

*O Sistema Solar:
seus componentes e características*

Roberto Ortiz - EACH/USP

O Sol

Objeto central do Sistema Solar, seu diâmetro equivale a 109 diâmetros terrestres.

Ele é composto majoritariamente por hidrogênio (73%) e hélio (25%). Todos os demais elementos químicos somados perfazem 2% (em massa)

O Sol gira em torno de seu eixo em cerca de 25 dias.

Suas características equivalem às de uma “estrela média”.

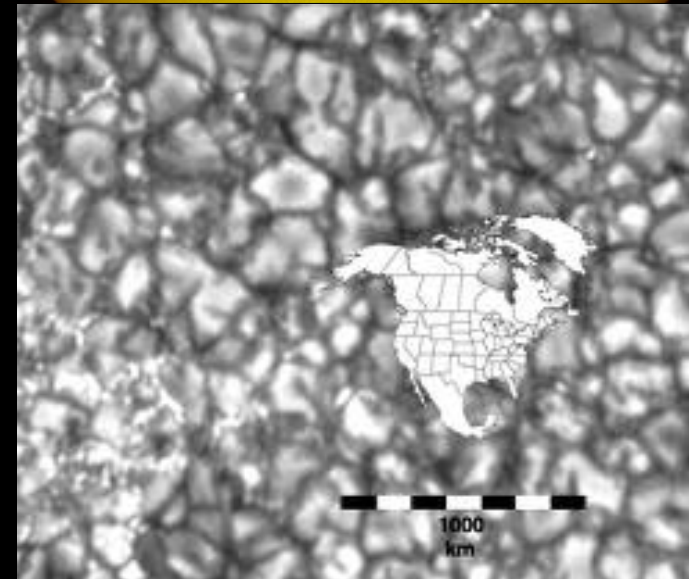


A atmosfera solar

A fotosfera é a camada mais evidente na região visível do espectro.

Sua cor é amarelada, o que indica que sua temperatura é de cerca de 5800 K (ou 5500°C).

Vista ao telescópio, apresenta um aspecto granulado, devido à convecção.



A cromosfera

A cromosfera é uma camada imediatamente superior à fotosfera.

Sua espessura é de cerca de 1,5 mil km. Sua densidade equivale a apenas 10^{-4} da densidade da fotosfera.

Sua temperatura varia entre 3800 e 35 mil K.

As protuberâncias são um fenômeno tipicamente cromosférico.

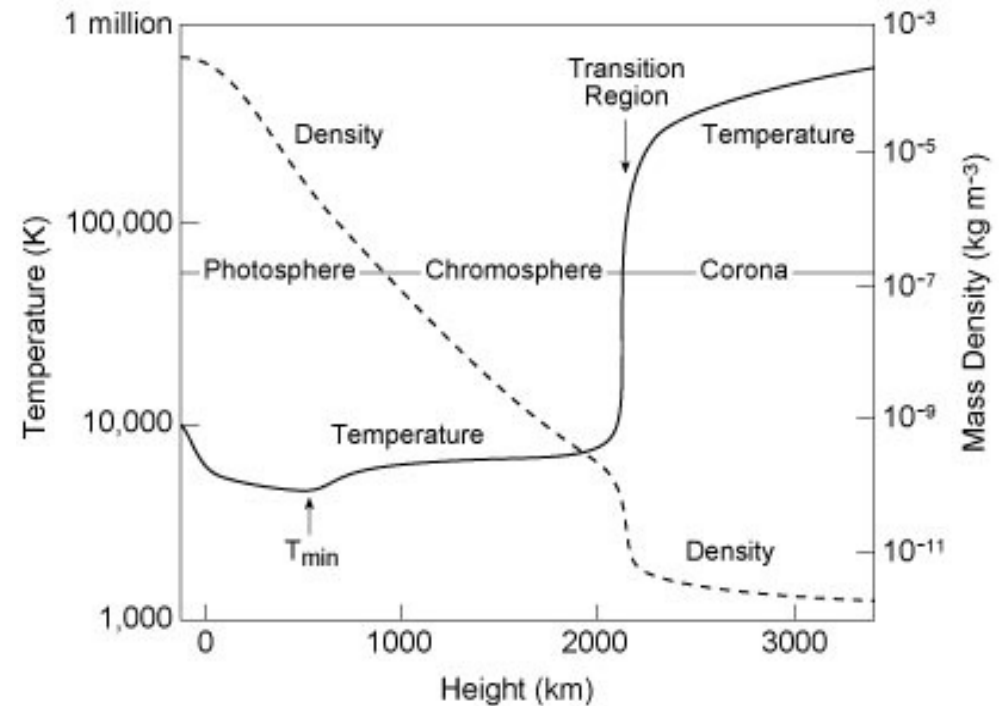


A cromosfera é visível durante os eclipses solares como um círculo muito vermelho em torno do disco solar.

Além da cromosfera...

Acima da cromosfera situa-se a “zona de transição”.

Acredita-se que o campo magnético seja o responsável pela aceleração dos elétrons e portanto do aquecimento da atmosfera solar além da zona de transição.



A coroa solar

Também chamada de *corona* é a camada mais externa do Sol.

Sua temperatura varia entre 1 e 4 milhões de Kelvin, mas sua densidade equivale a apenas 10^{-12} vezes a densidade da fotosfera.

Durante alguns períodos, a corona pode se estender até a vários raios solares.



A corona, vista durante um eclipse solar



Alguns fenômenos solares:

Manchas solares:

Ocorrem na fotosfera. São regiões de temperatura mais baixa ($T=4500\text{ K}$) do que a vizinhança ($T=5800\text{ K}$). Por isso as manchas brilham menos que as regiões vizinhas e por isso aparecem escuras quando vistas contra um fundo brilhante da fotosfera.

Protuberâncias solares:

Ocorrem na cromosfera. Gás ionizado (H, He e elétrons) é lançado a grandes distâncias sob a forma de erupções. A configuração do campo magnético determina o aspecto das protuberâncias.



Relative size of Earth → •

Manchas Solares



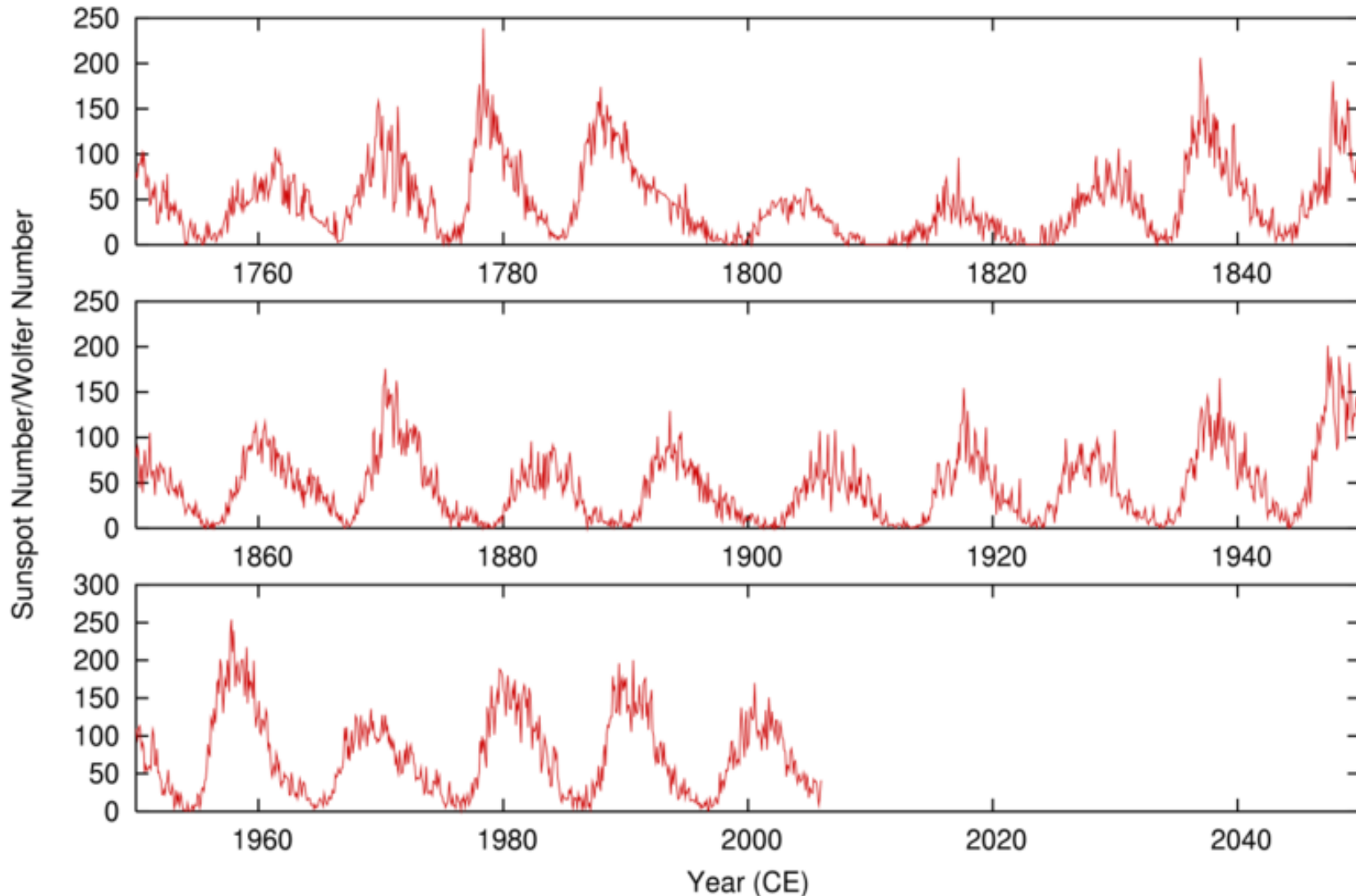
Protuberância



Corona e protuberâncias solares

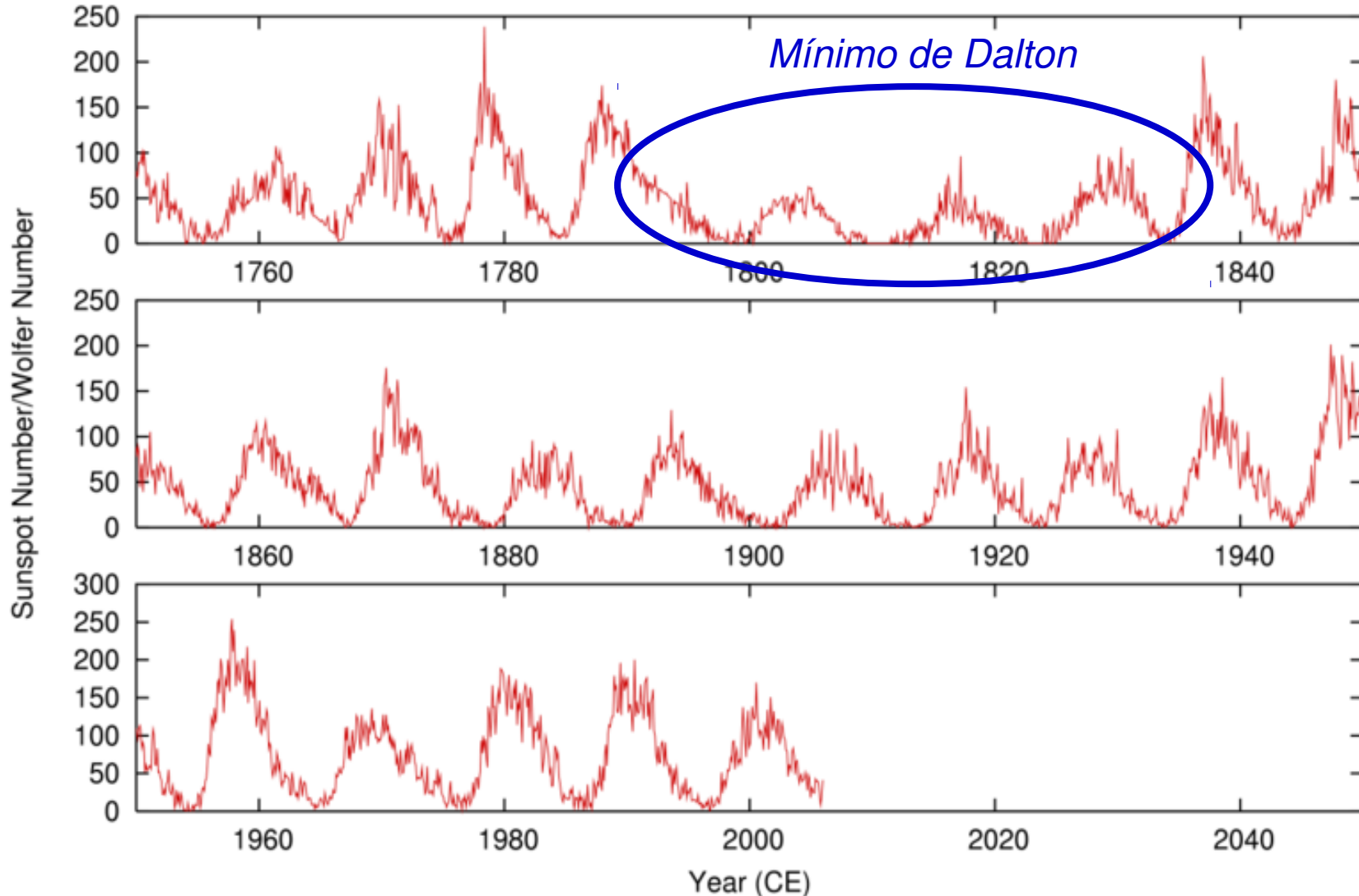
A atividade solar é medida pelo número de manchas. Ela segue um período com um período cíclico de 11 anos. A cada ciclo os pólos magnéticos solares se invertem.

Número de manchas solares (média mensal)



A atividade solar é medida pelo número de manchas. Ela segue um período com um período cíclico de 11 anos. A cada ciclo os pólos magnéticos solares se invertem. O mínimo de Dalton (e outros) parece estar relacionado com mudança do clima terrestre

Número de manchas solares (média mensal)



Os planetas telúricos



Composição atmosférica dos planetas telúricos:

Mercúrio:

não tem atmosfera

Vênus:

97% **CO₂**, 3% N₂, traços de SO₂ e Ar.

Terra:

78% **N₂**, 21% O₂, 0.9% Ar.

Marte:

95% **CO₂**, 3% N₂, 0.3% de CO, 0.1% O₂.

Composição atmosférica dos planetas telúricos:

Mercúrio:

não tem atmosfera

Vênus:

97% **CO₂**, 3% N₂, traços de SO₂ e Ar.

Terra:

78% N₂, 21% O₂, 0.9% Ar.

Marte:

95% **CO₂**, 3% N₂, 0.3% de CO, 0.1% O₂.

A grande quantidade de CO₂ na atmosfera de Vênus e Marte gera um forte **efeito estufa**.

Temperatura na superfície dos planetas telúricos:

Mercúrio:

$$T = -170 \text{ a } +430^{\circ}\text{C}$$

Vênus:

$$T = +460^{\circ}\text{C}$$

Terra:

$$T = \sim 17^{\circ}\text{C}$$

(Lua: $T = -150 \text{ a } +110^{\circ}\text{C}$)

Marte:

$$T = -90 \text{ a } -5^{\circ}\text{C}$$

Temperatura na superfície dos planetas telúricos:

Mercúrio:

$T = -170 \text{ a } +430^{\circ}\text{C}$

Vênus:

$T = +460^{\circ}\text{C}$

Efeito estufa moderado

Terra:

$T = \sim 17^{\circ}\text{C}$

(**Lua:** $T = -150 \text{ a } +110^{\circ}\text{C}$)

Marte:

$T = -90 \text{ a } -5^{\circ}\text{C}$

Forte efeito estufa



Nuvens de Vênus

Visto ao telescópio, não se distingue detalhe algum, pois sua superfície está sempre coberta de nuvens de SO_2 e H_2O .

Nas nuvens ocorre a reação:



A “chuva ácida” não chega a tocar o solo de Vênus, pois o H_2SO_3 dissocia-se novamente em $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, tornando a evaporar-se.



Nuvens da Terra

Apesar do componente principal da atmosfera terrestre ser o N_2 , as nuvens são compostas por H_2O .

Ventos movimentam grande massas de nuvens no planeta

A precipitação de H_2O sobre a superfície terrestre pode gerar depósitos superficiais de gelo (neve) durante o inverno. Próximo aos pólos, este depósito é permanente.



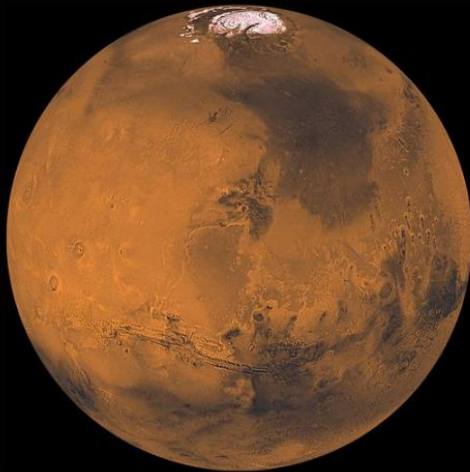
Nuvens cobre a Terra vista do espaço
Imagem: Apollo 17

Nuvens em Marte

Marte, apesar de sua atmosfera rarefeita, apresenta nuvens, compostas por gelo de H₂O e de CO₂.

Elas se formam a 10 – 15 km de altura, como as nuvens tipo *cirrus* na Terra.

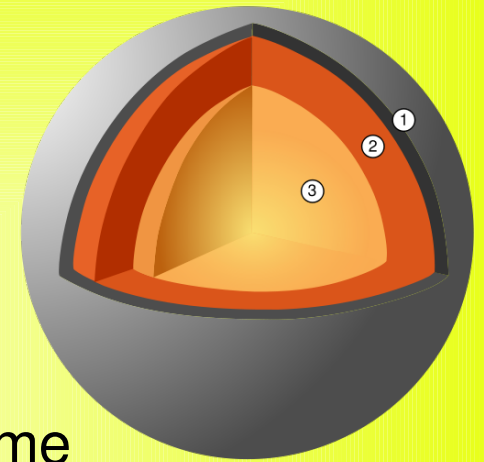
Durante o inverno o gelo se precipita sobre os pólos de Marte, formando calotas polares



À direita: nuvens em Marte (imagem obtida pela sonda *Pathfinder*, NASA)

À esquerda: Marte e sua calota polar durante o inverno no hemisfério norte do planeta

Geologia dos planetas telúricos



Mercúrio:

- núcleo de Fe ⁽³⁾ perfazendo 55 – 60% de seu volume
- Manto ⁽²⁾ composto de silicatos, como a Terra
- Crosta ⁽¹⁾ com 35 km de espessura
- Crateramento severo, originado entre 4,6 até 3,8 bilhões de anos atrás, facilitado pela ausência de atmosfera . Quase todas as crateras são de impacto.
- Grandes derramamentos basálticos, semelhantes aos da Lua, cessaram há ~3,5 bilhões de anos.

Mercúrio



Mercúrio



Geologia dos planetas telúricos

Vênus:

- Pouco se sabe sobre sua estrutura interna, mas acredita-se que possui núcleo, manto e crosta.
- No passado havia vulcanismo ativo, o que ocasionou derramamentos basálticos em sua superfície.
- Não há evidências de placas tectônicas, como as da Terra
- A densa atmosfera (a pressão chega a 92 atm) protege o planeta de impactos.



Fotografia da superfície de Vênus, mostrando rochas basálticas
(Imagem: sonda Venera 14)

Geologia dos planetas telúricos

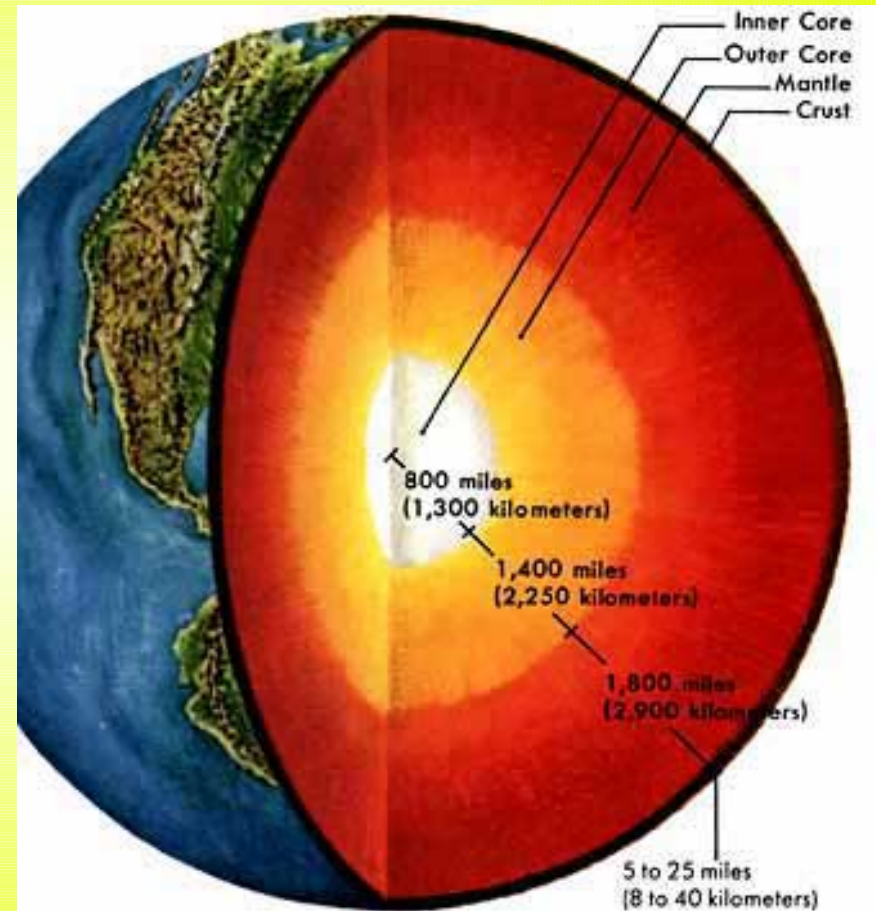
Terra:

Possui um núcleo rico em Fe e Ni, que perfaz apenas 15% do volume do planeta. O núcleo tem uma parte sólida (interna) e líquida (externa).

O manto é composto por silicatos de Fe e Mg.

A crosta tem uma espessura variável entre 5 e 70 km. É formada por rochas ígneas (basalto), silicatos (por exemplo, granito, areia), etc.

Há crateras de impacto e também formadas por vulcões, ativos e extintos.



Estrutura da Terra. Pode-se ver o core (núcleo) Interno e externo, o manto e a crosta (crust).

À direita: cratera vulcânica *Diamond Head*, Hawaii, EUA.

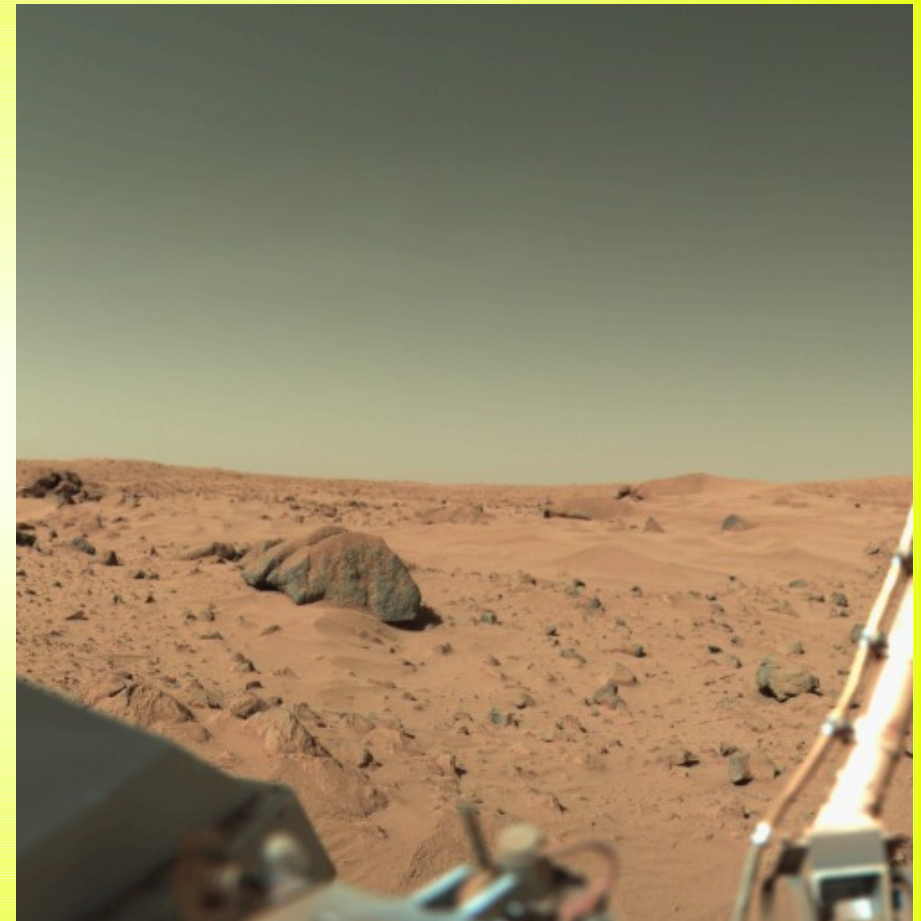


À esquerda: cratera de impacto no Estado do *Arizona*, EUA.

Geologia dos planetas telúricos

Marte:

- Possui um núcleo rico em Fe e Ni, que perfaz 15% do volume do planeta.
- Possui um manto rico em silicatos, como a Terra.
- A crosta é composta de silicatos de Fe, Mg, Al e K.
- Marte é sismicamente ativo. Centenas de sismos foram detectados em 1 ano (sonda *InSight*, 2019).
- Apresenta crateras de impacto e também vulcânicas (vulcões todos extintos).



Fotografia da superfície de Marte, mostrando rochas basálticas cobertas de poeira. A cor Vermelha deve-se ao óxido de Fe.
(Imagem: sonda Viking-1)



Paisagem marciana.
A poeira avermelhada é causada pela presença de óxido de ferro.

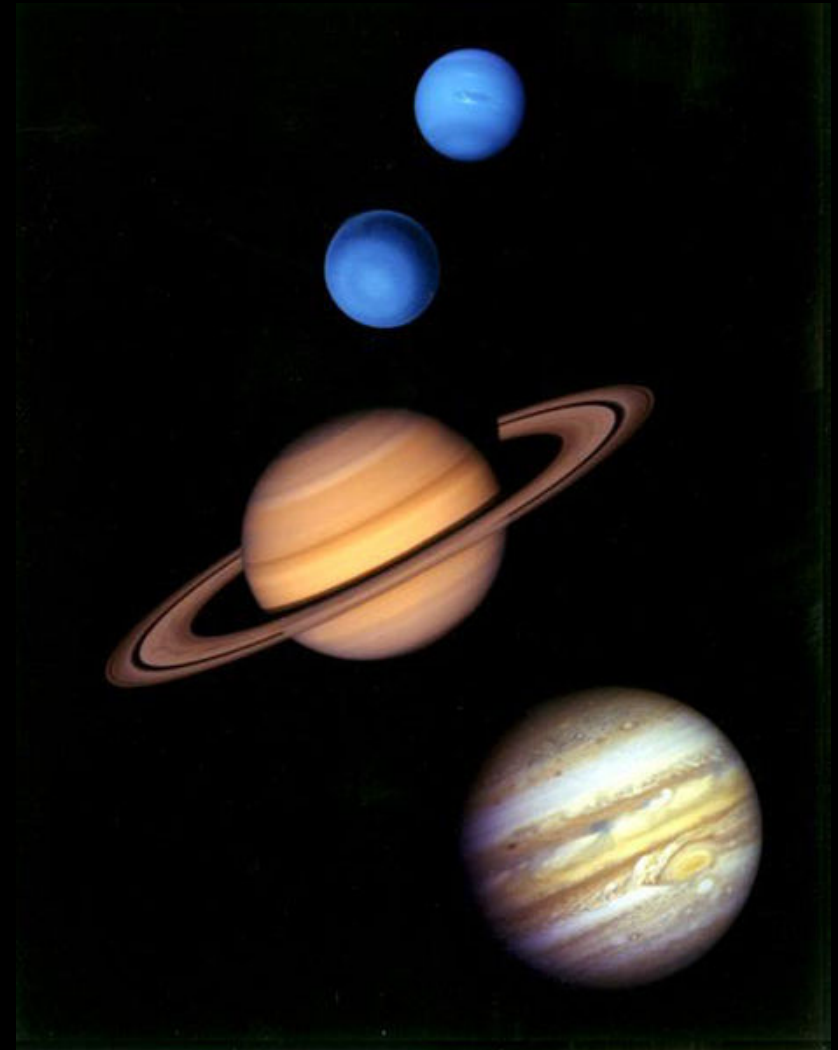


Vista de Marte, com suas crateras de impacto e planícies basálticas.

Planetas Gasosos

Devido à grande distância do Sol, os 4 planetas gasosos possuem anéis, semelhantes aos de Saturno.

Devido à sua grande massa, todos eles mantêm um grande número de satélites aprisionados em seu campo gravitacional.



Planetas telúricos: uma comparação

Planeta	Dist. ao Sol (U.A.)	Diâmetro (Terra = 1)	Massa (Terra = 1)	Densidade média (g/cm ³)	Gravidade superficial (Terra = 1)	Pressão atmosférica na superfície	Velocidade de escape (km/s)	Número de satélites
Mercúrio	0.39	0.38	0.055	5.43	0.38	0	4.3	0
Vênus	0.72	0.95	0.82	5.24	0.91	90	10.4	0
Terra	1.00	1.00	1.00	5.52	1.00	1.00	11.2	1
Marte	1.52	0.53	0.11	3.94	0.38	0.007-0.010	5.0	2
Júpiter	5.2	11.2	318	1.33	2.36	0.3	59.5	>63
Saturno	9.5	9.5	95	0.70	0.91	0.4	35.5	>60
Urano	19.2	4.0	15	1.30	0.89	?	21.3	>27
Netuno	30.0	3.9	17	1.76	1.12	?	23.7	>13

Planetas gasosos: uma comparação

Planeta	Dist. ao Sol (U.A.)	Diâmetro (Terra = 1)	Massa (Terra = 1)	Densidade média (g/cm ³)	Gravidade superficial (Terra = 1)	Pressão atmosférica na superfície	Velocidade de escape (km/s)	Número de satélites
Mercúrio	0.39	0.38	0.055	5.43	0.38	0	4.3	0
Vênus	0.72	0.95	0.82	5.24	0.91	90	10.4	0
Terra	1.00	1.00	1.00	5.52	1.00	1.00	11.2	1
Marte	1.52	0.53	0.11	3.94	0.38	0.007-0.010	5.0	2
Júpiter	5.2	11.2	318	1.33	2.36	0.3	59.5	>63
Saturno	9.5	9.5	95	0.70	0.91	0.4	35.5	>60
Urano	19.2	4.0	15	1.30	0.89	?	21.3	>27
Netuno	30.0	3.9	17	1.76	1.12	?	23.7	>13

Temperatura na atmosfera dos planetas gasosos:

Júpiter:

$$T = - 160^{\circ}\text{C}$$

Saturno:

$$T = - 190^{\circ}\text{C}$$

Urano:

$$T = - 220^{\circ}\text{C}$$

Netuno:

$$T = - 220^{\circ}\text{C}$$

Composição atmosférica dos planetas gasosos:

Júpiter:

90% H, 10% He, 0.3% CH₄, 0.03% NH₃

Saturno:

96% H, 3% He, 0.4% CH₄, 0.01% NH₃ .

Urano:

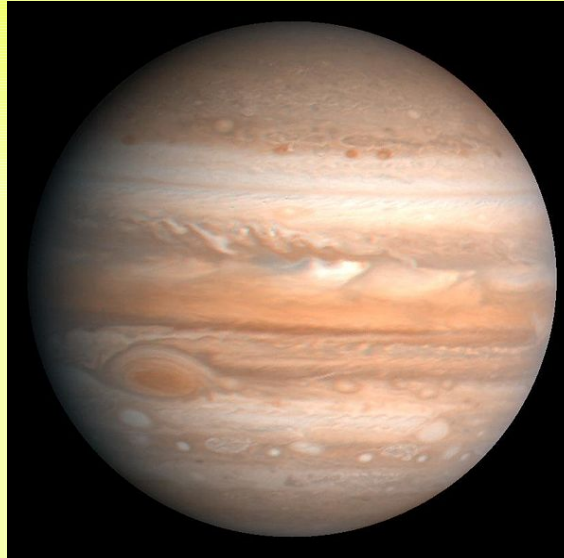
83% H, 15% He, 2.3% CH₄, .

Netuno:

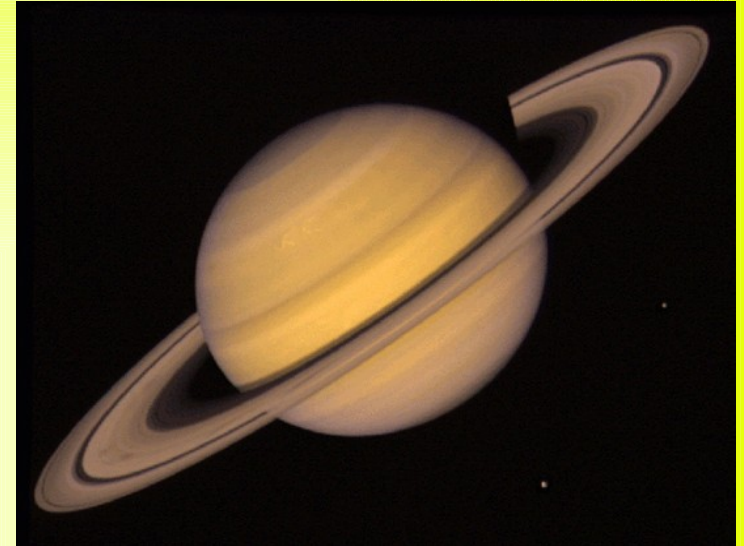
80% H, 19% He, 1.5% CH₄.

Composição das nuvens dos planetas gasosos:

Júpiter e Saturno:
compostos de
amônia (NH_3)

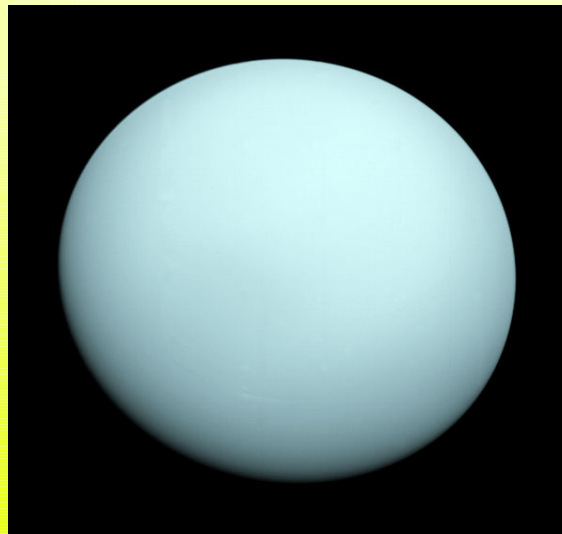


Júpiter

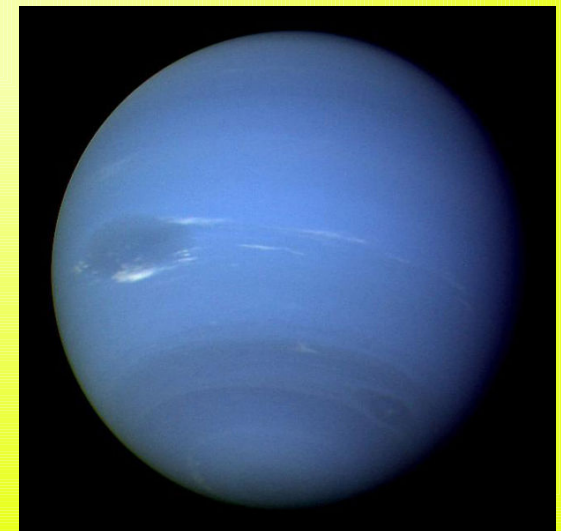


Saturno

Urano e Netuno:
metano (CH_4)



Urano



Netuno

As nuvens de Júpiter (e Saturno) parecem faixas devido à rápida rotação do planeta. O período é de 9h55m.

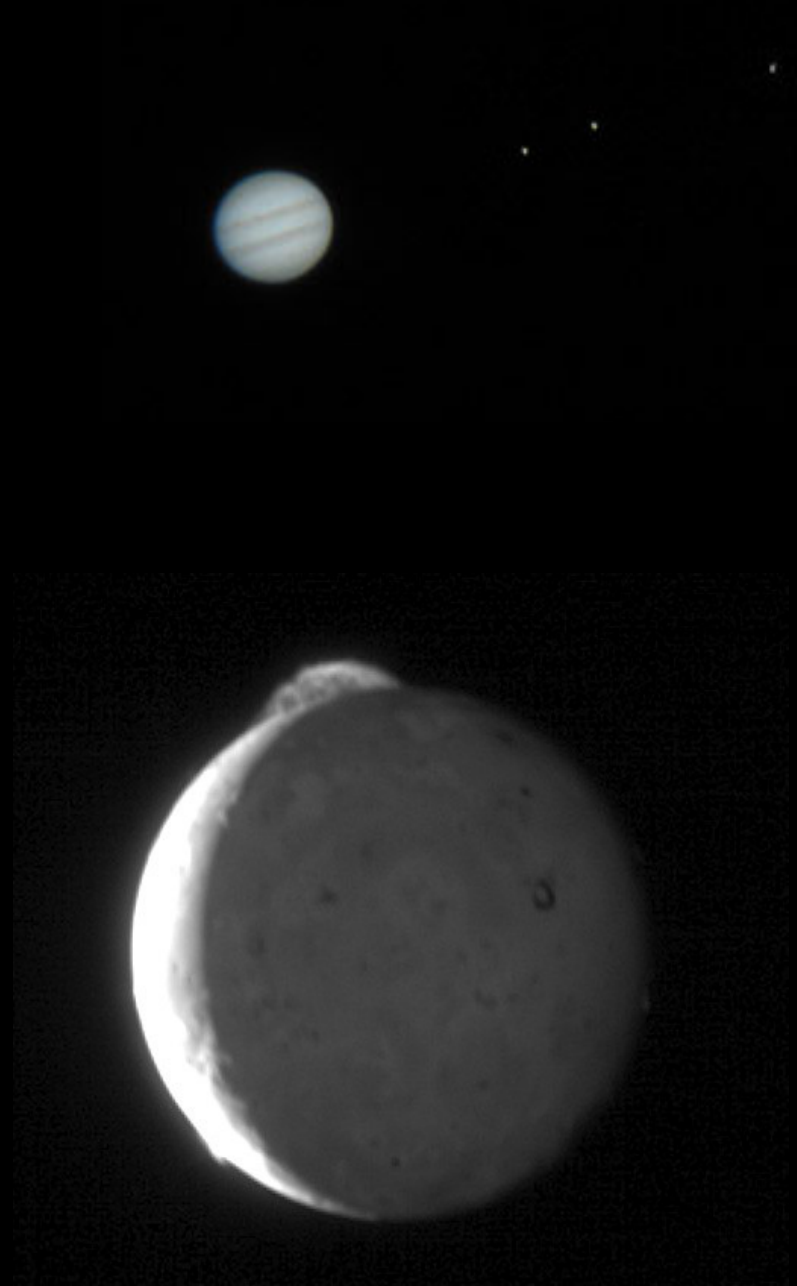


Acima: Jupiter e suas nuvens.
Imagem: sonda *Pionner* (1973)

Os 4 maiores satélites de Júpiter podem ser vistos da Terra através de um pequeno telescópio. Foram descobertos por Galileu Galilei em 1609.

Em **Io**, satélite de Júpiter, há um vulcão ativo, cuja erupção foi observada por várias sondas. Durante as erupções há derramamento de lava na superfície do satélite.

Io possui atmosfera muitíssimo rarefeita composta por SO_2 .



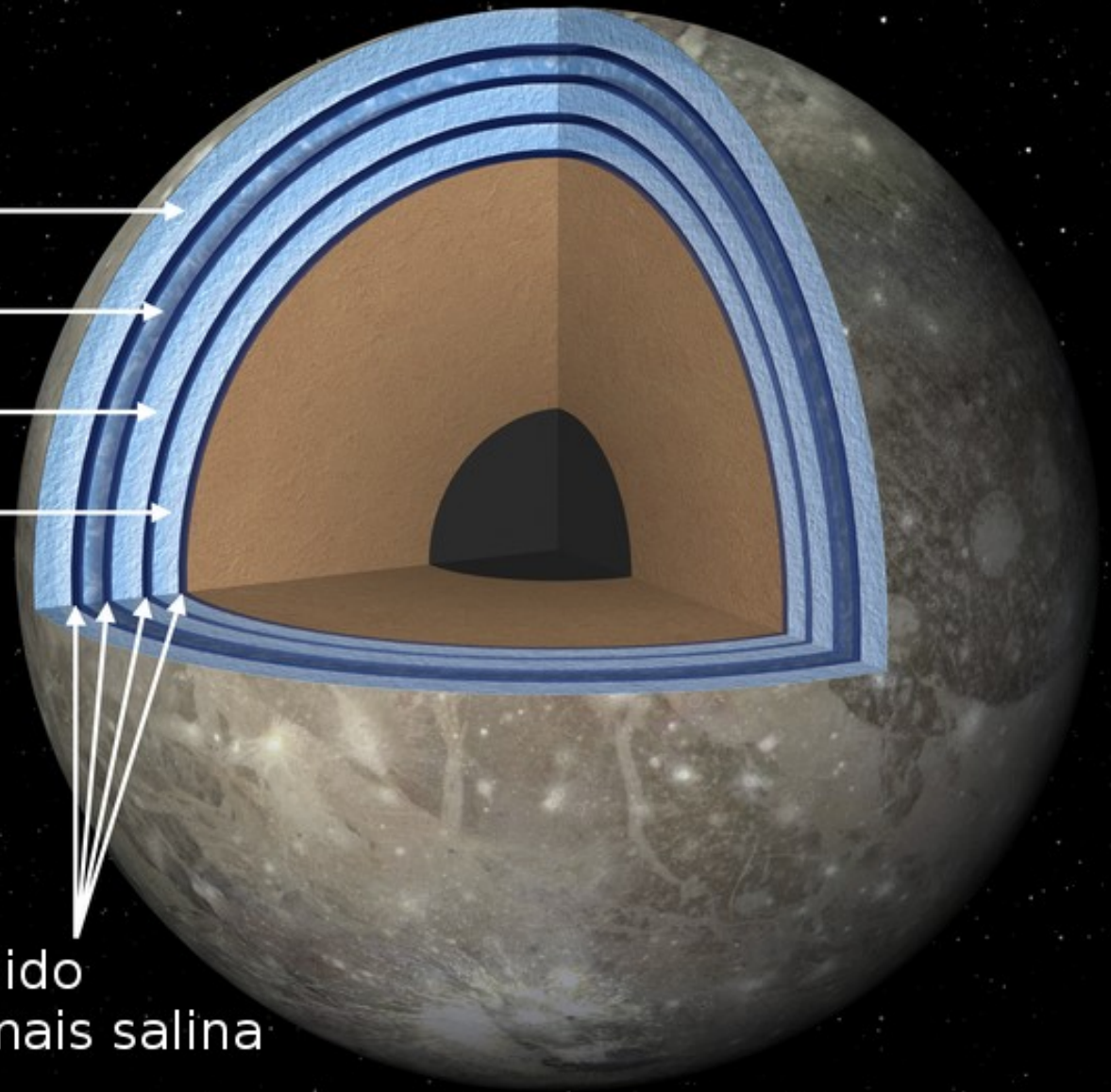
Ganymede

- gelo
- gelo + neve
- gelo
- gelo

Camadas de oceano liquido
quanto mais profunda, mais salina

Lua

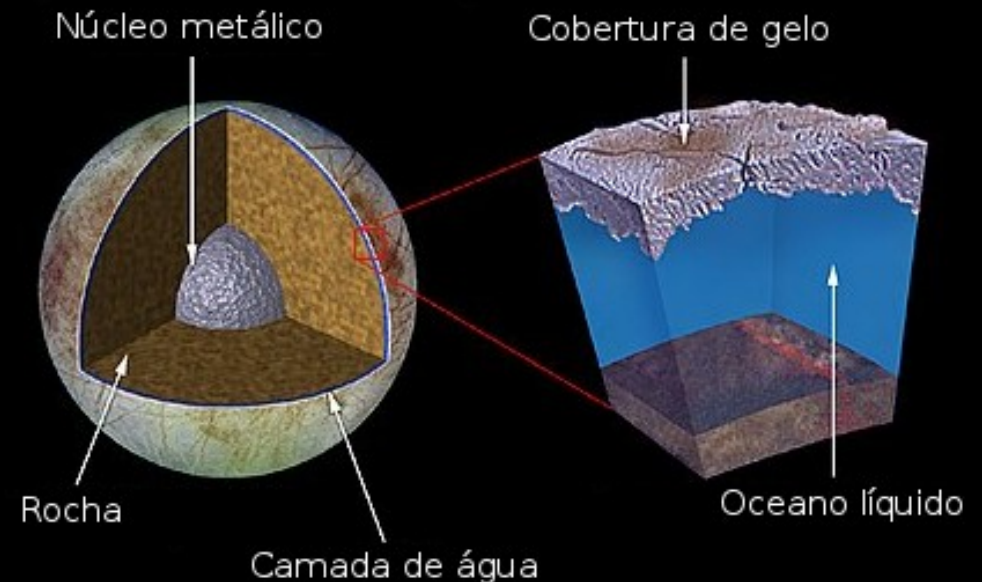
Mercúrio



Europa (à direita) presumivelmente possui um oceano líquido sob uma camada de gelo.

A água não se solidifica devido ao calor gerado pelo atrito causado pela força de maré de Júpiter devido à proximidade do planeta.

Outro satélite de Júpiter, **Calisto** possivelmente também possui oceanos, como Europa.

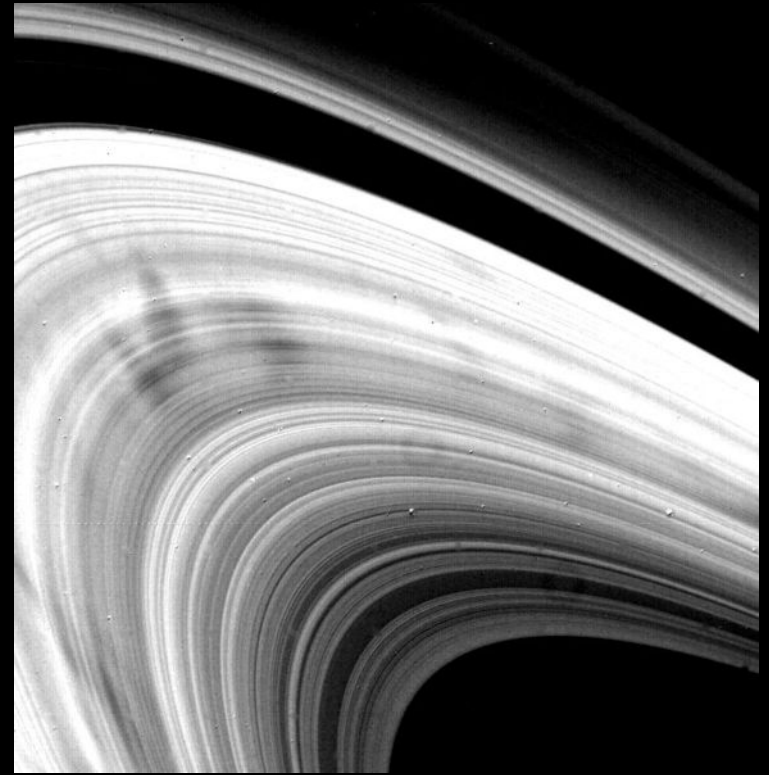


Os anéis de Saturno são pedaços de rocha e gelo com dimensões entre fração do milímetro até vários metros.

Eles são facilmente visíveis, mesmo através de um pequeno telescópio, porque o gelo do qual são feitos os anéis, reflete bem a luz solar.

Por outro lado, os anéis de Júpiter contém grafite em sua composição, e por isso são escuros e de difícil visualização.

Os anéis de Urano (ao lado) foram descobertos em 1977.



Acima: anéis de Saturno.

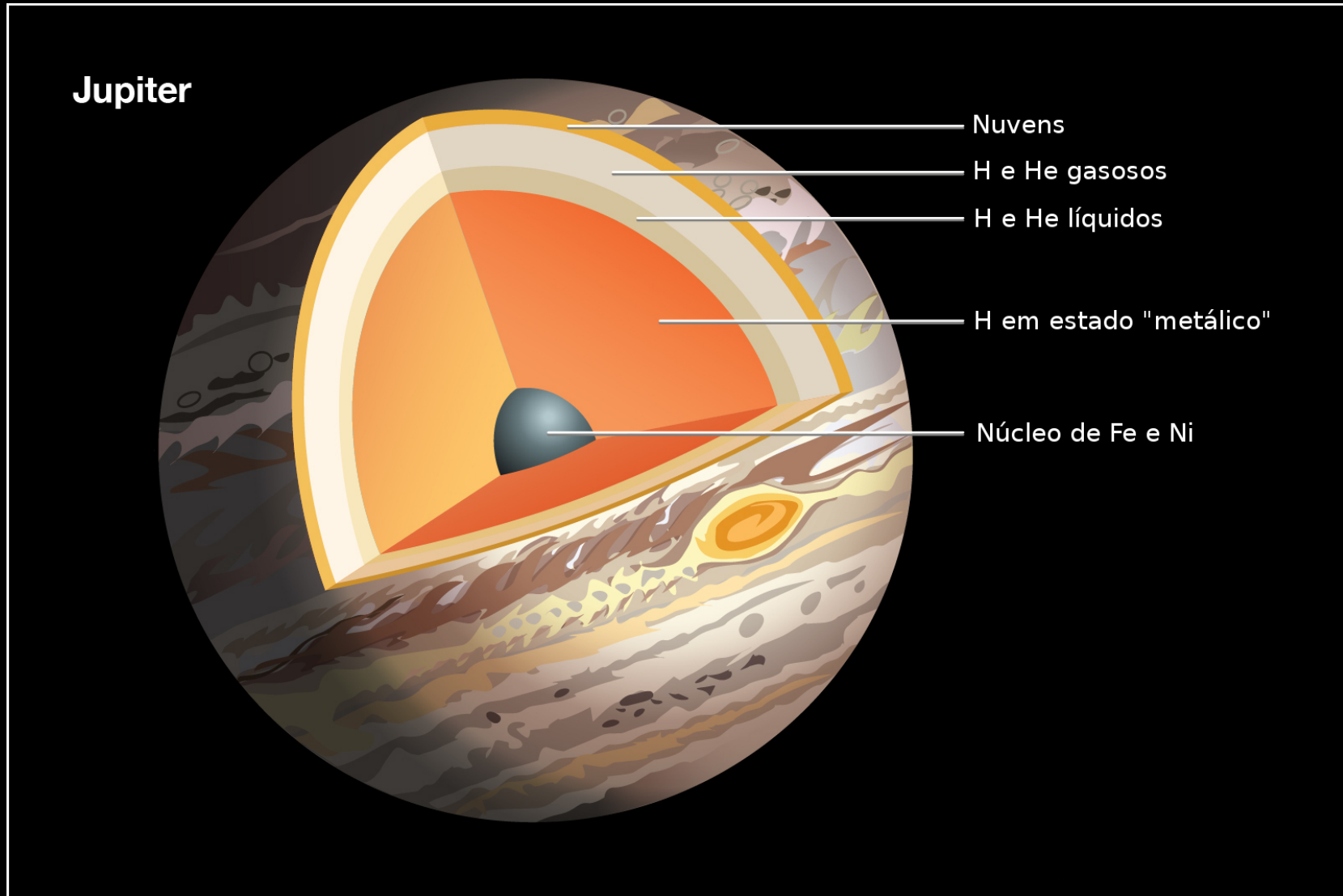
Abaixo: Urano e seus anéis.





Visão interna dos anéis (concepção artística)

Estrutura interna de Júpiter e Saturno



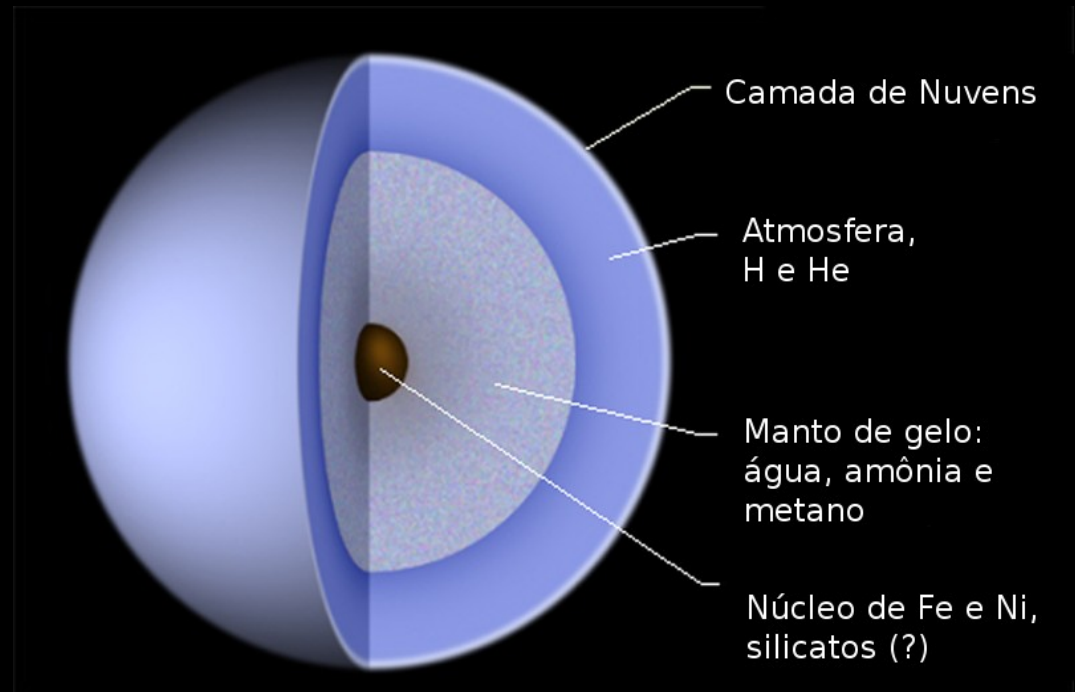
No "estado metálico" o hidrogênio apresenta características semelhantes aos metais: é condutor de eletricidade, mas permanece como líquido.

Estrutura interna de Urano e Netuno

As nuvens são a parte mais externa da atmosfera.

À medida que se aprofunda, o H e He passam do estado gasoso para líquido. Mais internamente torna-se sólido

Sua estrutura interna deve incluir um pequeno núcleo metálico e um extenso manto de gelo.



Acima: a estrutura dos planetas Urano e Netuno.

Para saber mais:



Astronomia & Astrofísica,
S.O. Kepler & Maria de
Fátima Saraiva, Cap. 14.