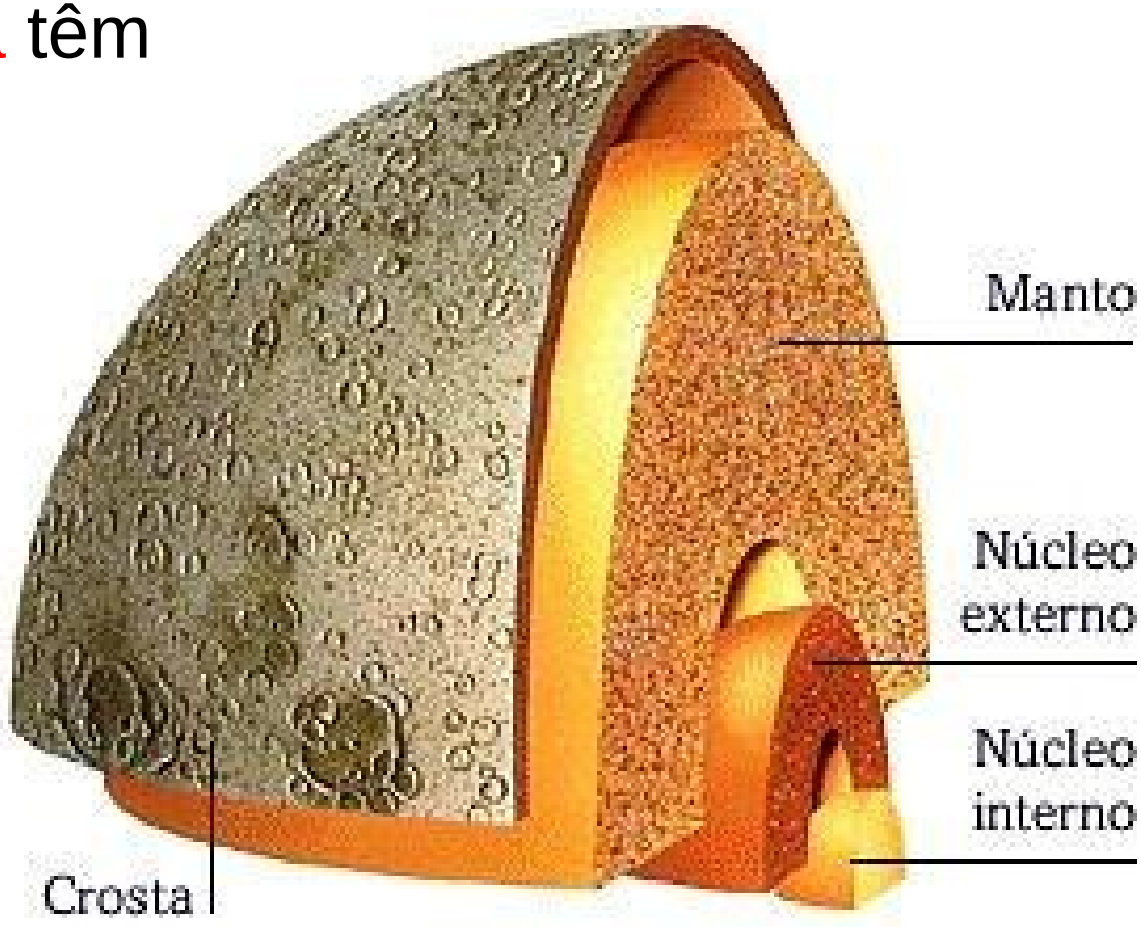
Maior Satélite em relação
ao seu planeta do SS

Não possui atmosfera.
A massa do satélite,
0.012 $M_{\oplus}$, é baixa demais
para manter uma atmosfera.

Temperaturas de -150 °C a 130 °C,
variação grande pelos mesmos motivos que no Mercúrio:
falta de atmosfera e dias longos.
(pergunta: quanto tempo dura um dia lunar?)

Lua

As camadas da Lua têm composição similar que aquelas da Terra,
dica que as duas têm uma origem comum.

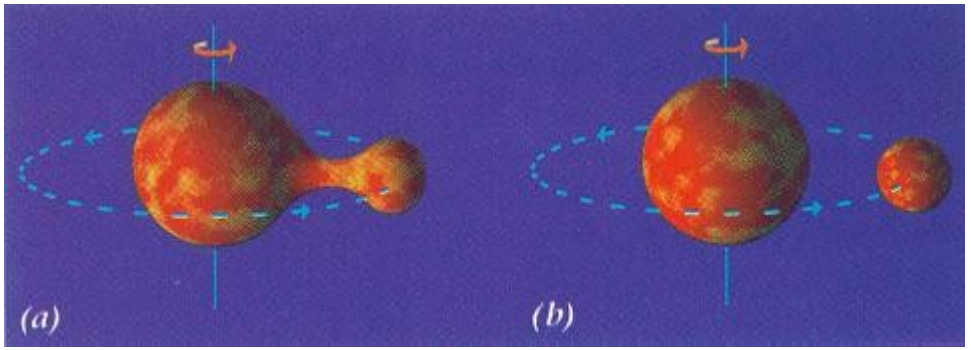


Lua

4 teorias sobre seu surgimento

- Co-acreção: Terra e Lua se formaram ao mesmo tempo a partir da Nebulosa Solar.
Porém: A composição química dos dois mundos não é suficientemente similar.

- Fissão: Lua era parte da Terra até se separar da mesma devido a sua rotação.

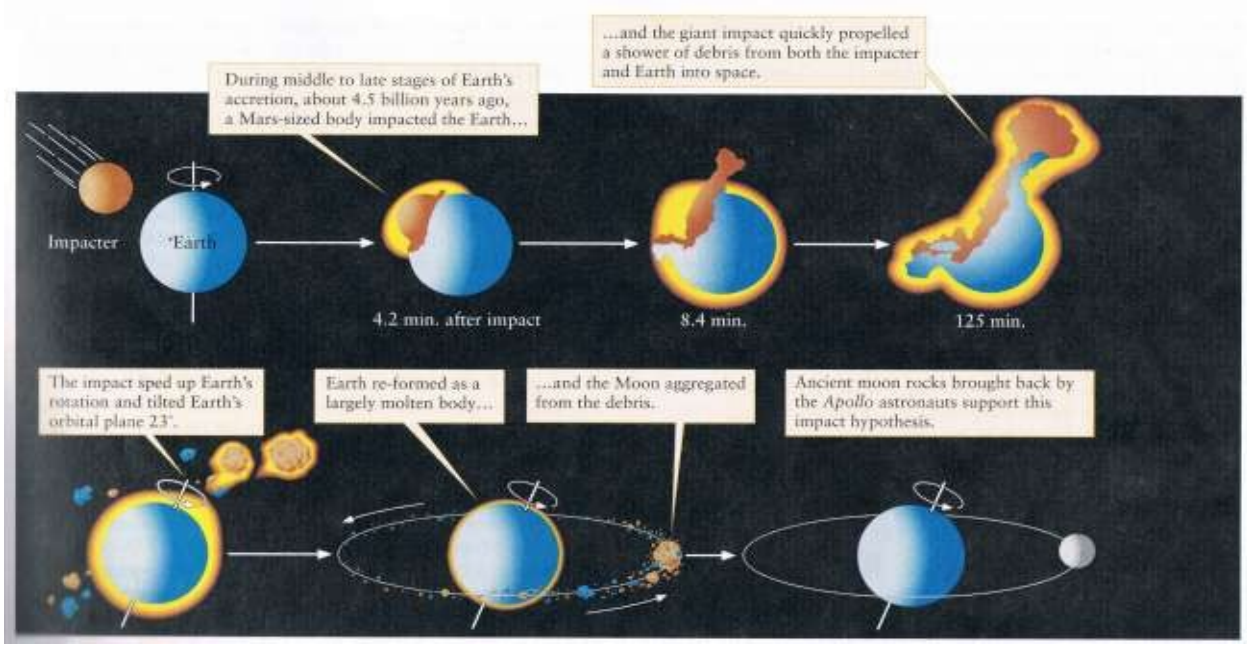


Mas: A Terra deveria ter girado (e ainda girar) muito rapidamente para isto; Os eixos da rotação da Terra e da revolução da Lua não são paralelos; A composição química dos dois não é suficientemente similar.

Lua

- Captura: Lua se formou em outro lugar do cosmos e foi capturada pela gravidade da Terra.
Mas: A captura de um corpo tão grande é difícil de realizar, e a composição química é similar demais (a Lua teria que ter um caroço de ferro).

- Colisão: Lua era parte da Terra e foi separada da mesma por um impacto com algum objeto celeste do tamanho de Marte chamado Theia.



Acha-se que a Lua é composta por silicatos do manto do segundo corpo e com pouco Fe além de porção similar de O com a Terra.

A última, colisão, é vista como a mais provável.

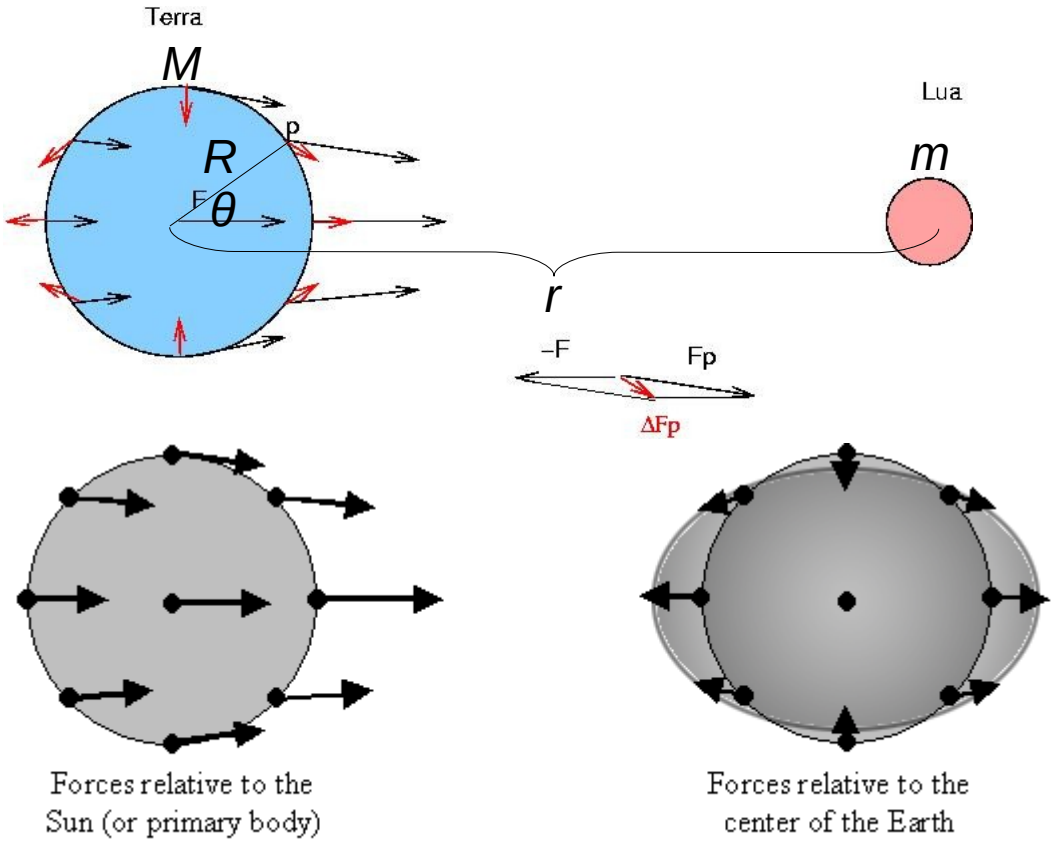
Lua

Marés

A Lua atrai os pontos da Terra mais próximos mais fortemente que os pontos mais distantes

=> ela aplica forças diferenciais, ou forças de maré no nosso planeta (=> quadro):

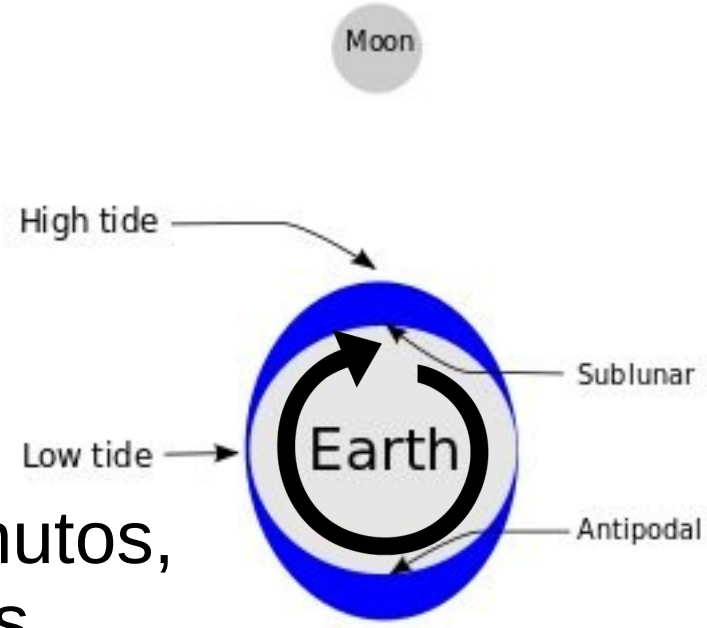
$\Delta \boldsymbol{F} = GMmR/r^3 \cdot (2\cos\theta, -\text{sen}\theta)$ prop. r^{-3}



Isto causa “montanhas de água” no lado da Terra que é orientado para a Lua e no lado oposto.

Lua

Marés



Por causa da rotação da Terra e da revolução da Lua, estas elevações se propagam pela superfície da Terra, causando marés altas cada 12 horas e 25 minutos, e marés baixas entre as marés altas.

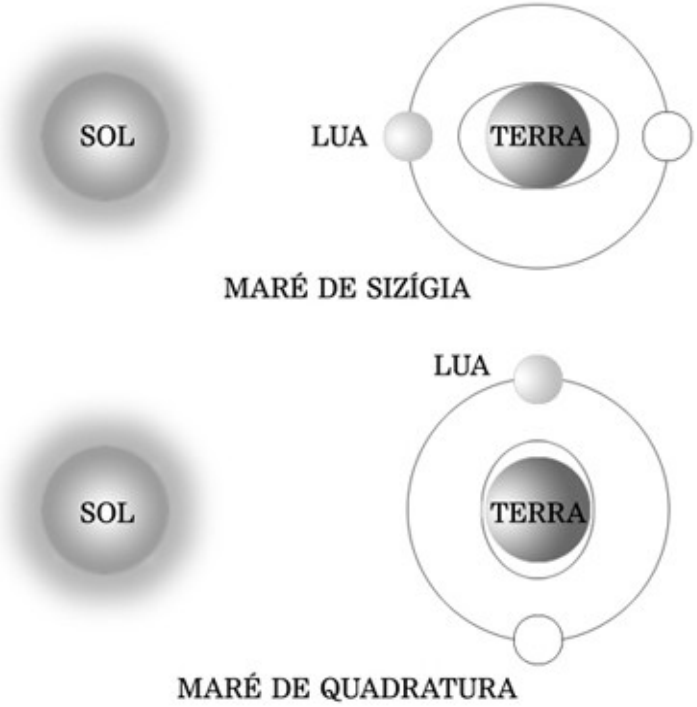
As marés também acontecem com a crosta da Terra, elevando o chão por 10 cm durante maré alta,

e com a crosta da Lua, deformando-a por até ~20 m.

Lua

Marés

O Sol também aplica forças de maré na Terra, menores que as devidas à Lua.



Quando Terra, Lua e Sol estão alinhados, durante lua cheia ou nova, estas forças amplificam as da Lua, causando marés extra altas e baixas, chamadas marés de sizígia (alinhamento) ou vivas.

Durante os quartos crescente e minguante, elas reduzem as da Lua, causando marés de quadratura ou mortas.

Lua

Marés

As marés se propagando pela Terra causam forças de fricção, que freiam a rotação da Terra, tal que a duração de um dia aumenta por 0.0016 s cada século.

O momento angular perdido pela Terra é transferido pra Lua, aumentando a órbita desta, tal que ela se afasta da Terra por 3 a 4 cm cada ano, e a duração do mês aumenta (mas a uma taxa menor que a rotação da Terra).

Em consequência o tamanho angular da Lua no céu diminuirá, tal que num futuro distante, não haverá mais eclipses solares totais (só anelares).

Lua

Marés

Teoricamente, isto continua até que a rotação da Terra e a revolução da Lua estarão sincronizadas, chamado ressonância dos períodos.

Naquele momento, a Terra ficará sempre com o mesmo lado voltado pra Lua. Visto da Terra, a Lua ficará sempre na mesma posição no céu.

O dia e o mês durarão o mesmo tempo de 47 dias atuais.

Lua

Marés

Isto já aconteceu com a Lua há tempão, já que a Terra também aplica forças de maré nela, muito mais fortes.

=> A Lua sempre mostra o mesmo lado pra Terra.

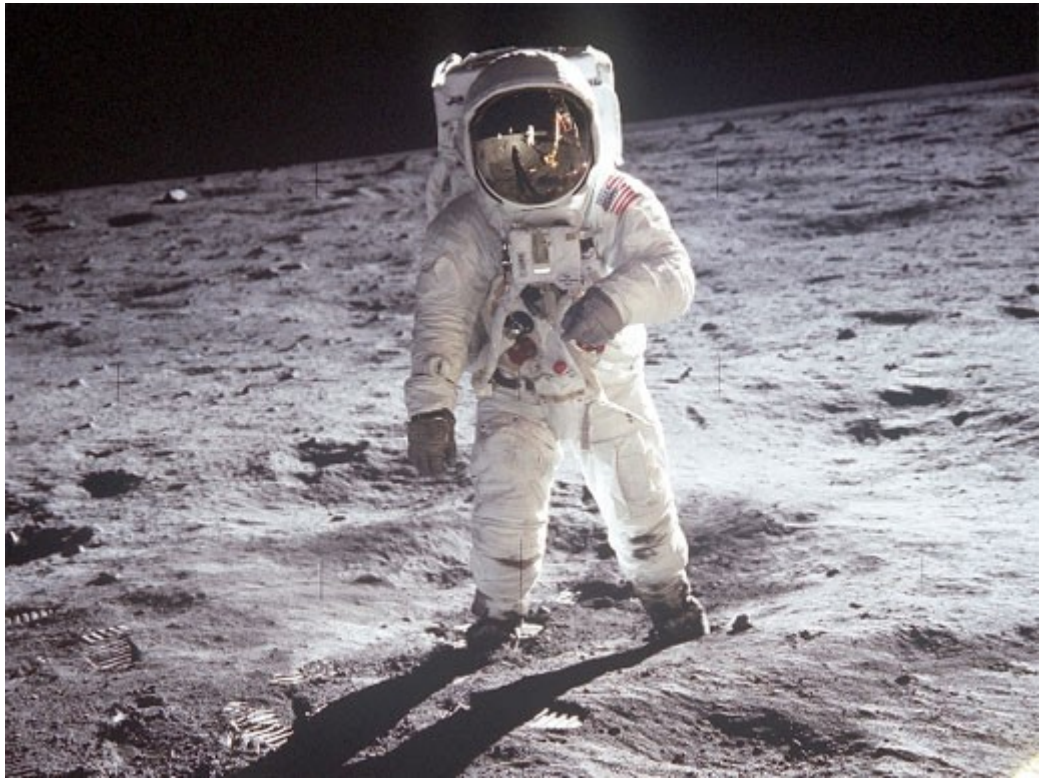
O outro lado, o lado oculto, ou negro ou escuro, só foi observado por um satélite em 1959.

Terra sobre o horizonte da Lua

O lado oculto da Lua

Lua

O nosso satélite é o único corpo celeste visitado por humanos até agora.

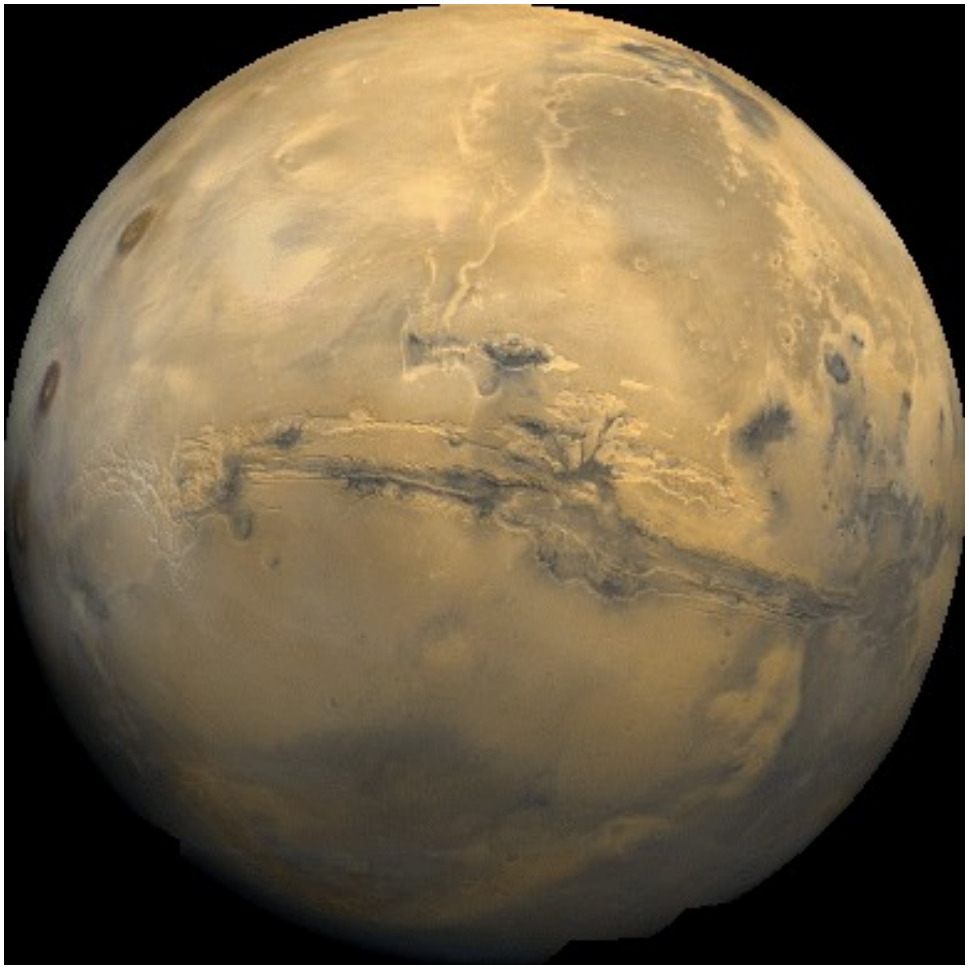


primeira visita:
20/07/1969,
Neil Armstrong,
Edwin Aldrin
e Michael Collins
na espaçonave Apollo 11

6 visitas até dezembro 1972.

Desde então nunca mais voltamos.

Marte



Símbolo ♂
Deus da guerra,
“Estrela” vermelha,
“Irmão” da Terra

4º planeta do Sol, 1.52 AU
=> ano marciano: 1.88 $a_{\oplus}$

$R_{♂} = 0.53 \cdot R_{\oplus}$

$M_{♂} = 0.107 \cdot M_{\oplus}$

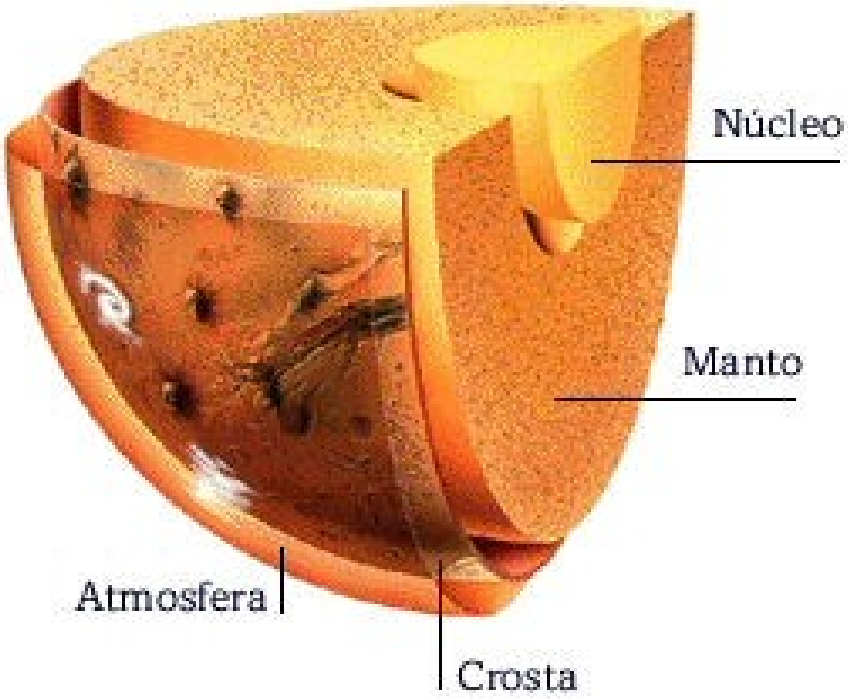
Assemelha-se à Terra em vários aspectos:

- Atmosfera de CO_2, N_2, Ar e O_2,
- Gelo nos polos,
- “Tempo”: Tempestades e nuvens,
- Dia de ~25 horas,
- Estações.

Marte

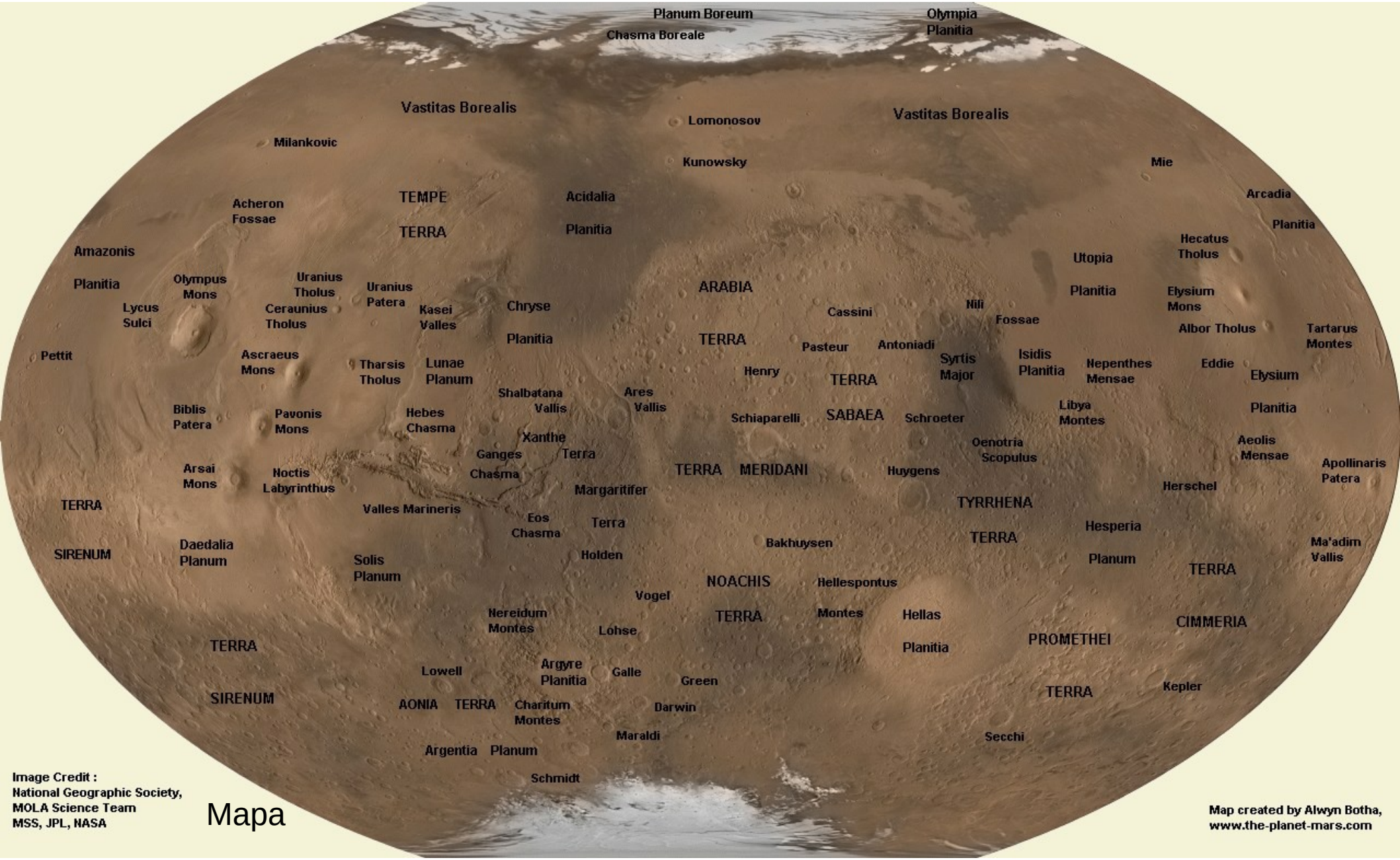
Composição:

- Núcleo interno de Fe, Ni e S
- Manto de O, Si, Mg, ...
- Crosta de Silicatos e bastante Fe que oxida em contato com a atmosfera => cor vermelha (ferrugem)



- Atmosfera de CO_2 (96 %), N_2, Ar e O_2, traços de H_2O e metano (provavelmente de origem vulcânica) também são encontrados.

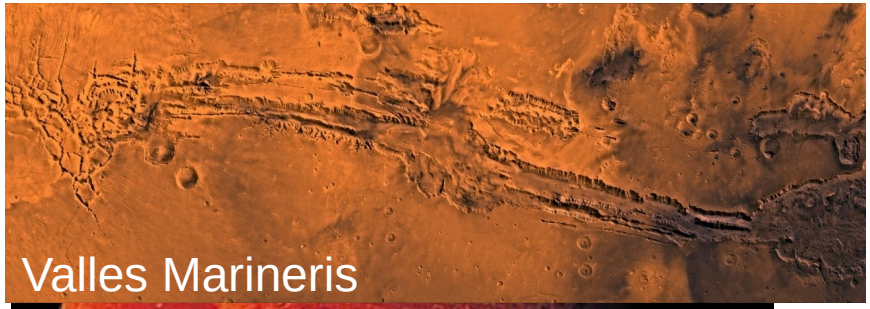
Marte


Planum Boreum
Chasma Boreale
Olympia Planitia
Vastitas Borealis
Lomonosov
Vastitas Borealis
Milankovic
Kunowsky
Mie
Acheron Fossae
TEMPE
TERRA
Acidalia Planitia
Arcadia Planitia
Amazonis Planitia
Hecatus Tholus
Utopia Planitia
Olympus Mons
Uranius Tholus
Uranius Patera
Lycus Sulci
Ceraunius Tholus
Kasei Valles
Chryse Planitia
ARABIA TERRA
Cassini
Nili Fossae
Elysium Mons
Albor Tholus
Tartarus Montes
Pettit
Ascraeus Mons
Tharsis Tholus
Lunae Planum
Pasteur
Antoniadi
Syrtis Major
Isidis Planitia
Nepenthes Mensae
Eddie
Elysium Planitia
Henry
TERRA
Shalbatana Vallis
Ares Vallis
Biblis Patera
Pavonis Mons
Hebes Chasma
Schiaparelli
SABAEA
Schroeter
Libya Montes
Xanthe Terra
Ganges Chasma
Oenotria Scopulus
Aeolis Mensae
Arsai Mons
Noctis Labyrinthus
TERRA MERIDANI
Huygens
Apollinaris Patera
Herschel
Margaritifer
TERRA
Valles Marineris
TYRRHENA TERRA
Eos Chasma
Terra
Hesperia Planum
Daedalia Planum
SIRENUM
Bakhuysen
Ma'adim Vallis
Solis Planum
Holden
TERRA
NOACHIS TERRA
Hellespontus Montes
Vogel
Nereidum Montes
Lohse
Hellas Planitia
CIMMERIA
PROMETHEI TERRA
TERRA
Lowell
Argyre Planitia
Galle
Green
Kepler
SIRENUM
AONIA TERRA
Charitum Montes
Darwin
Maraldi
Secchi
Argentia Planum
Schmidt
Image Credit :
National Geographic Society,
MOLA Science Team
MSS, JPL, NASA
Map created by Alwyn Botha,
www.the-planet-mars.com

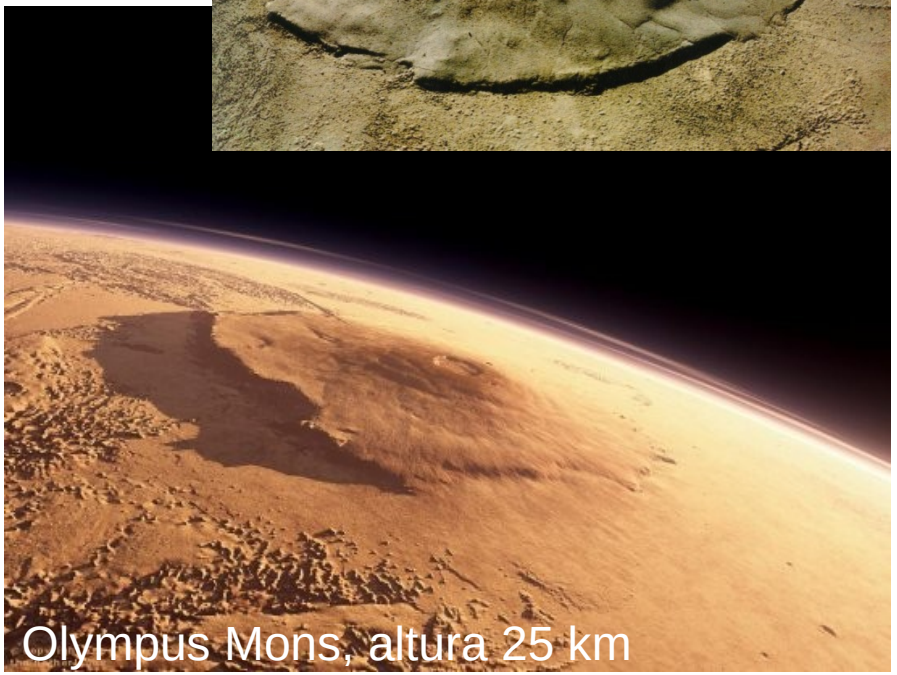
Mapa

Marte

Numerosos Vulcões inativos e fraturas na crosta. As montanhas mais altas do Sistema Solar


Valles Marineris

Serra Tharsis e Valles Marineris


Olympus Mons, altura 25 km

23/04/2019: a sonda aterrisadora InSight possivelmente detectou "Martemotos" (talvez o vulcanismo não seja totalmente inativo ainda).

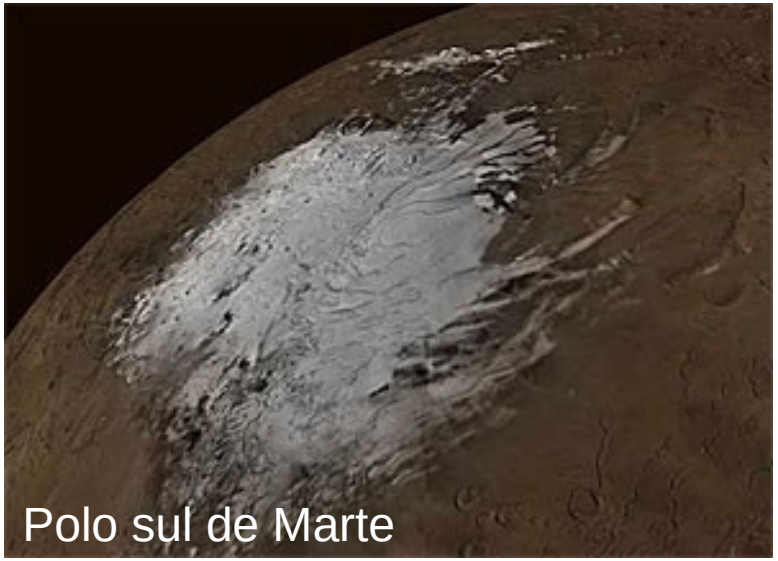
Marte

Nosso cálculo da temperatura dá:
- sem albedo: 226 K = -47 °C
- com albedo (0.15): 210 K = -62 °C,

bem perto da média das temperaturas reais
de -140°C à 20°C,
já que a atmosfera rarefeita (pressão ~140 vezes menor que na Terra) não causa um grande efeito estufa.

=> tem gelo nos polos e
possivelmente permafrost.

Maior parte do gelo é gelo seco, CO_2 sólido, mas parte é gelo de água.


Polo sul de Marte

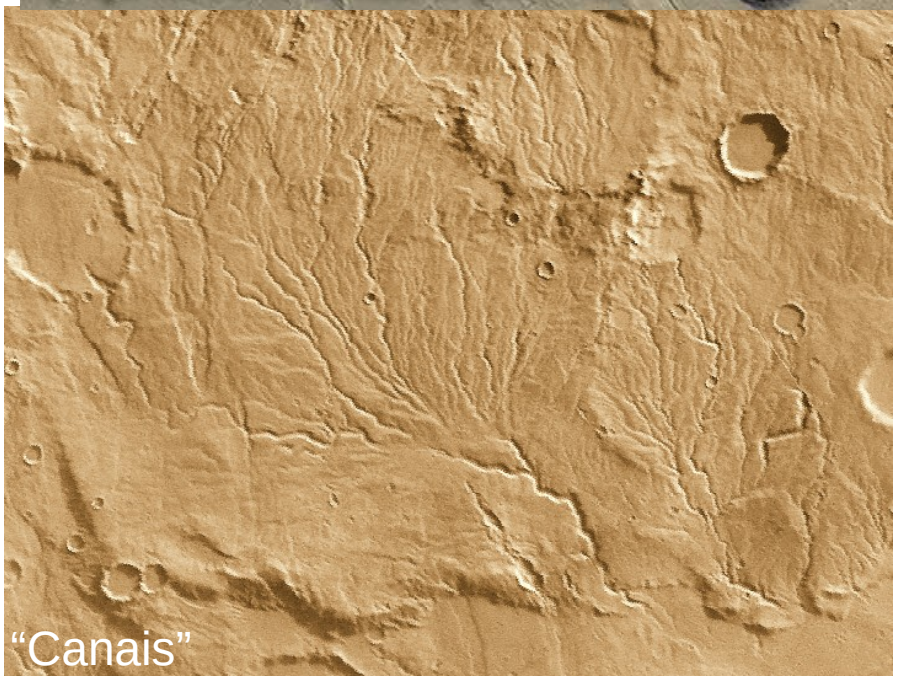
Marte

Tem água líquida em Marte?

Há dicas (vales, “canais”) de que já teve água.

Em 2017, o robô Curiosity detectou sedimentos típicos de rios e compostos orgânicos complexos.

=> teve água no passado. As condições podem ter sido favoráveis à vida (=> aula astrobiologia).



“Canais”

Marte

Tem água líquida em Marte?

Porém, com a baixa pressão atmosférica no presente, nas condições atuais água líquida na superfície evapora logo.

Em 2018, o radar MARSIS a bordo da sonda Mars Express achou dicas para um lago subterrâneo de água líquida perto do polo sul marciano.

Mars Express

A localização do lago subterrâneo

Marte

Como a água líquida na superfície de Marte sumiu?

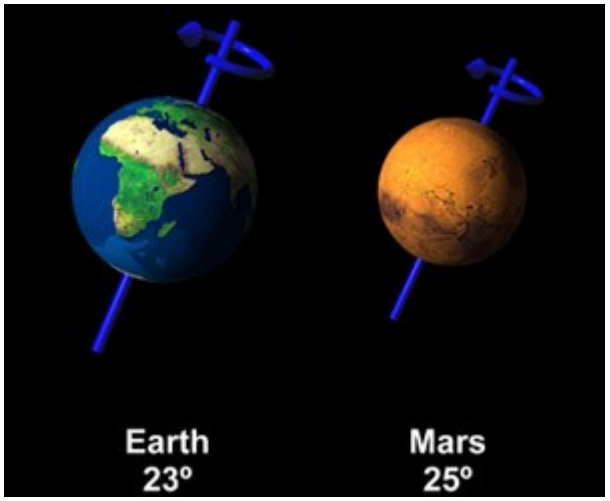
Hipótese: Água no passado movia-se livremente (chuva?) e aprisionou CO_2 em rochas.

Com menos CO_2 na atmosfera, o efeito estufa diminuiu.

A temperatura diminuiu e a água congelou, deixando o planeta seco.

O clima atual conta com tempestades de poeira e variações de pressão com a estação do ano, já que o CO_2 da atmosfera congela no inverno.

Marte



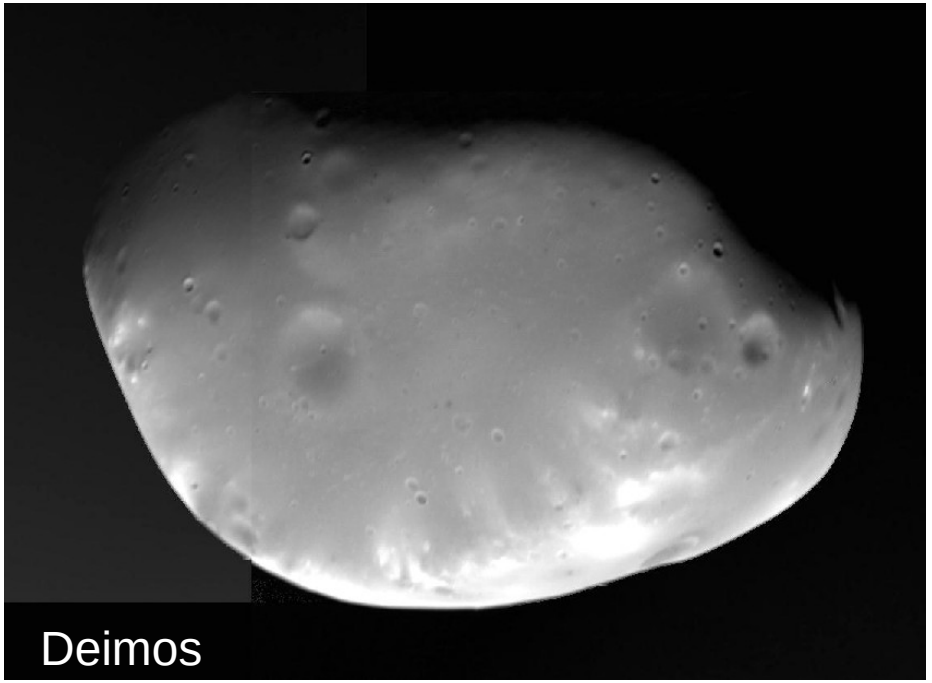
Segundo cálculos o ângulo do eixo rotacional de Marte em relação ao seu eixo orbital, atualmente de 25.19° (valor perto do da Terra, por acaso), deve variar entre 0° e 60° em escalas de tempo curtas da ordem de milhões de anos, devido a interações com o Sol e os outros planetas, e à falta de uma lua grande estabilizante como a nossa.
Cálculos detalhados precisam da Relatividade Geral!

Possivelmente teve épocas, naquelas os polos descongelaram (grande ângulo entre os eixos) e outras, naquelas a atmosfera como um todo congelava (ângulo pequeno).

Marte

2 Luas: Phobos e Deimos

Na mitologia grega, Phobos, “medo”, e Deimos, “pânico”, acompanharam o deus da guerra, Marte.



Marte

Phobos

28 km de diâmetro

- a 6000 km da superfície de Marte
=> lua mais próxima do seu planeta do Sistema Solar, e está se aproximando mais! Porém provavelmente será desrompido por forças de maré antes de bater em Marte.

- orbita Marte em 7:39 h, menos que a rotação de Marte.

- semelhanças com asteróides.

Marte

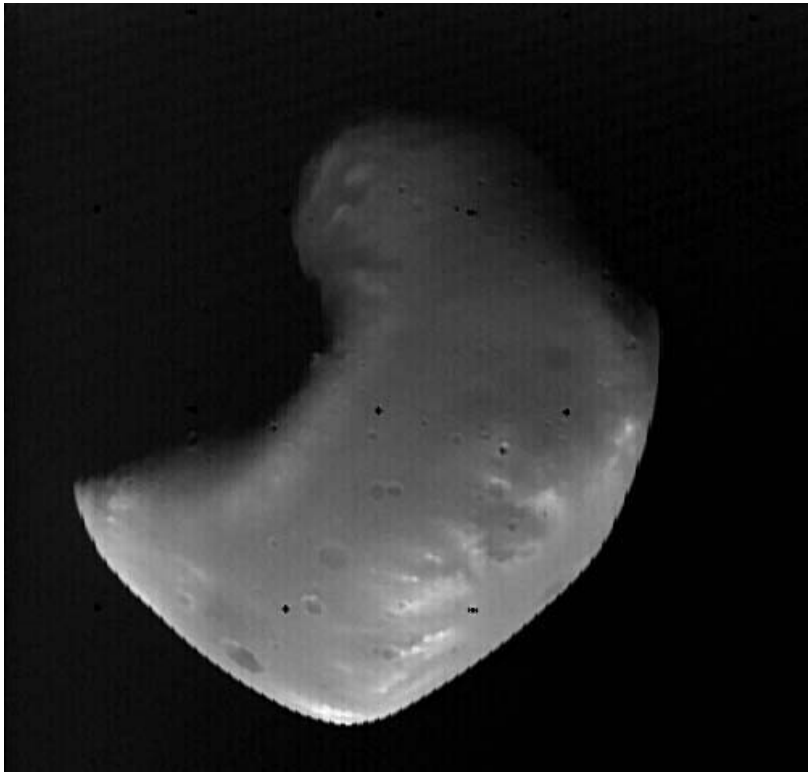
Deimos

16 km de diâmetro

- Tão pequena que parece uma estrela visto de Marte (raio orbital: 23 459 km).

- orbita Marte em 30:17 h.

- também semelhanças com asteróides



- Provavelmente Phobos e Deimos são asteróides capturados.

Resumo

Características dos planetas interiores (telúricos)

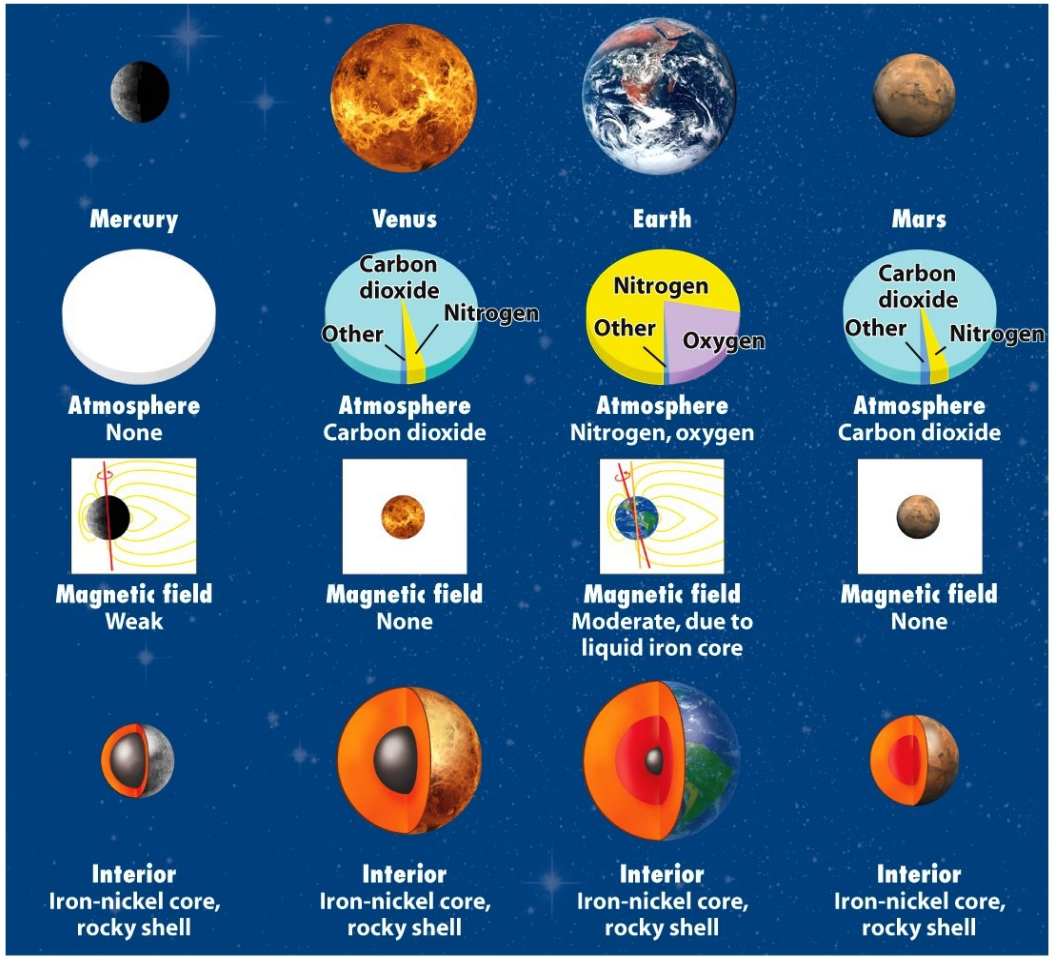
Table 7-1 Characteristics of the Planets

	The Inner (Terrestrial) 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°	3.39°	0.00°	1.85°
Equatorial diameter (km)	4880	12,104	12,756	6794
Equatorial diameter (Earth = 1)	0.383	0.949	1.000	0.533
Mass (kg)	3.302×10^{23}	4.868×10^{24}	5.974×10^{24}	6.418×10^{23}
Mass (Earth = 1)	0.0553	0.8150	1.0000	0.1074
Average density (kg/m^3)	5430	5243	5515	3934

Table 7-1 part 1
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Resumo

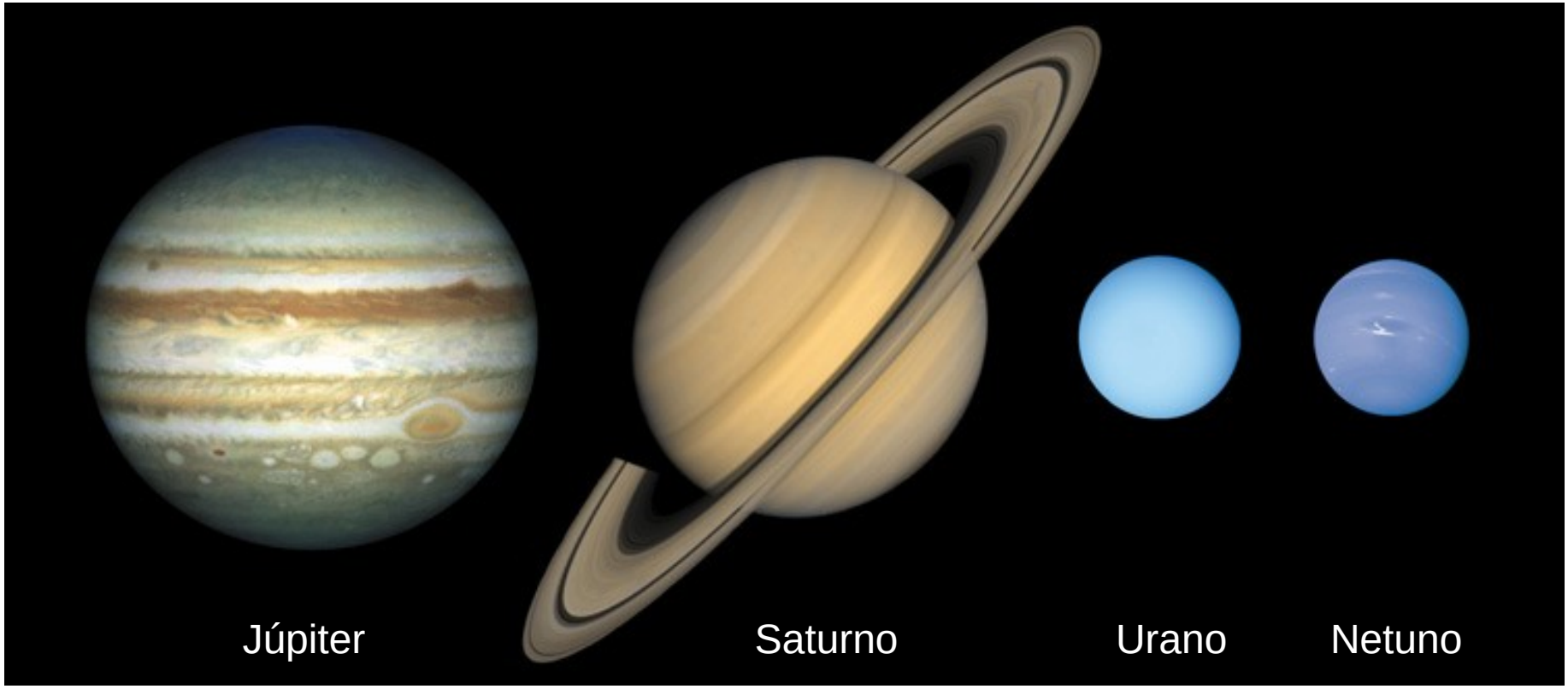
Características dos planetas interiores (telúricos)



Cosmic Connections 7b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Planetas Exteriores

Ou Jovianos ou Gigantes Gasosos e Gelosos

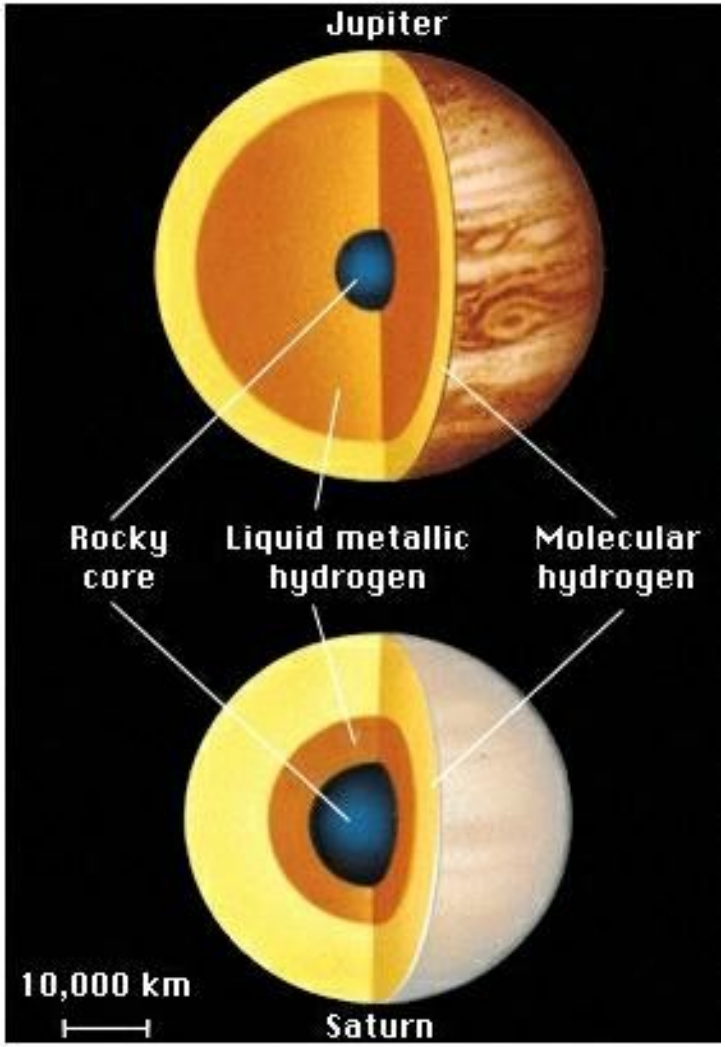


Planetas Exteriores

Júpiter e Saturno: gigantes gasosos:

- caroços sólidos e densos de gelo e "rocha" : Mg, Si, Fe, ...: 10 a 15 $M_{\oplus}$, equivalendo a 3 % resp. 16 % da massa total

- maior parte é atmosfera de composição "solar": H_2 e He, outros elementos (O, C, N, S) ≤ 1 ‰, na forma dos compostos H_2O, CH_4, NH_3, H_2S

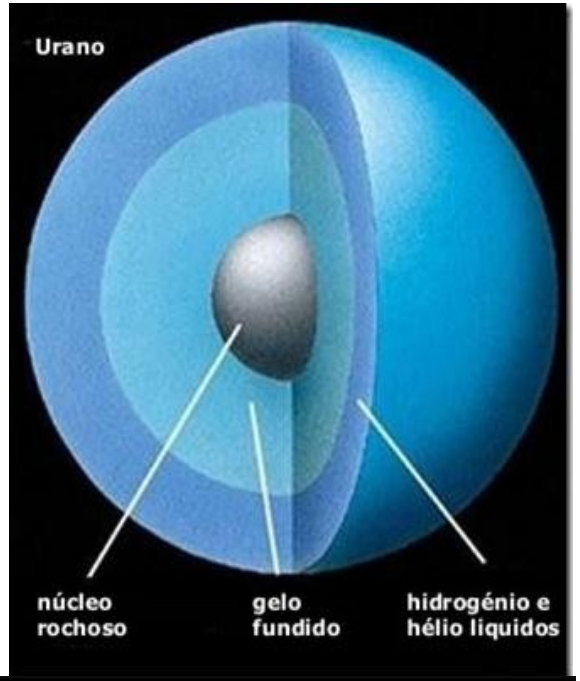


Planetas Exteriores

Urano e Netuno: gigantes "gelosos":

- caroços de ~13 $M_{\oplus}$, correspondendo a 85 % a 95 % da massa total

- atmosferas contêm mais gelo e mais elementos pesados, i. e. C ~3 %, que as de Júpiter e Saturno



Planetas Exteriores

Rotação rápida
(0.4 a 0.7 dias terrestres) + boa parte líquida e gasosa => mais achatados que os planetas terrestres

A rotação é diferencial (mais rápida no equator).

Esta rotação rápida, especialmente do caroço externo, que é hidrogênio metálico líquido com moléculas ionizadas dissolvidas nele, causa campos magnéticos fortes pelo efeito dínamo.

Estes levam a auroras ultravioletas.

Sobreposição de uma imagem no ótico de Júpiter com uma no UV

Júpiter

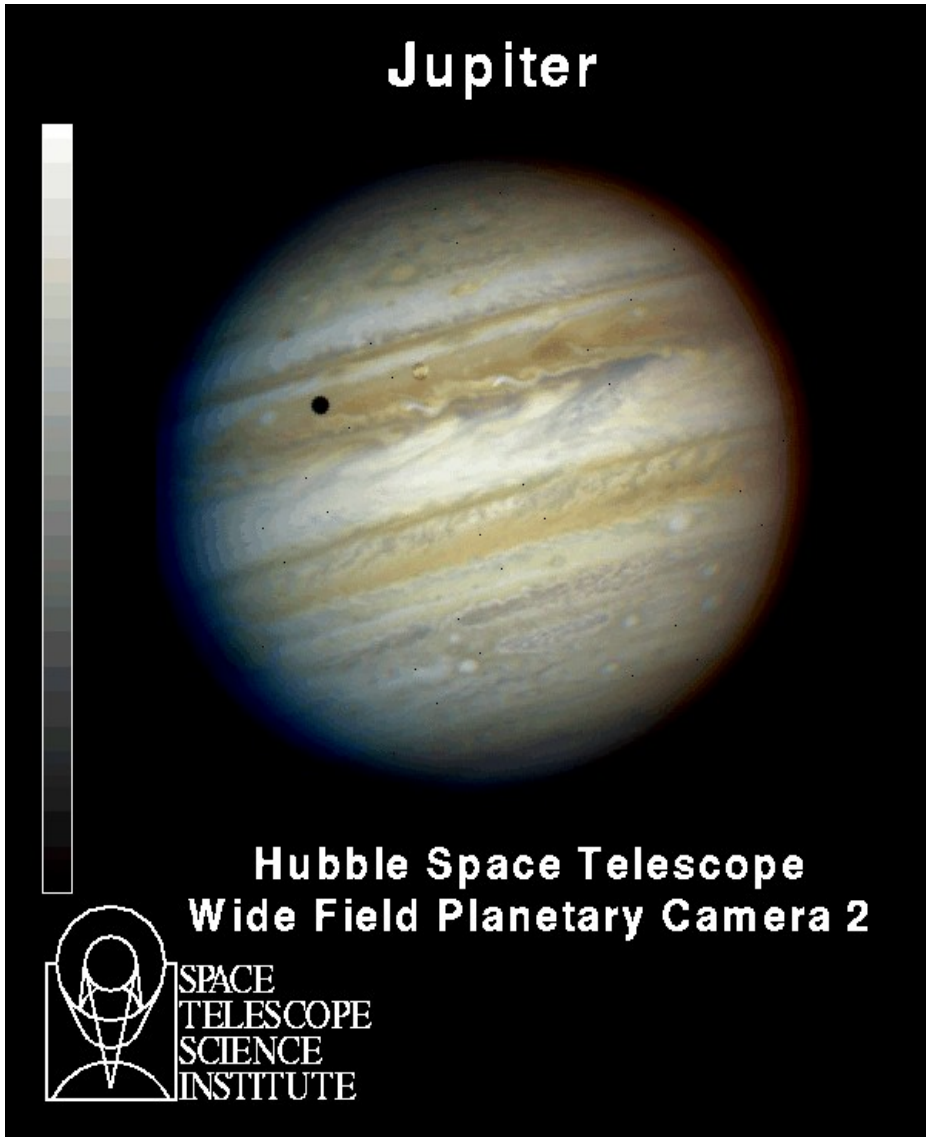
Símbolo ♃

Rei dos deuses gregos

5º planeta do Sol, 5.2 AU
4º mais brilhante objeto no céu

$R_{♃} = \sim 11\ R_{\oplus}$
$M_{♃} = 1.9 \cdot 10^{27}$ kg $= \sim 318\ M_{\oplus}$
=> Maior planeta e de maior massa do Sistema Solar

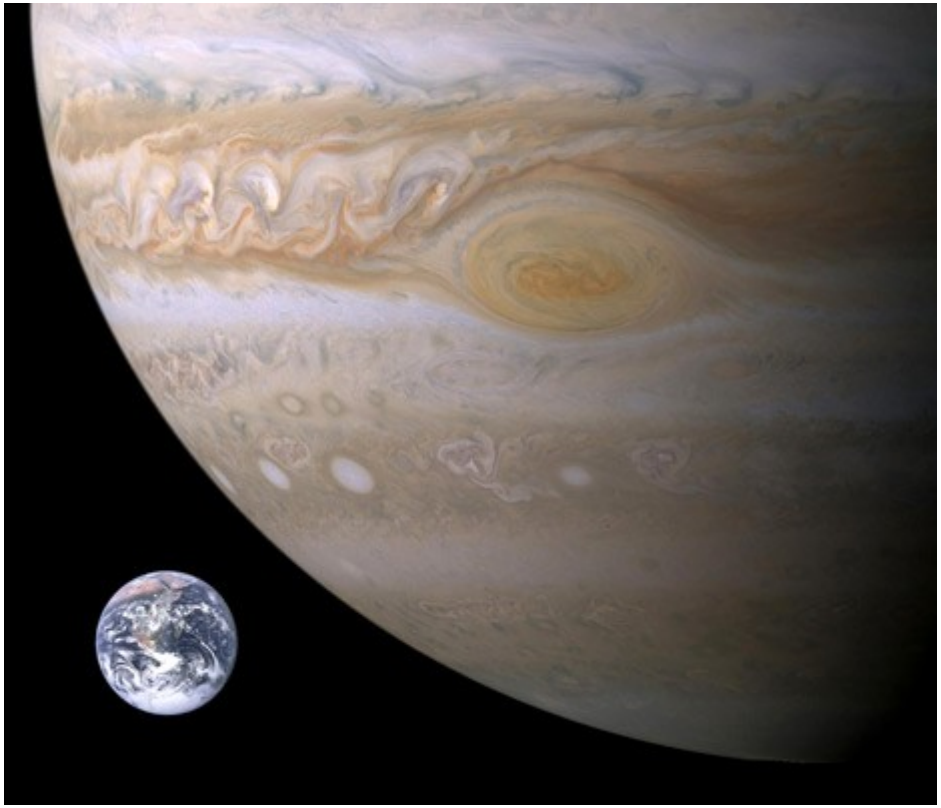
densidade média: 1326 kg/m³
Rotação 0.41 dias terrestres
Revolução: 11.8 anos terr.
Temperatura média: -148 °C



Júpiter

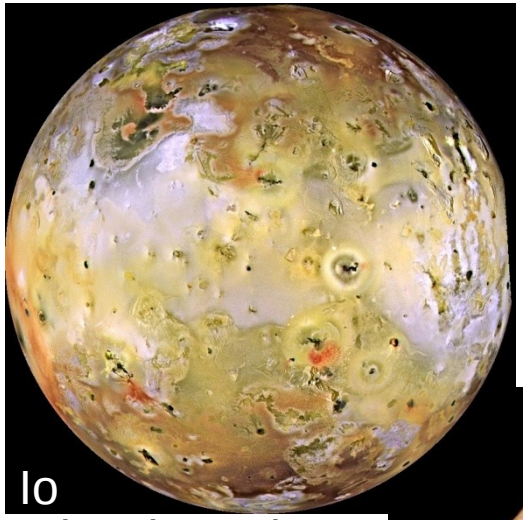
Faixas se devem às nuvens de amoníaco, hidrossulfeto de amônio e água, e à rotação diferencial.

Grande Mancha Vermelha: Tempestade com ventos > 500 km/h, e diâmetro maior que o da Terra, existe > 300 anos

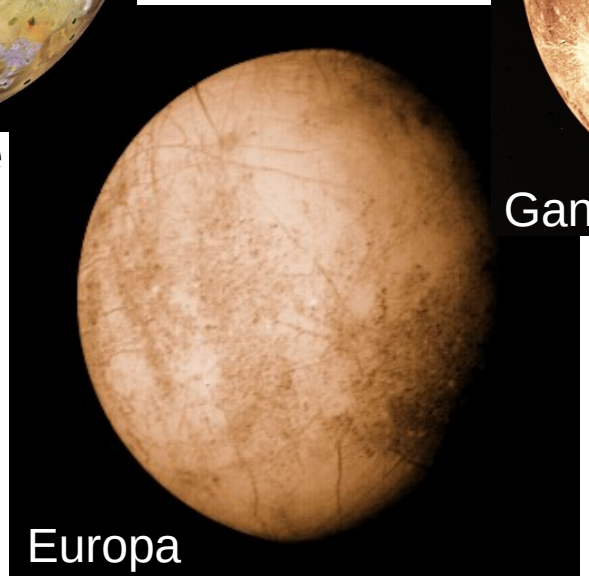


As Luas de Júpiter

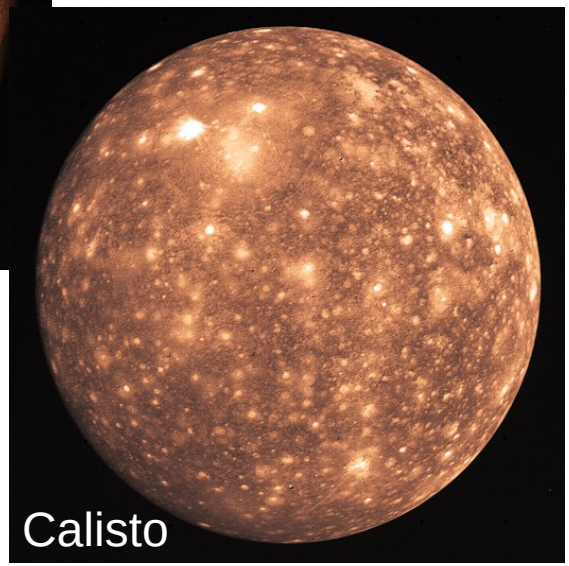
> 90 luas (92 encontradas até agora), entre elas as 4 Luas galileanas



vulcanismo (nove vulcões) => co-berto por S, SO_2, constantemente deformado por forças de maré devidas a Júpiter, Europa e Ganímedes



maior lua do SS (> que Mercúrio), superfície de gelo com crateras



similar a Ganímedes

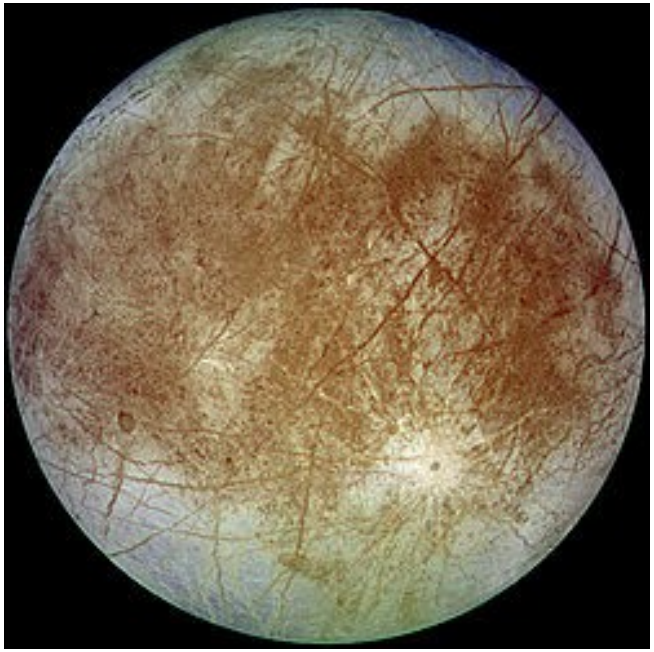
distância de Júpiter

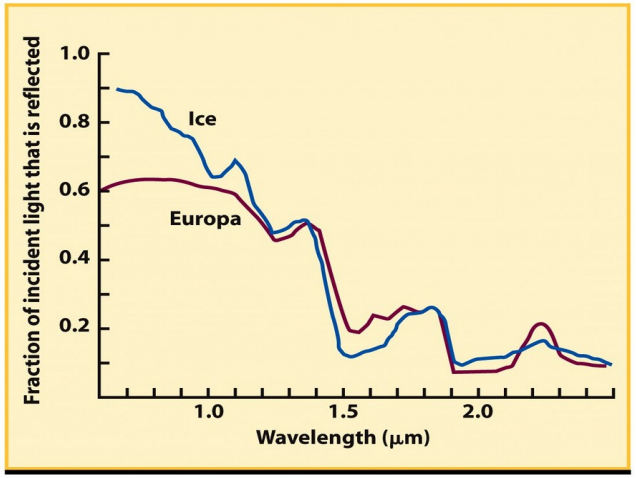
As Luas de Júpiter

Europa

- caroço rico em ferro
- manto de silício
- capa de gelo (=> espectro) que protege um possível oceano de ~150 km de profundidade mantido líquido por calor produzido por interações de maré com Júpiter e outras luas, também responsáveis pelas rachaduras na superfície
- praticamente sem crateras
- Fina atmosfera de O_2 (95 %) e H_2

Um dos possíveis locais habitáveis no Sistema Solar (=> aula astrobiologia).





The spectum of light reflected from Europa

Figure 7-4b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

As Luas de Júpiter

Luas galileanas formadas juntas com o Júpiter da mesma nuvem de gás

Montante de voláteis (H, He, H_2O, CO_2, …) aumentando com a distância de Júpiter

ideia dos tamanhos das luas galileanas

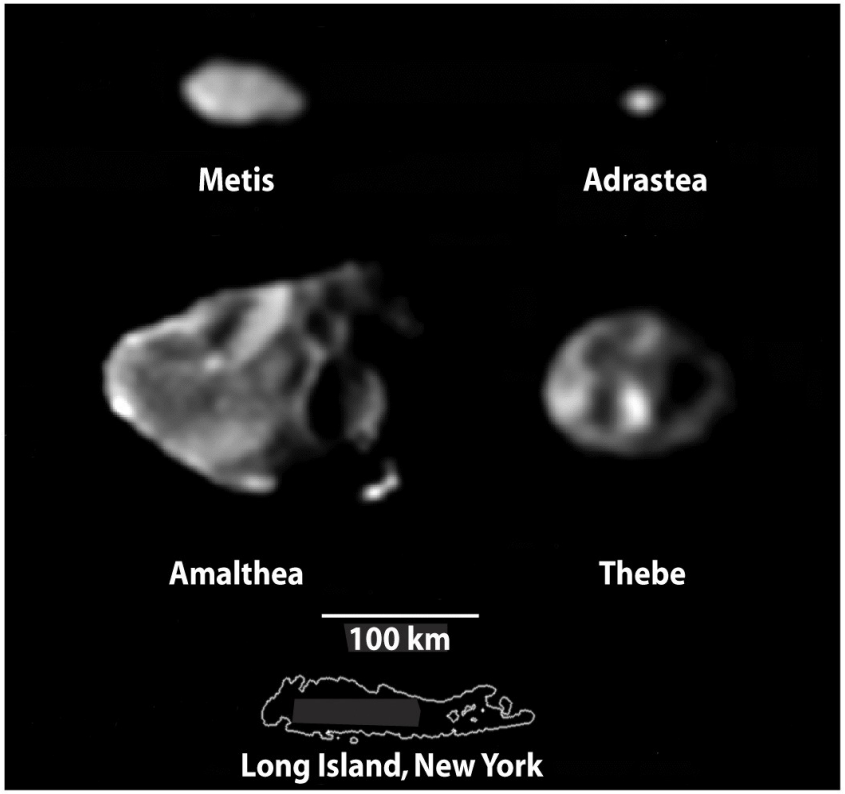
Todas girando no mesmo sentido, como se fosse um mini Sistema Solar

Io, Europa, Ganímedes: períodos de revolução em ressonância 1:2:4

As Luas de Júpiter

Tem mais de 80 luas menores (88 conhecidas até hoje, as últimas 12 descobertas em 2023),

algumas orbitam no mesmo sentido que as galileanas, algumas retrogradamente, algumas em planos que têm nada a ver com o plano das luas galileanas.



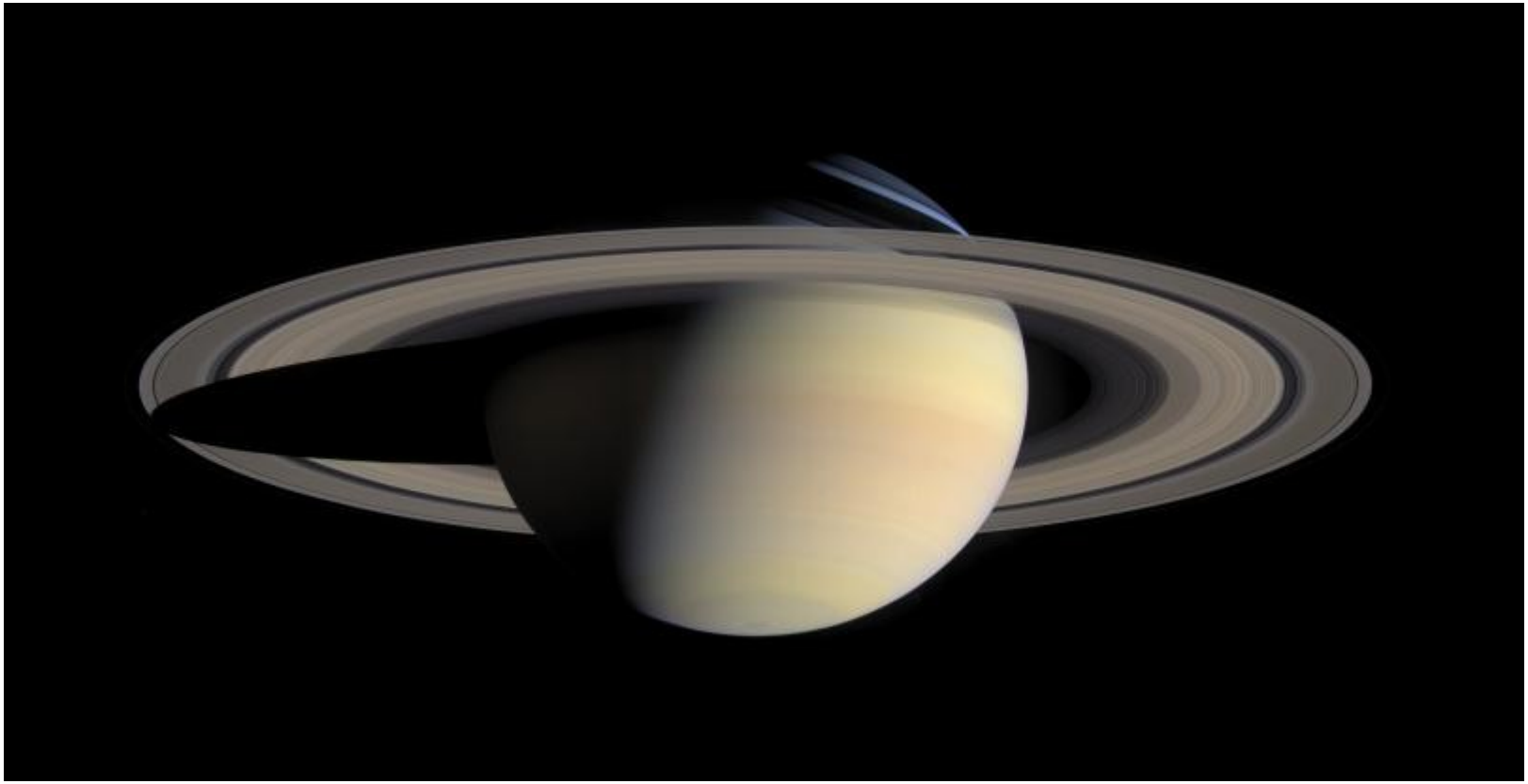
Asteróides capturados?

Pedaços de um maior satélite destruído por uma colisão?

Saturno

Símbolo ♄
Deus da agricultura

6º planeta do Sol, Último(?) planeta visível a olho nu



tamanho:
só um pouco menor que Júpiter, mas massa ≈ ⅓·$M_{♃}$

por causa da pressão menor
=> densidade baixa: 687 kg/m³ (mais baixa que a de água)
Rotação: 0.44 dias, Revolução: 29.4 anos, $T_{\text{méd.}}$: -178 °C

As Luas de Saturno

Titã

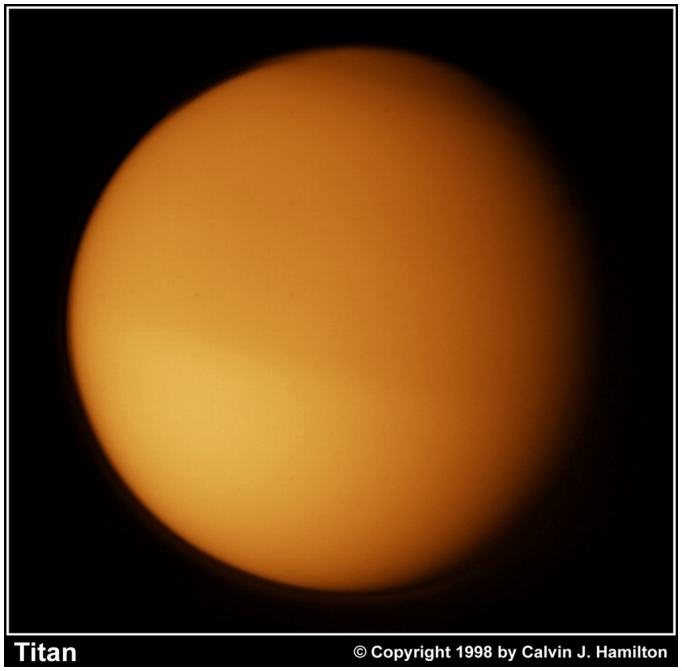
2ª maior lua do Sistema Solar

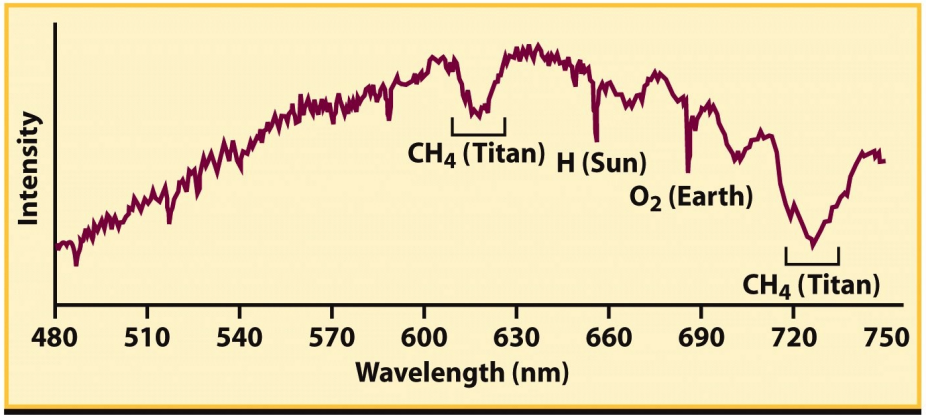
Metano líquido na superfície, -180 °C

Atmosfera densa (1.5 atm) de N_2 rica em metano (CH_4 => espectro), moléculas orgânicas e água

Às vezes chove metano, "ciclo do metano(/etano)"

Condições similares à Terra na época do surgimento da vida (=> aula astrobiologia)



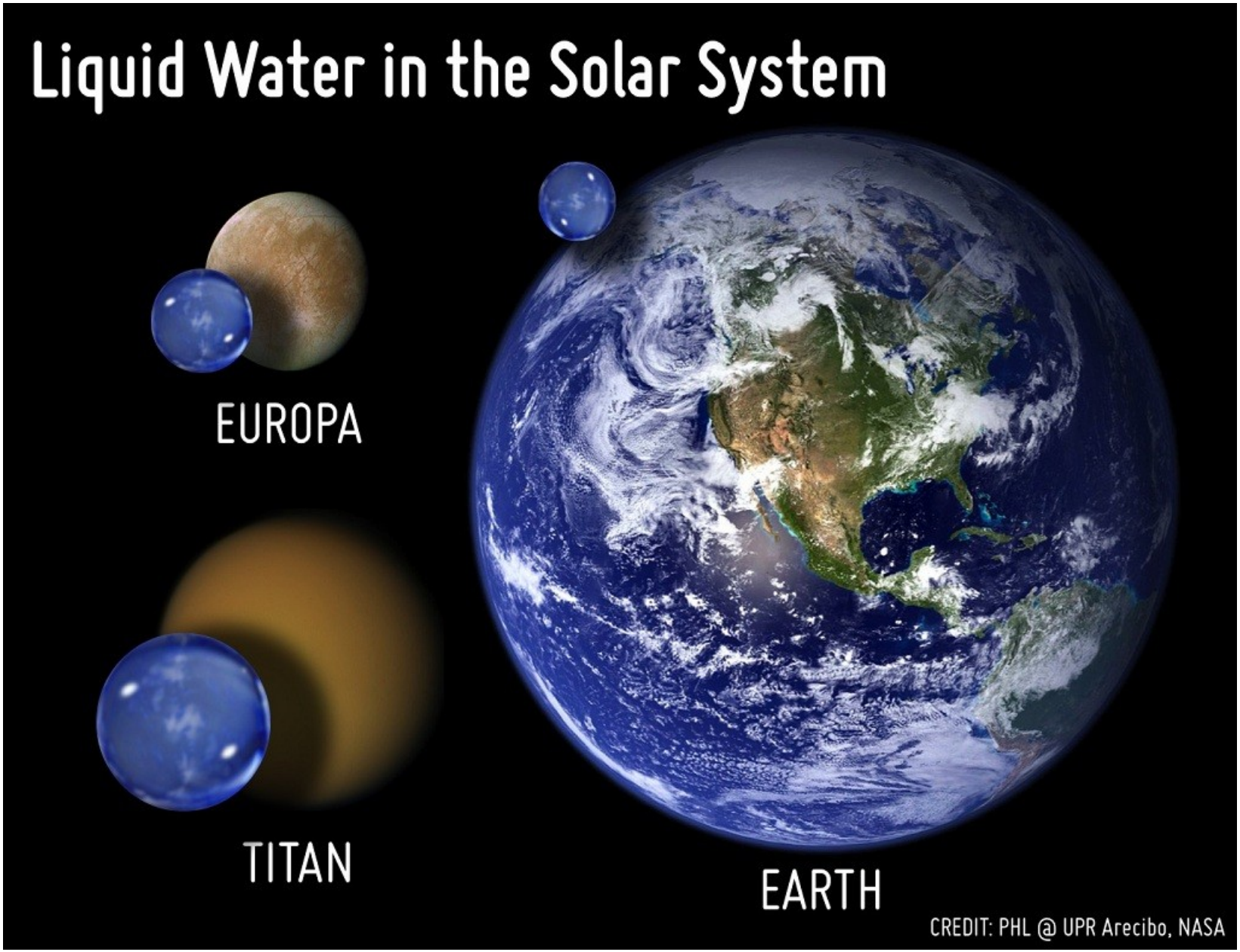


The spectrum of sunlight reflected from Titan

Figure 7-3b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

As Luas de Saturno

Titã

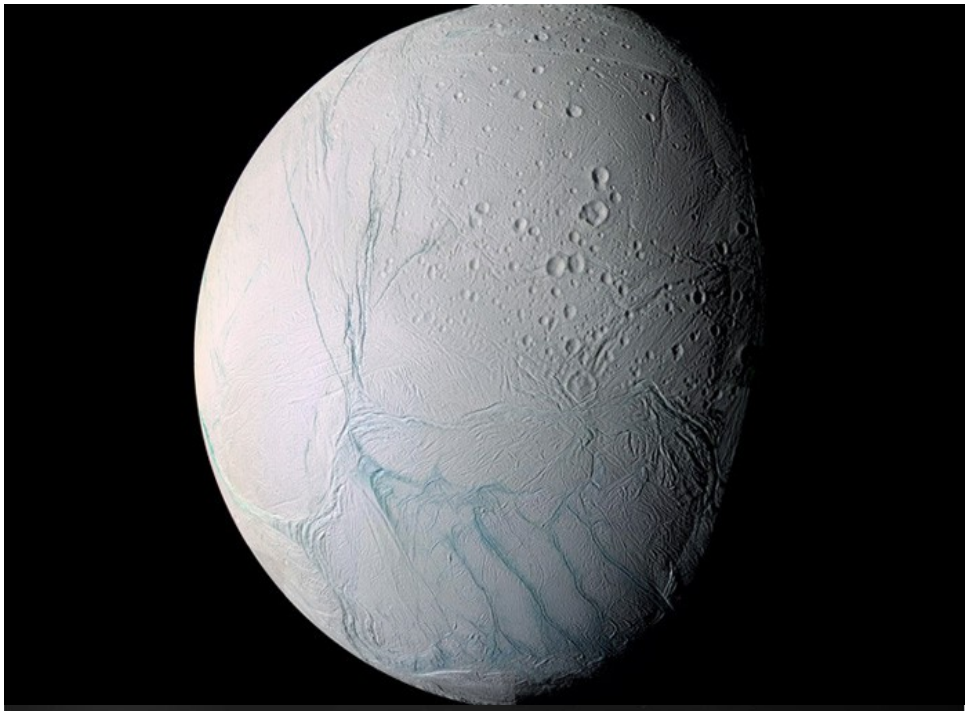


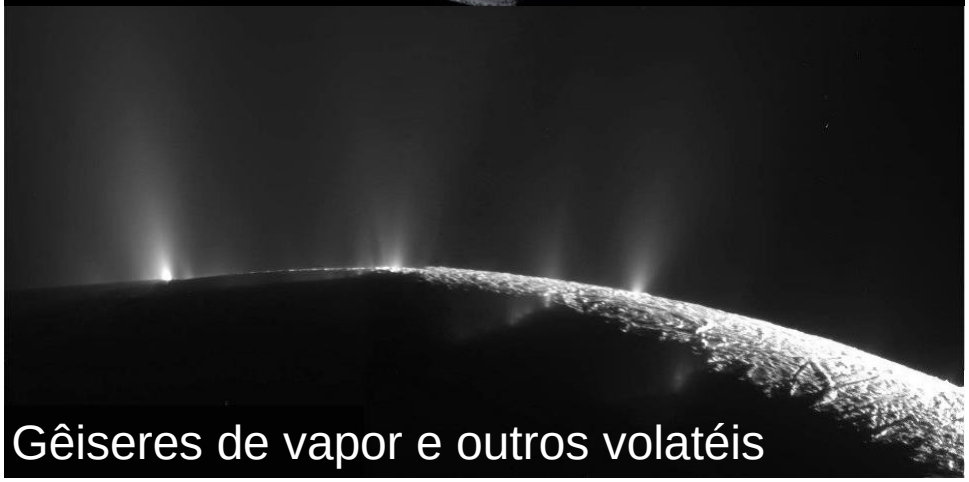
As Luas de Saturno

Encélado

6ª maior lua de Saturno
(diâmetro ~500 km)

Semelhancas com Titã:
- atividade geológica:
  aquecido por forças de maré,
  material contribui para o
  anel E de Saturno
- evidencia para oceano salgado
  a baixo da superfície
- atmosfera com metano
  e outras moléculas orgânicas
- possivelmente habitável para
  microorganismos
  (=> Aula astrobiologia)



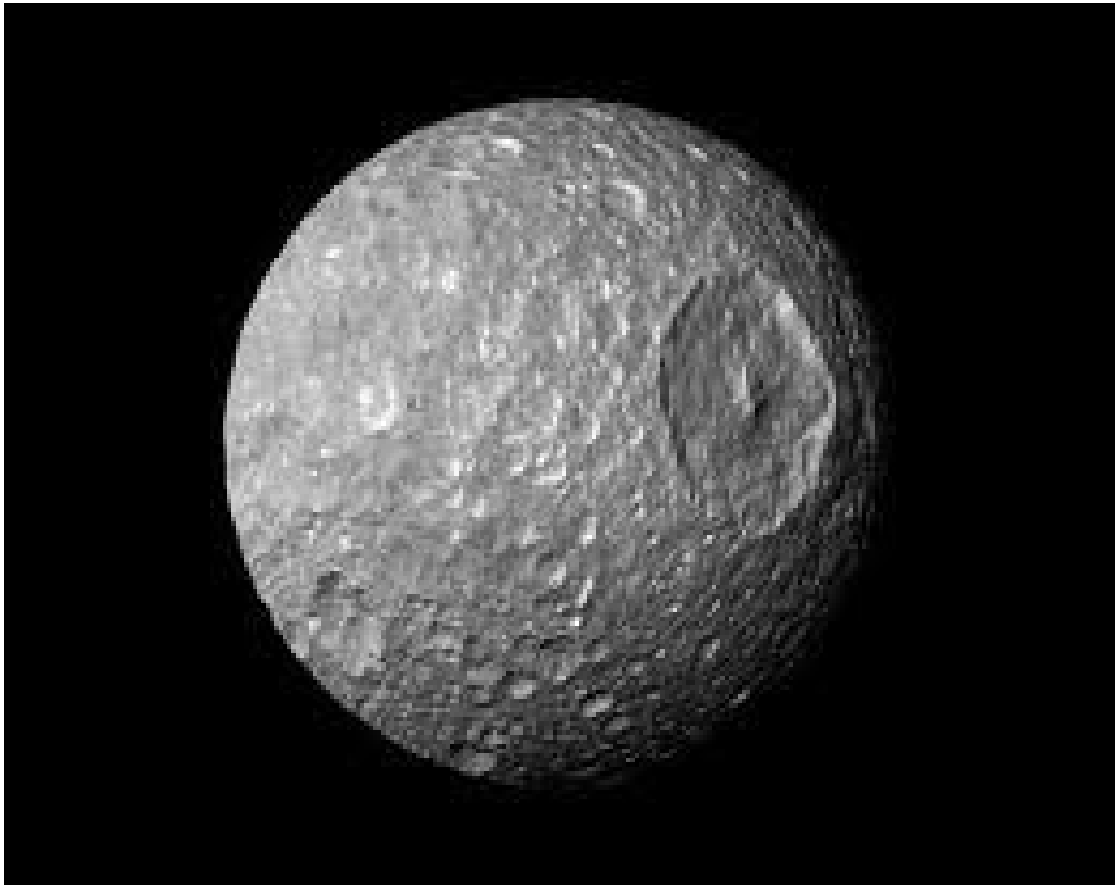


Gêiseres de vapor e outros volatéis

As Luas de Saturno

Mimas

Menor corpo esférico, do Sistema Solar, cratera Herschel testemunha de um impacto que poderia ter destruído a lua



Além de Titã, Encélado e Mimas, Saturno tem pelo menos 59 luas a mais,
similar ao Júpiter

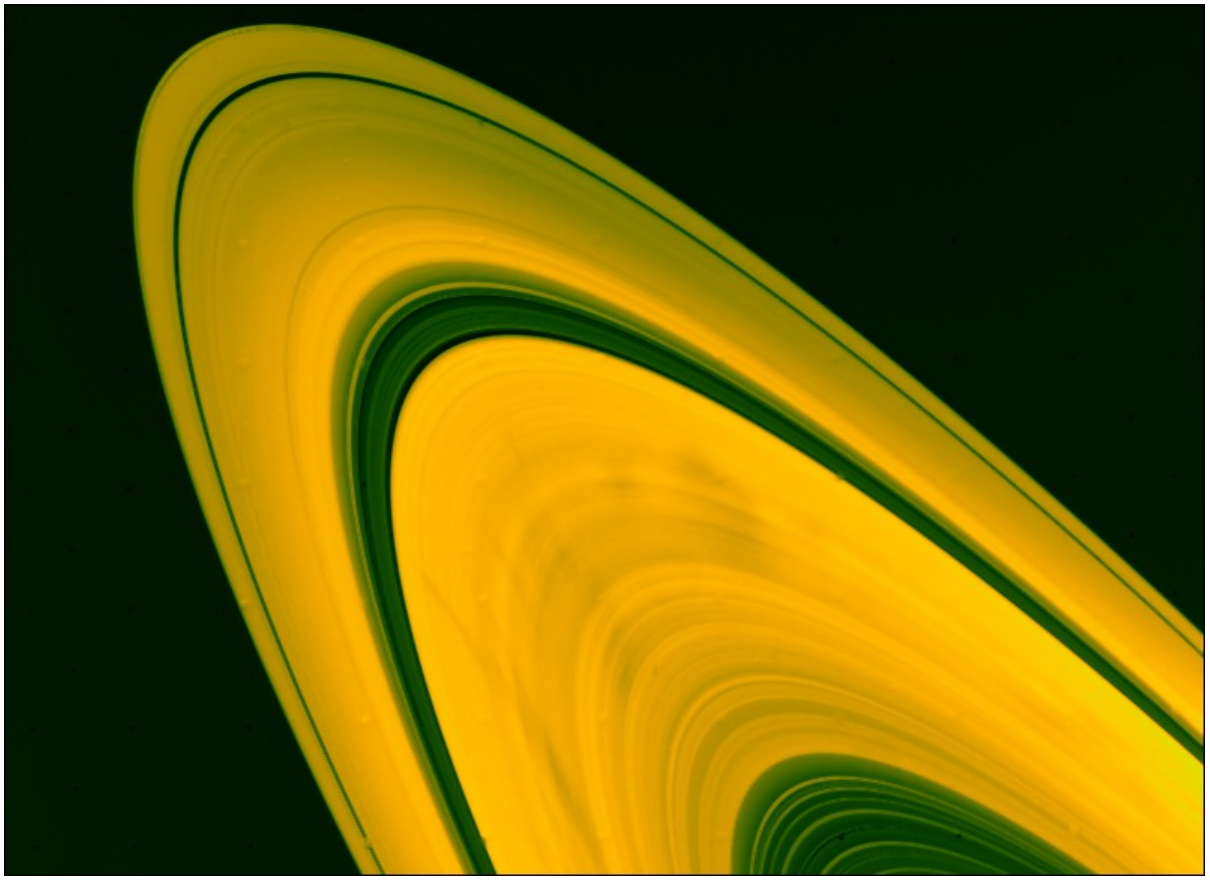
Os Anéis de Saturno

Galileu Galilei foi o primeiro a observá-los, porém só em 1659 que Christiaan Huygens anunciou a descoberta da existência de anéis ao seu redor.

Na verdade são centenas de anelzinhos com diâmetros de 250 000 km ou mais (até 8 $R_{♄}$)

Espessura < 1 km

orientados no plano equatorial do planeta



Anéis

"Rochas"/ bolas de gelo até alguns metros de diâmetro.

Material de albedo alto => anéis bem visíveis

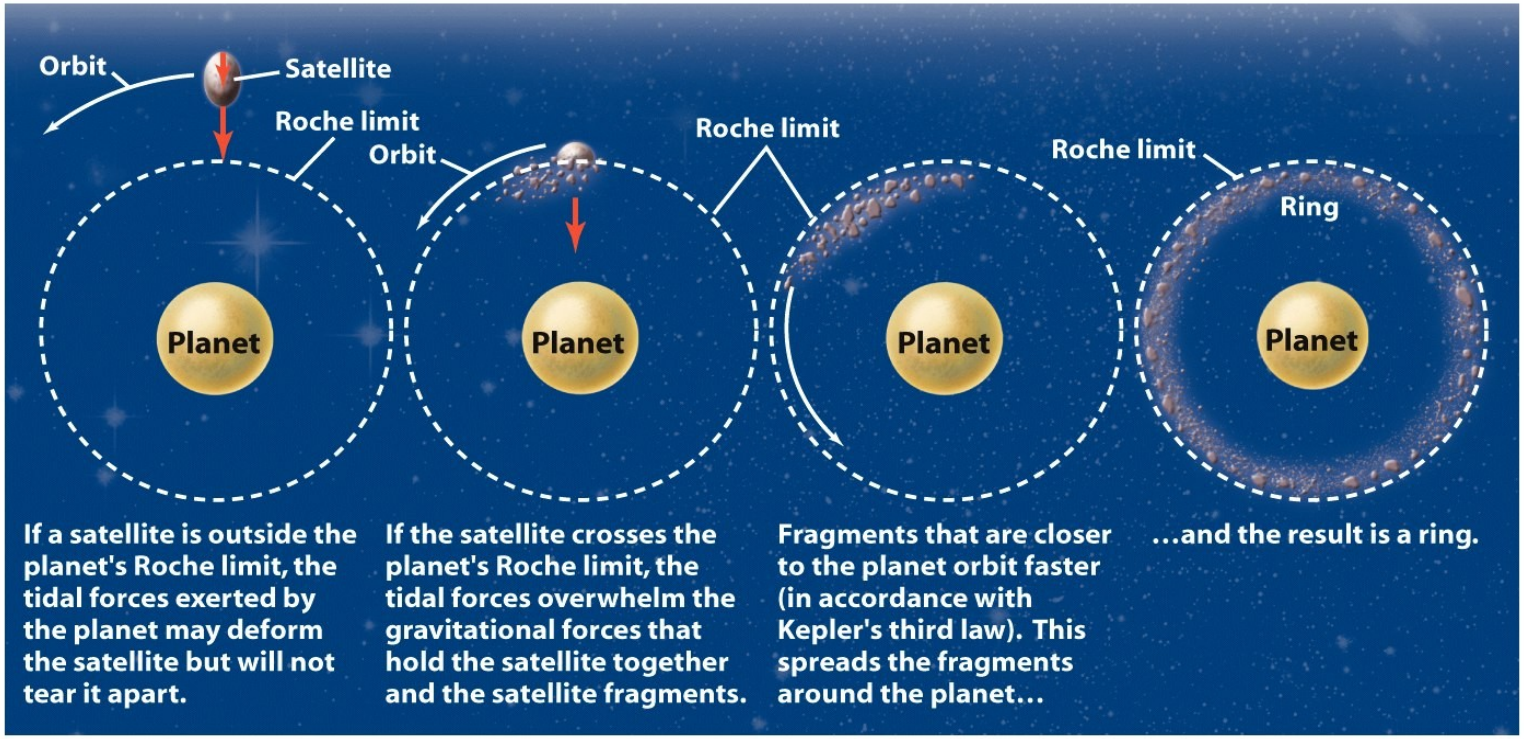
Em colisões trocaram os seus momentos lineares paralelos ao momento angular total => todos num plano

Algumas das luas de Saturno, as luas "pastores", ajudam a mantê-las nas órbitas. Ressonâncias também ajudam.

Os outros planetas gigantes também têm anéis, mais fracos.

Anéis

Provavelmente formados pela destruição de uma lua que ultrapassou o limite de Roche (distância até o planeta, dentro daquela as forças de maré superam as forças que mantêm a lua inteira).



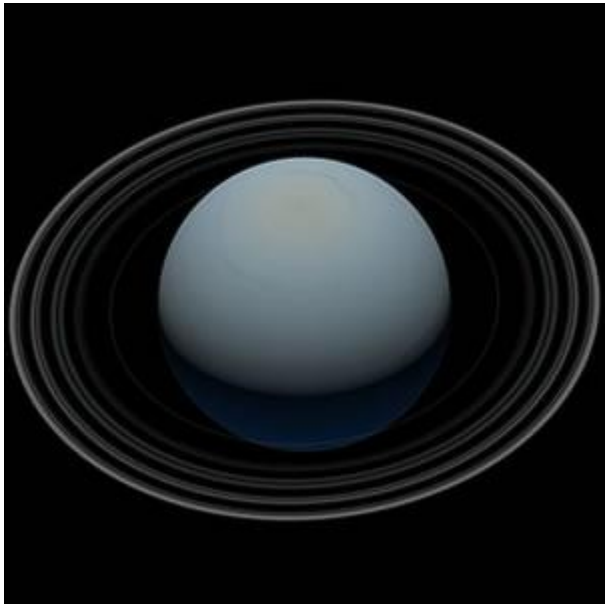
Problema em aberto: Escala de tempo: como os anéis sobrevivem por bilhões de anos aos processos dissipativos?
Talvez o material é “reposto” por ejeção de material de luas por meteoritos (Lua Mab de Urano) e/ou vulcanismo (Encélado).

Urano

Símbolo ♅/♅, Deus dos céus
7º planeta do Sol

Descoberto por acaso em
1781 por William Herschel

Rotação 0.72 dias “retrógrada”



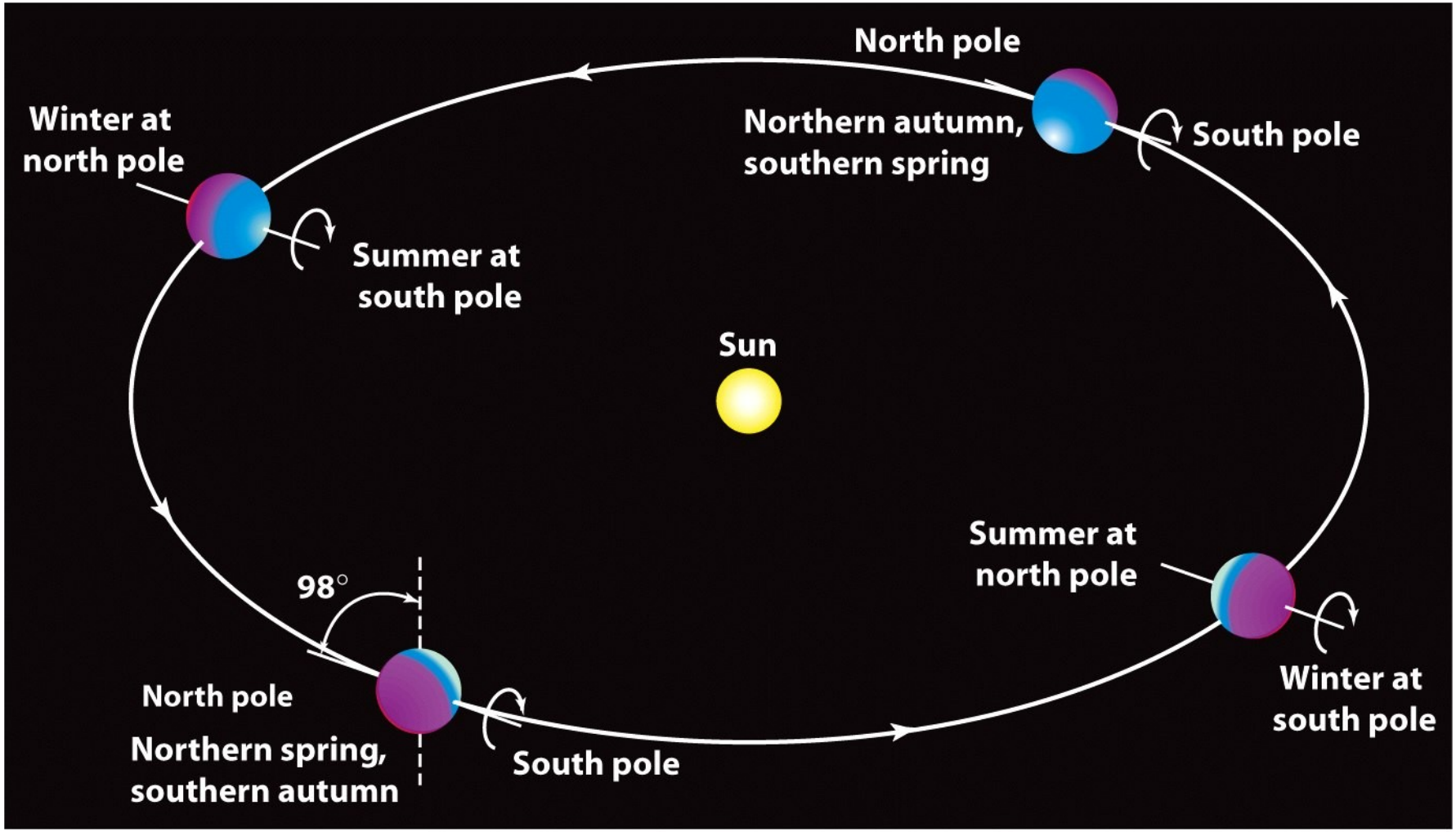
Revolução:
84 anos terr.
T. média:
-216 °C

Massa: 14.5 $M_\oplus$; Raio: 4 $R_\oplus$

Densidade média: 1318 kg/m^3

Anéis finos

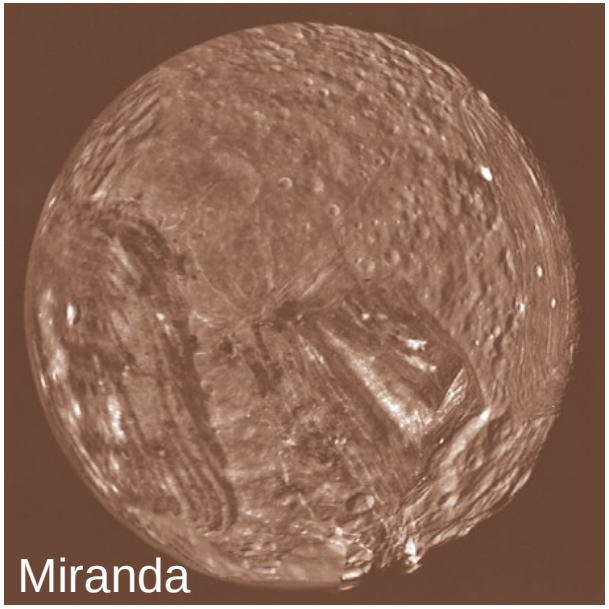
Urano



Todas as luas orbitam no seu plano equatorial (não no plano orbital) mas este está inclinado 97.5° em relação à eclíptica! A orientação do sistema de Urano é um mistério.

As Luas de Urano

Pelo menos 27 luas com nomes de caracteres de William Shakespeare e Alexander Pope.



40 % - 50 % água, o resto rocha.

Miranda

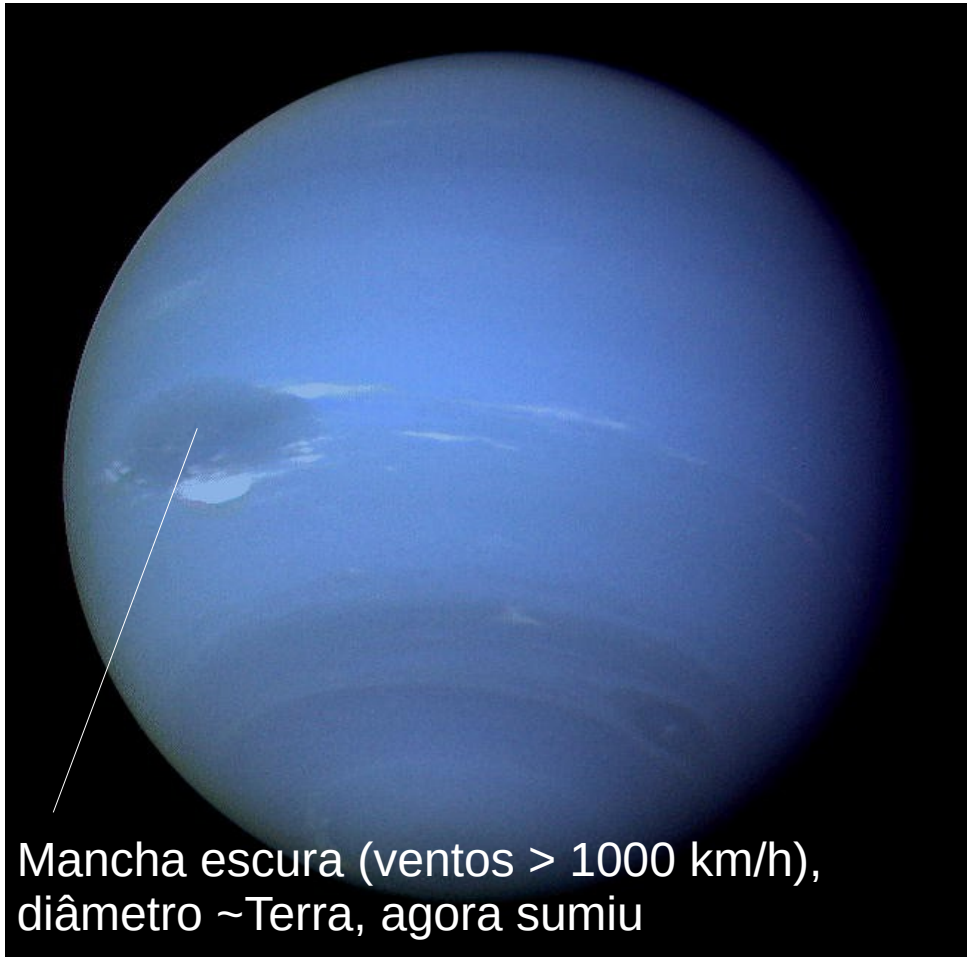
Diâmetro de 479 km.

Superfície altamente fraturada.
Há teorias, de que Miranda foi destruída e reconstruída várias vezes por colisões com asteróides ou forças de maré de Urano e outras luas.

Netuno

Símbolo ♆, Deus do Mar
8º planeta do Sol

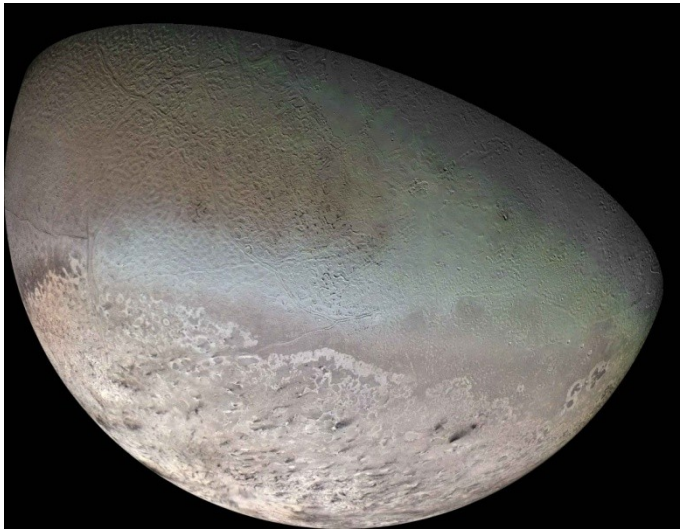
Previsto por John Couch Adams e Joseph leVerrier, descoberto 1846 por Johann Gottfried Galle



Rotação: 0.67 dias terr.
Revolução: 164.6 anos t.
Temperatura m.: -220 °C (não muito menos que $T_{♅}$, pela maior energia interna)
Massa: 17 $M_{\oplus}$
Raio: 3.8 $R_{\oplus}$ => densidade média: 1638 kg/m³

As Luas de Netuno

Tritão



Maior lua de Netuno

Temperatura: -236 °C

Coberto de N_2, CH_4, CO e CO_2 sólidos,
poucas crateras => recente

Lagos de gelo de água
indicativos de vulcões de gelo

Gêiseres de Nitrogênio líquido

Órbita retrógrada

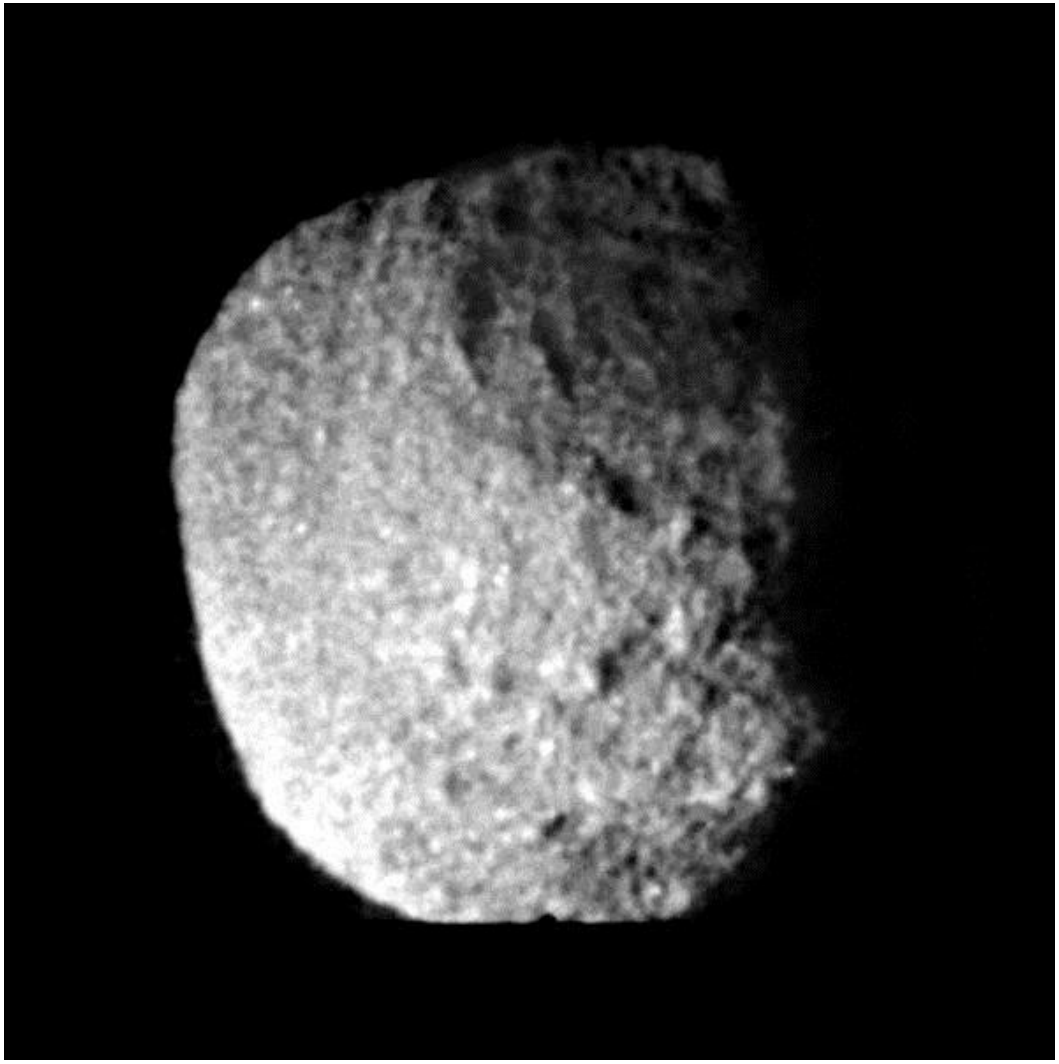
Objeto transnetuniano capturado?
Pode ter desestabilizado um
sistema de satélites pré-existente na órbita de Netuno

As Luas de Netuno

Proteu

Maior lua
não esférica do
Sistema Solar

Além de Tritão e Proteu,
Netuno tem mais
12 luas conhecidas



Resumo

Características dos planetas exteriores (jovianos)

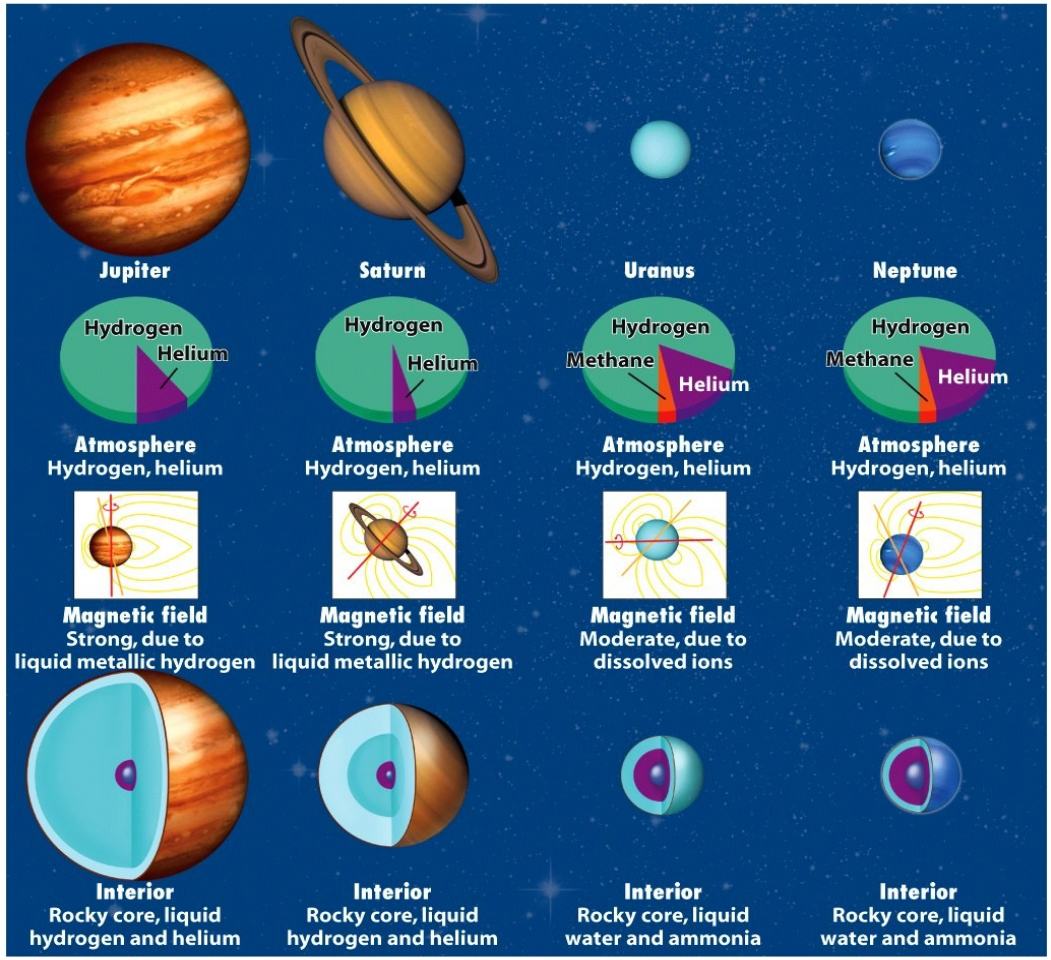
Table 7-1 Characteristics of the Planets

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

Table 7-1 part 2
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Resumo

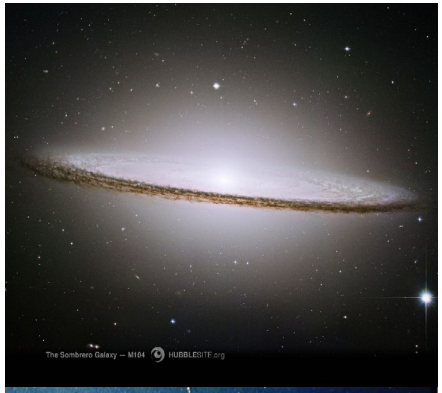
Características dos planetas exteriores (jovianos)

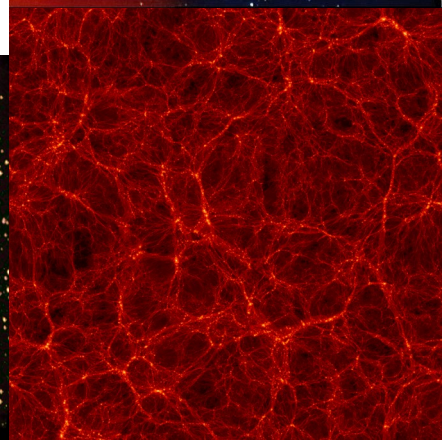
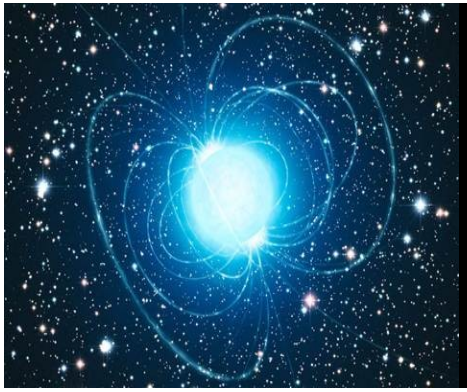
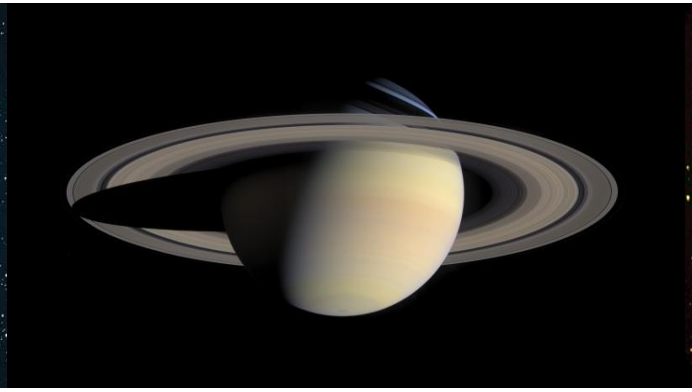
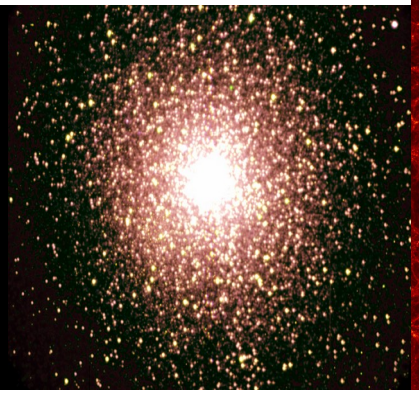


Cosmic Connections 7d
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Universidade Federal do ABC

Noções de Astronomia e Cosmologia





FIM PRA HOJE