

08. Atmosferas planetárias



<https://climate.nasa.gov/news/2914/the-atmosphere-earths-security-blanket/>

Pressão atmosférica

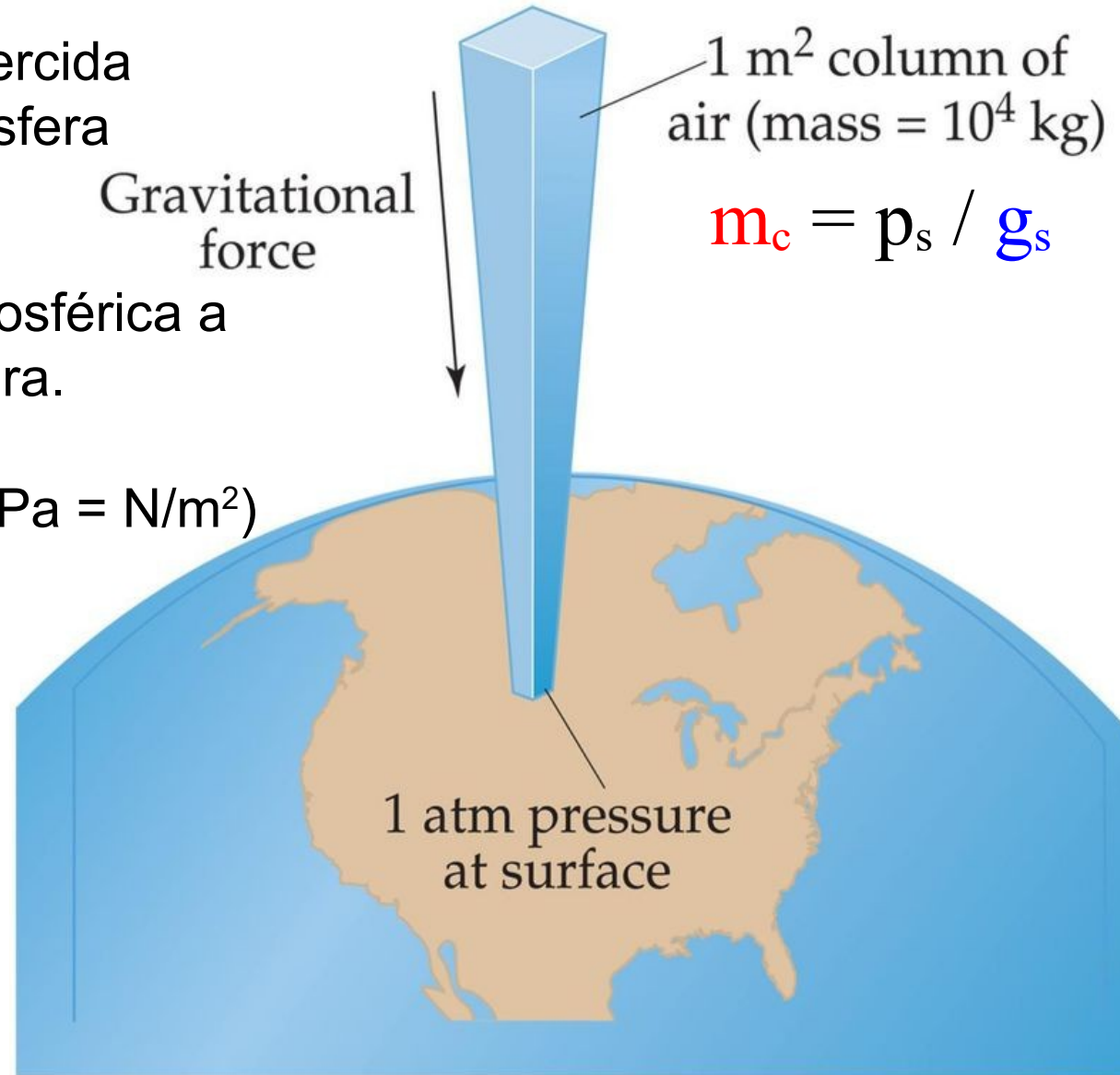
É a força (gravidade) exercida por uma coluna da atmosfera sobre 1m².

Na Terra, a pressão atmosférica a nível do mar é 1 atmosfera.

1 atm = 101325 Pascal (Pa = N/m²)
= 1,01 x 10⁵ Pa

$$p_s = m_c g_s$$

Pressão superficial Massa colunar (massa de coluna por m²) Gravidade superficial

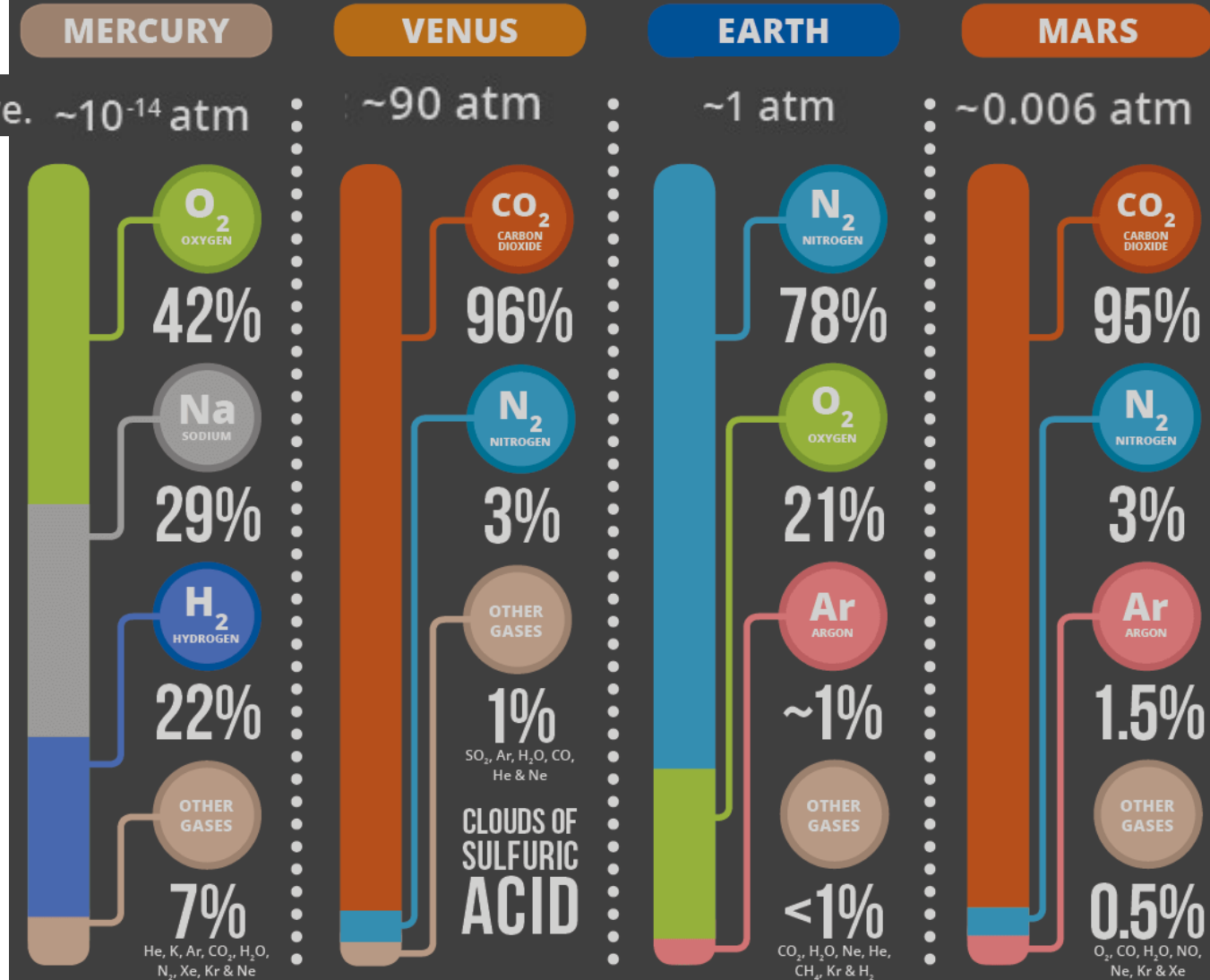


THE ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM

Mercúrio não tem atmosfera estável, apenas uma “exosfera” ultra fina (100 trilhões de vezes inferior à Terra) composta de átomos expelidos da superfície pelo vento solar e meteoróides

<http://www.compoundchem.com/2014/07/25/planetatmospheres/>

The Terrestrial Planets



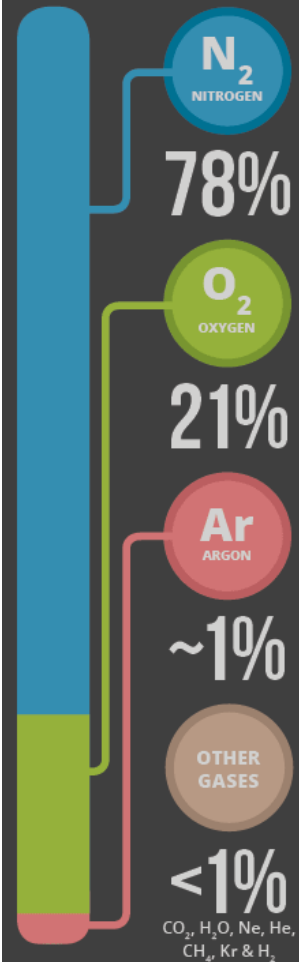
Pressures for terrestrial planets are surface pressures. Mercury's atmosphere is not an atmosphere in the strict sense of the word, being a trillion times thinner than Earth's.

THE ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM

The Gas and Ice Giants

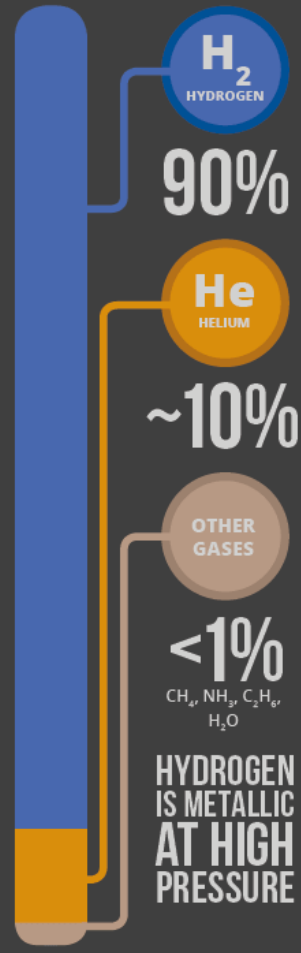
EARTH

Pressure: ~1 atm



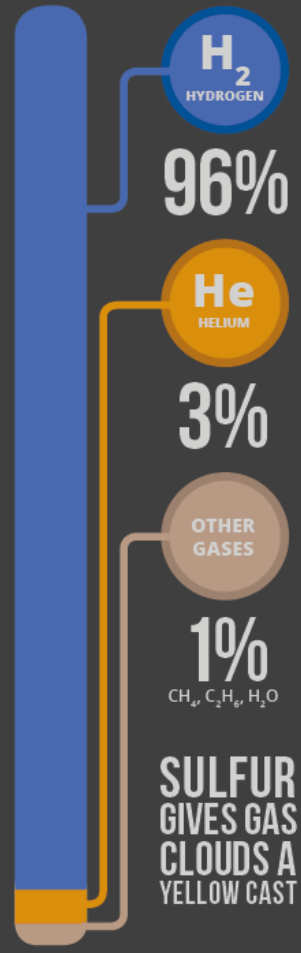
JUPITER

>>1000 atm



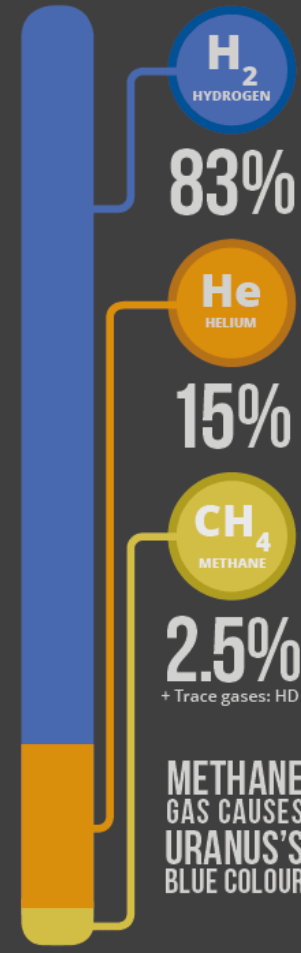
SATURN

>>1000 atm



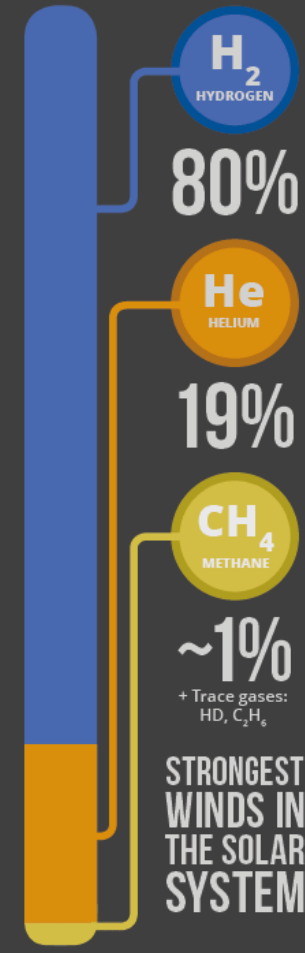
URANUS

>>1000 atm



NEPTUNE

>>1000 atm

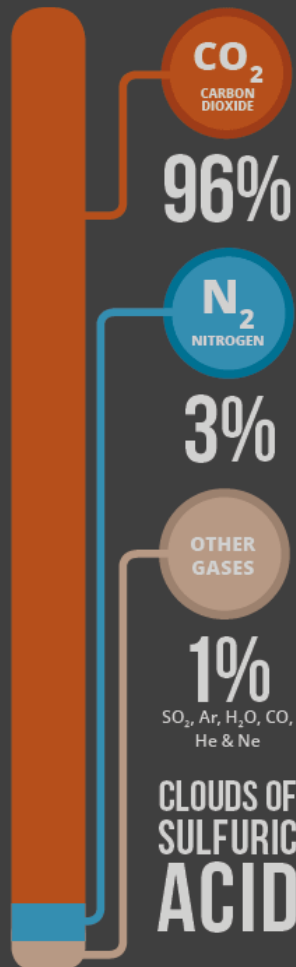


THE ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM

The Terrestrial Planets

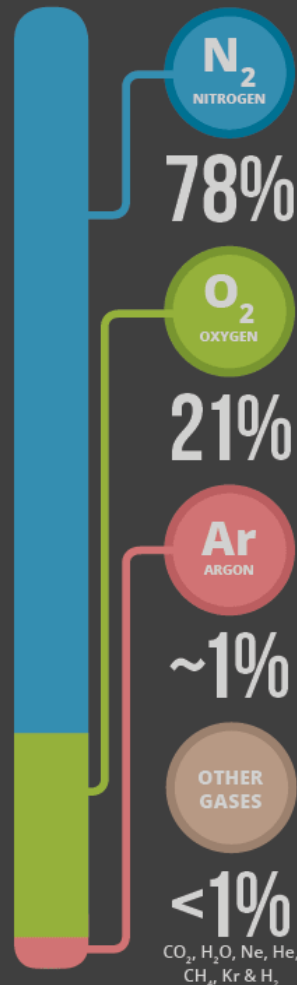
VENUS

~90 atm



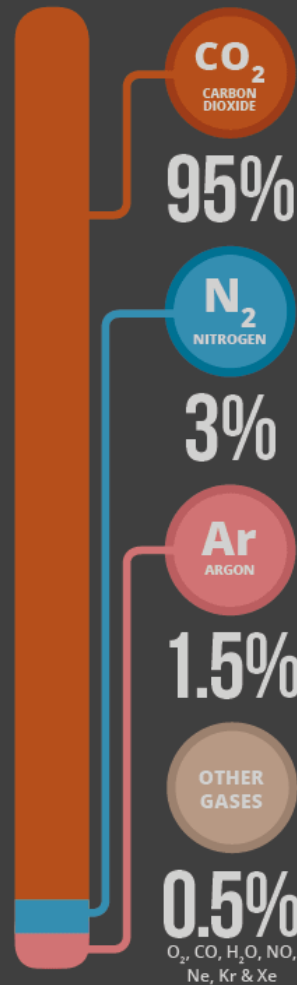
EARTH

~1 atm



MARS

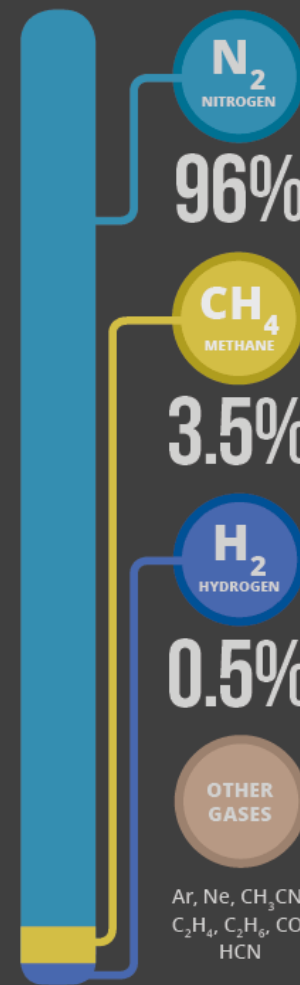
~0.006 atm



TITAN

Moon of Saturn

~1.45 atm



PLUTO

Transneptunian

~3 x 10⁻⁶ atm

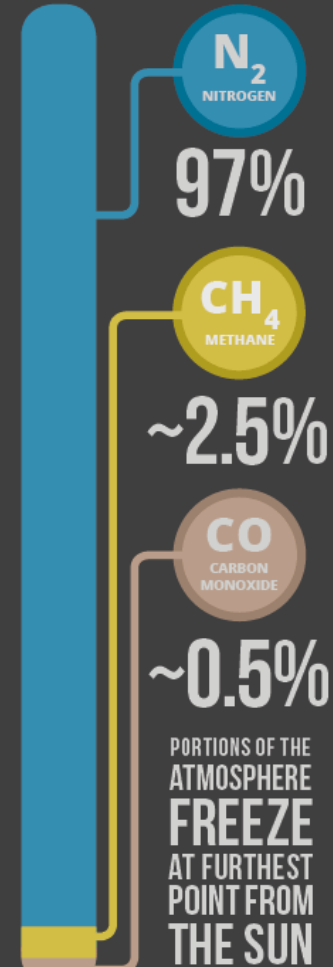


Table 9.1 Some properties of the substantial planetary atmospheres

Planetary body	Major gases/number fractions	Escape speed ^c / km s ⁻¹
Venus	CO ₂ 0.96, N ₂ 0.035	10.4
Earth	N ₂ 0.77, O ₂ 0.21, Ar 0.009, H ₂ O 0.01	11.2
Mars	CO ₂ 0.95, N ₂ 0.027, Ar 0.016	5.0
Titan Moon of Saturn	N ₂ 0.95, CH ₄ 0.047	2.64
Triton Moon of Neptune	Mainly N ₂ , some CH ₄	1.45
Pluto ^a TransNeptunian	Mainly N ₂ , some CH ₄ and CO	1.3
Jupiter ^b	H ₂ 0.863, He 0.135, CH ₄ 0.0018	59.5
Saturn ^b	H ₂ 0.881, He 0.122, CH ₄ 0.0045	35.5
Uranus ^b	H ₂ 0.83, He 0.15, CH ₄ 0.016	21.3
Neptune ^b	H ₂ 0.83, He 0.15, CH ₄ 0.022	23.5

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Os planetas gigantes têm maiores velocidades de escape, permitindo manter espécies leves, que se deslocam aleatoriamente a velocidades mais altas.

^a Pluto's orbital eccentricity is large and its atmospheric properties vary as it goes around its orbit. The values are for the present, with Pluto not far from perihelion.

^b The surface quantities for the giant planets are at the altitude where $p = 10^5$ Pa. The composition is for the total mass of atmosphere to greater depths.

^c At the surface, at the equator, and including the effects of rotation.

Table 9.1 Some properties of the substantial planetary atmospheres

Planetary body	4. Surface gravity ^c / $m\ s^{-2}$ $g = \frac{GM}{r^2}$	5. Mean surface pressure/ $10^5\ Pa$	6. Column mass ^d / $10^4\ kg\ m^{-2}$
Venus	8.88	93	102
Earth	9.78	1.01	1.03
Mars	3.72	0.0056	0.015
Titan Moon of Saturn	1.35	1.5	11
Triton Moon of Neptune	0.78	$2-4.5 \times 10^{-5}$	$2.6-5.8 \times 10^{-4}$
Pluto ^a TransNeptunian	0.8	$\sim 15 \times 10^{-5}$	1.9×10^{-4}
Jupiter ^b	24.7	1	247
Saturn ^b	10.4	1	104
Uranus ^b	8.8	1	88
Neptune ^b	11.1	1	111

$$m_c = p_s / g_s$$

1 A superfície dos planetas gigantes é definida em $P = 10^5\ Pa$

^a Pluto's orbital eccentricity is large and its atmospheric properties vary as it goes around its orbit. The values are for the present, with Pluto not far from perihelion.

^b The surface quantities for the giant planets are at the altitude where $p = 10^5\ Pa$. The composition is for the total mass of atmosphere to greater depths.

^c At the surface, at the equator, and including the effects of rotation.

^d Obtained by dividing the value in the fifth column by that in the fourth.

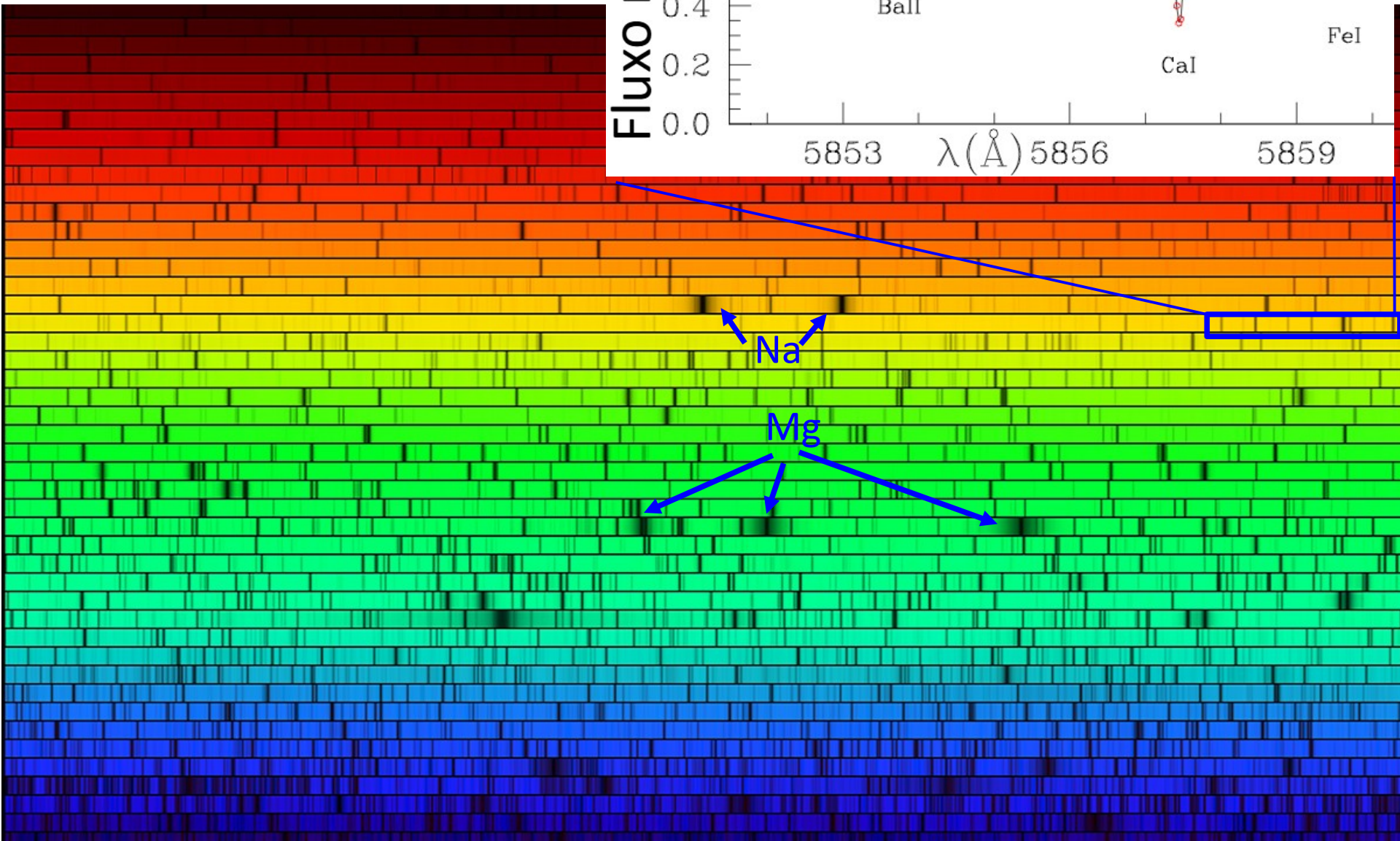
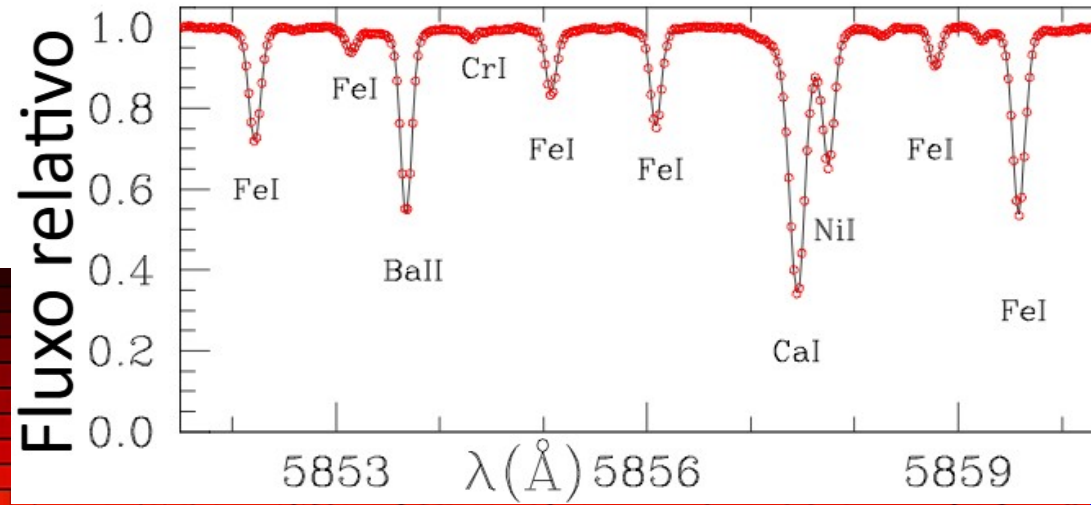
Table 9.1 Some properties of the substantial planetary atmospheres

Planetary body	7. Mean surface temperature/ K		T_{eq}	Albedo
Venus	740	$T_{eq} = T_{\odot} (1 - a)^{1/4} \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2D}}$ <p>Podemos aplicar a lei do gás ideal, que relaciona a temperatura, densidade e pressão:</p> $p = \frac{\rho k T}{m_{av}}$ <p>m_{av} é a massa média e k é a constante de Boltzmann</p>	232	0,75
Earth	288		255	0,30
Mars	218		216	0,16
Titan Moon of Saturn	94		86	0,22
Triton Moon of Neptune	40		35	0,76
Pluto ^a TransNeptunian	40		35	0,6
Jupiter ^b	165		110	0,34
Saturn ^b	135		82	0,34
Uranus ^b	76		58	0,30
Neptune ^b	72		47	0,29

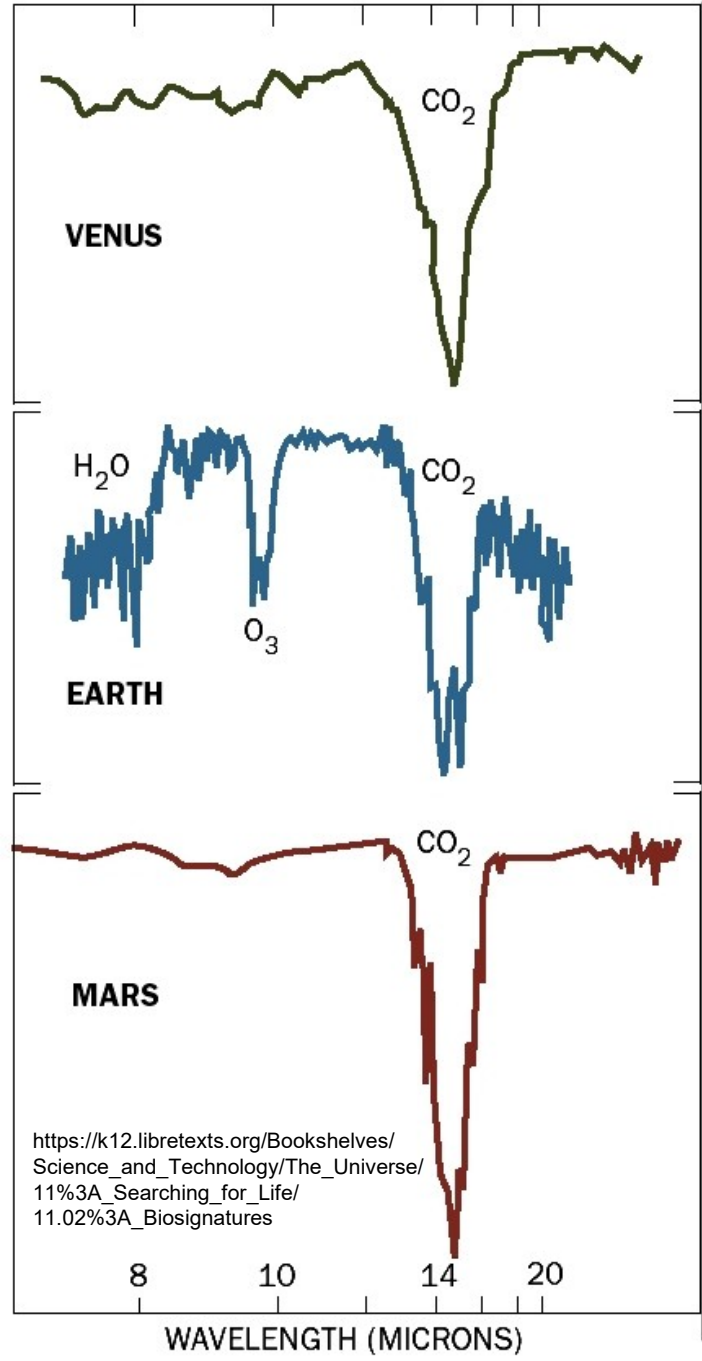
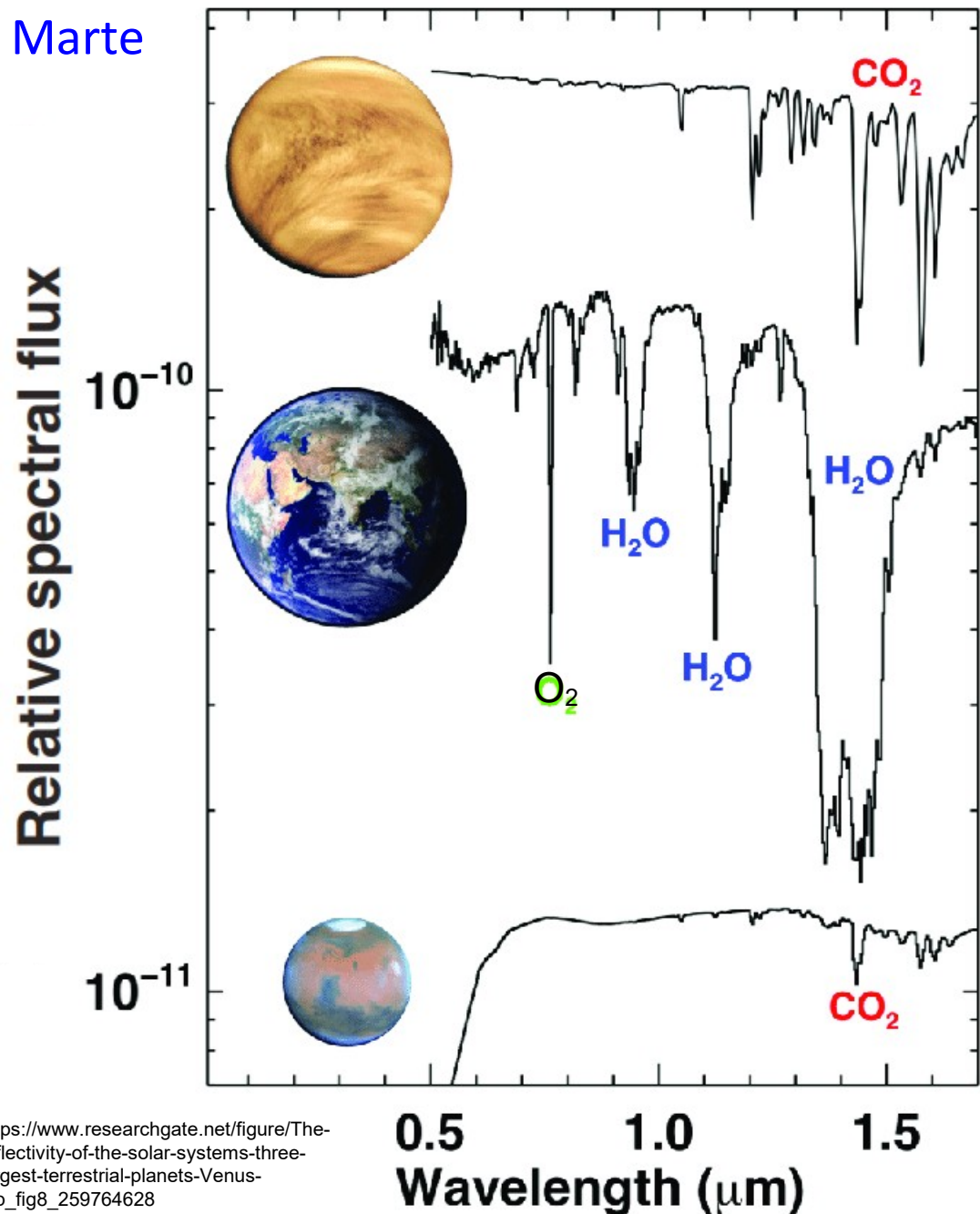
À direita calculei a temperatura de equilíbrio para o respectivo albedo e distância. Os valores são diferentes da col. (7) de temperatura superficial, pois pode ter sido usado um albedo diferente, ou devido ao efeito da atmosfera

^a Pluto's orbital eccentricity is large and its atmospheric properties vary as it goes around its orbit. The values are for the present, with Pluto not far from perihelion
^b The surface quantities for the giant planets are at the altitude where $p = 10^5$ Pa. The composition is for the total mass of atmosphere to greater depths.
^c At the surface, at the equator, and including the effects of rotation.
^d Obtained by dividing the value in the fifth column by that in the fourth.

Via a espectroscopia podemos obter a composição química de atmosferas estelares. As linhas são causadas pela absorção de átomos e moléculas.



Linhas de absorção em espectros de Vênus, Terra e Marte



https://www.researchgate.net/figure/The-reflectivity-of-the-solar-systems-three-largest-terrestrial-planets-Venus-top_fig8_259764628

https://k12.libretexts.org/Bookshelves/Science_and_Technology/The_Universe/11%3A_Searching_for_Life/11.02%3A_Biosignatures

Potência total (energia/tempo) emitida pelo planeta, L_{out}

$$L_{out} = W_{abs} + W_{int}$$

Potência emitida pelo planeta

Potência absorvida da radiação solar

Potência emitida do interior planetário

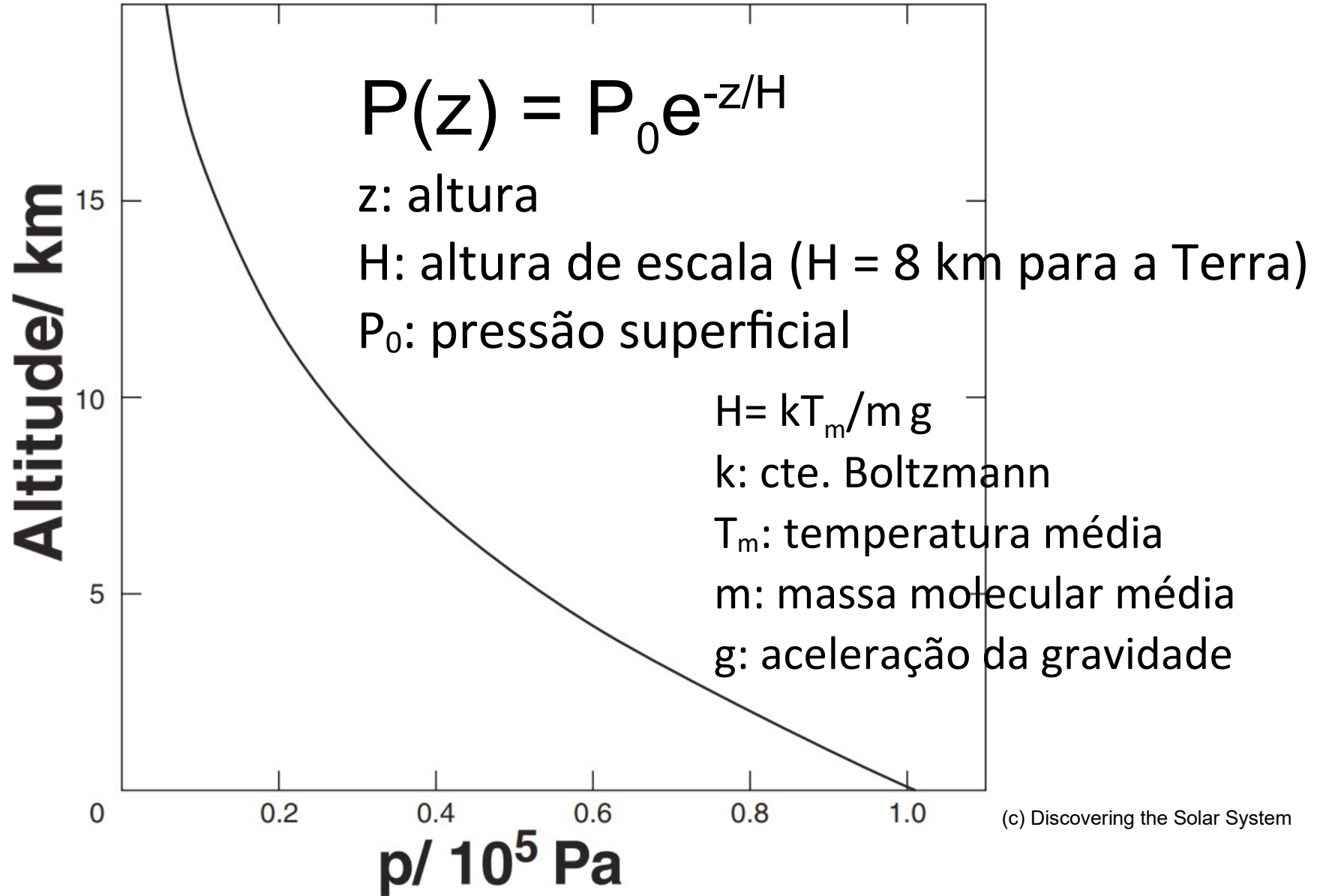
Apenas os **planetas gigantes Júpiter, Saturno e Netuno** (e em menor extensão Urano) apresentam $L_{out}/W_{abs} > 1$, o que indica uma importante contribuição do fluxo de calor interno W_{int} .

Para os outros corpos $W_{int} \ll W_{abs}$.

Table 9.2 L_{out}/W_{abs}

Planetary body	L_{out}/W_{abs}^a
Venus	1.000
Earth	1.0002
Mars	1.000
Titan	1.000
Triton	1.000
Pluto ^b	1.000
Jupiter	1.67
Saturn	1.77
Uranus	1.06
Neptune	2.62
Mercury ^c	1.000
Moon ^c	1.000

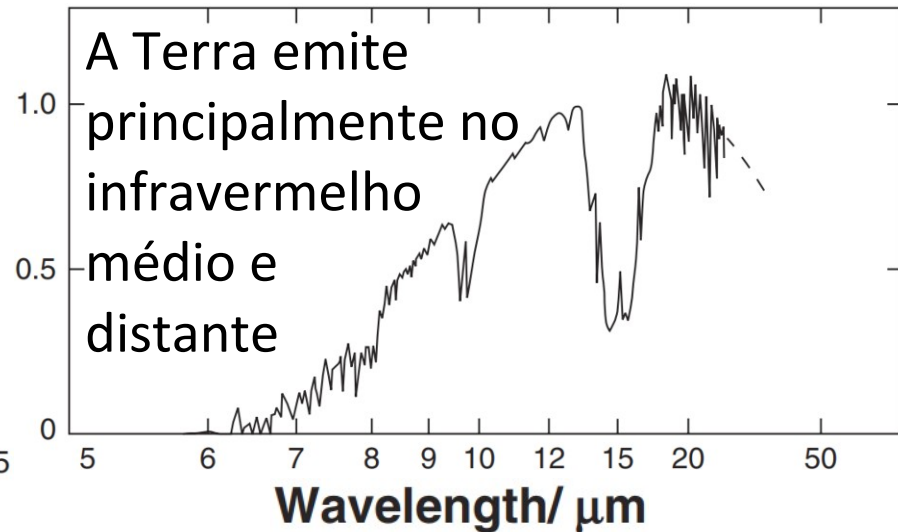
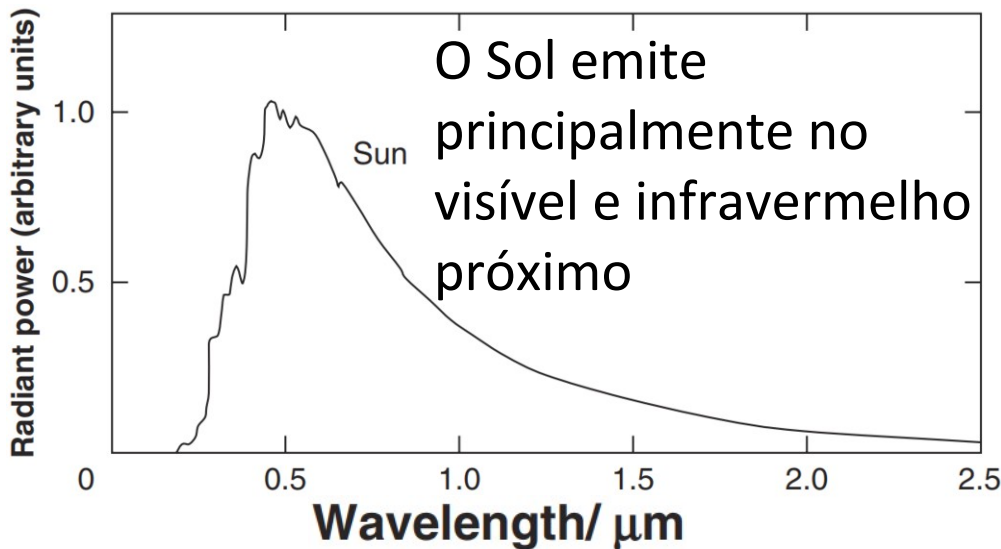
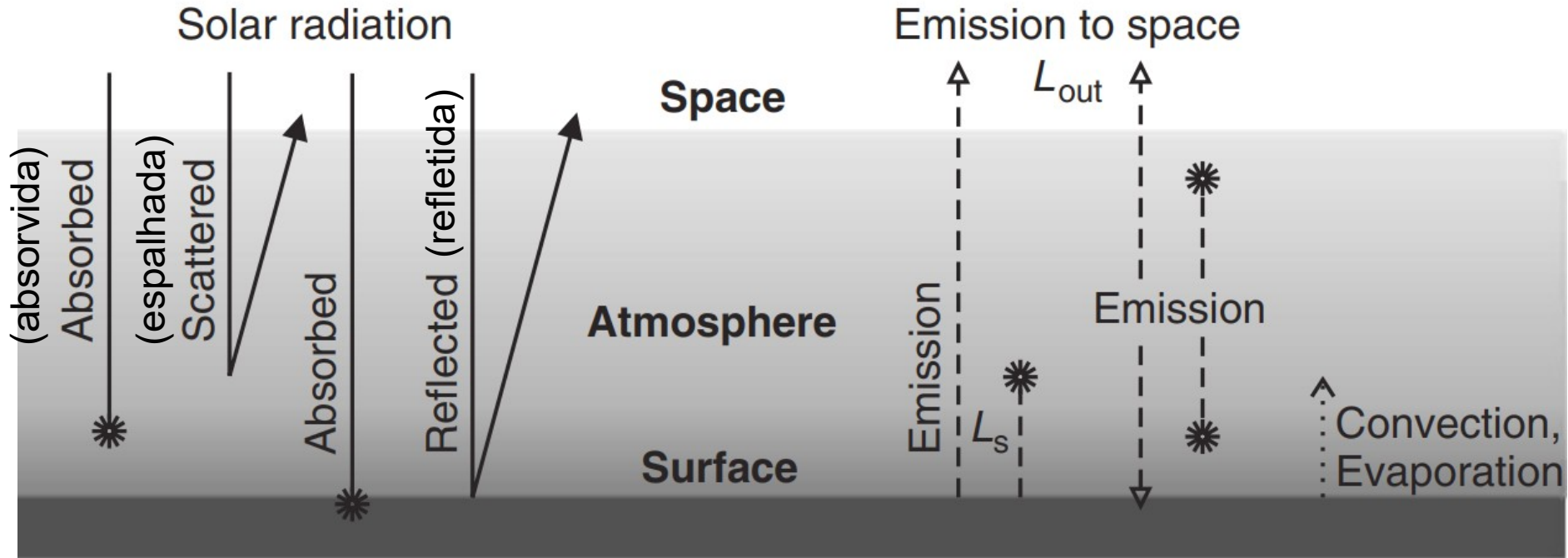
Variação da pressão P com a altura z



(c) Discovering the Solar System

Figure 9.6 Pressure versus altitude in the Earth's atmosphere.

Ganhos e perdas de energia na atmosfera planetária



Estrutura da atmosfera

(c) Discovering the Solar System

Termosfera
Temperatura aumenta para maiores altitudes. É aquecida pela radiação solar UV e raios-X. Energia é perdida por emissão no infravermelho.

Temperatura muda pouco.
Mesosfera
Ganha energia pela absorção de radiação IV de baixo e do Sol (especialmente UV) de cima. Perde energia por emissão para baixo e para o espaço (devido à baixa densidade).

Camada mais próxima à superfície, onde acontecem mudanças de tempo e clima. Além da absorção e emissão de radiação, transporta calor por convecção.
Troposfera

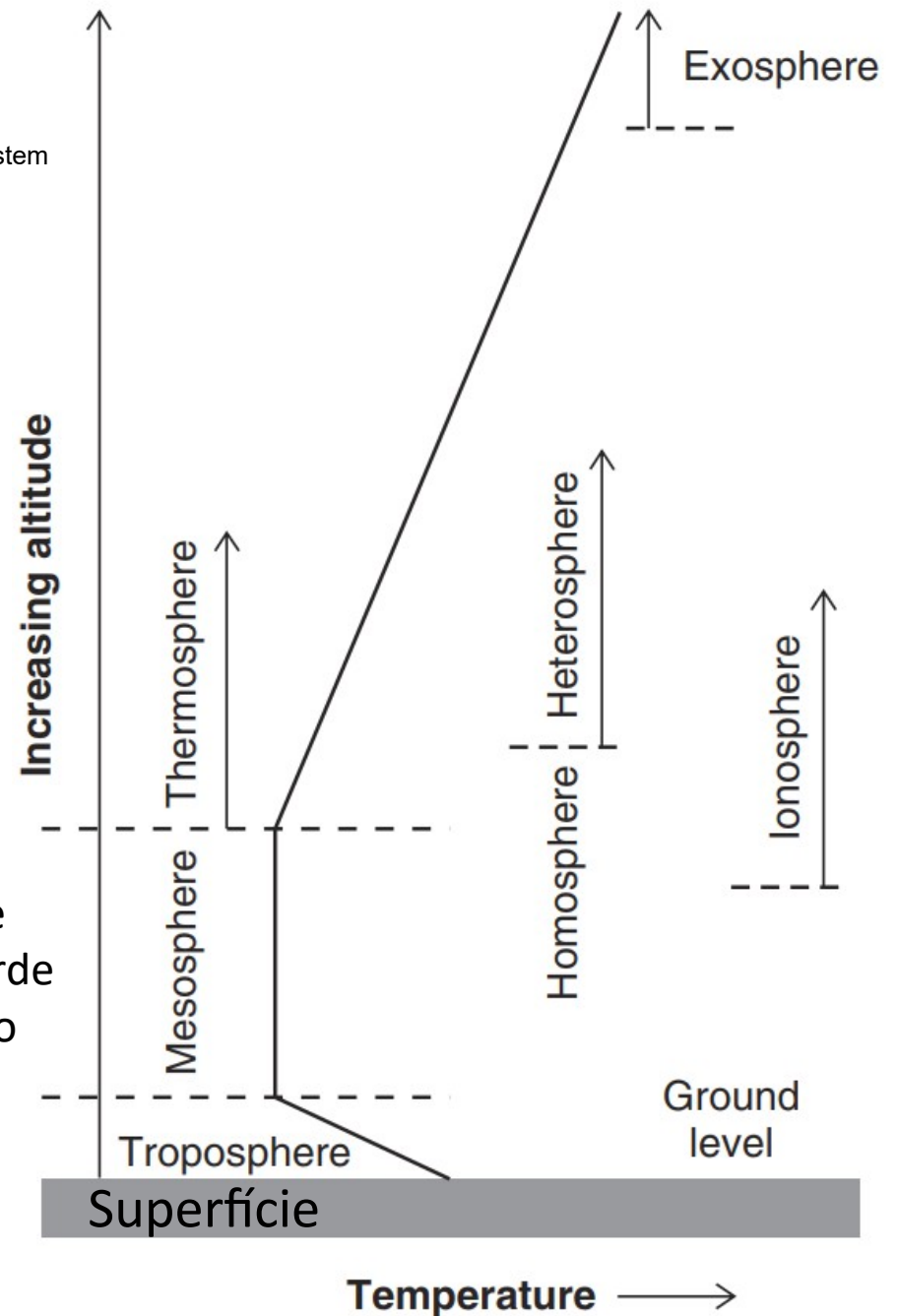


Figure 9.8 A schematic profile of temperature versus altitude, and the major atmospheric domains.

Estrutura da atmosfera

Termosfera
Temperatura aumenta para maiores altitudes. É aquecida pela radiação solar UV e raios-X. Energia é perdida por emissão no infravermelho.

Temperatura muda pouco.
Mesosfera
Ganha energia pela absorção de radiação IV de baixo e do Sol (especialmente UV) de cima. Perde energia por emissão para baixo e para o espaço (devido à baixa densidade).

Camada mais próxima à superfície, onde acontecem mudanças de tempo e clima. Além da absorção e emissão de radiação, transporta calor por convecção.
Troposfera

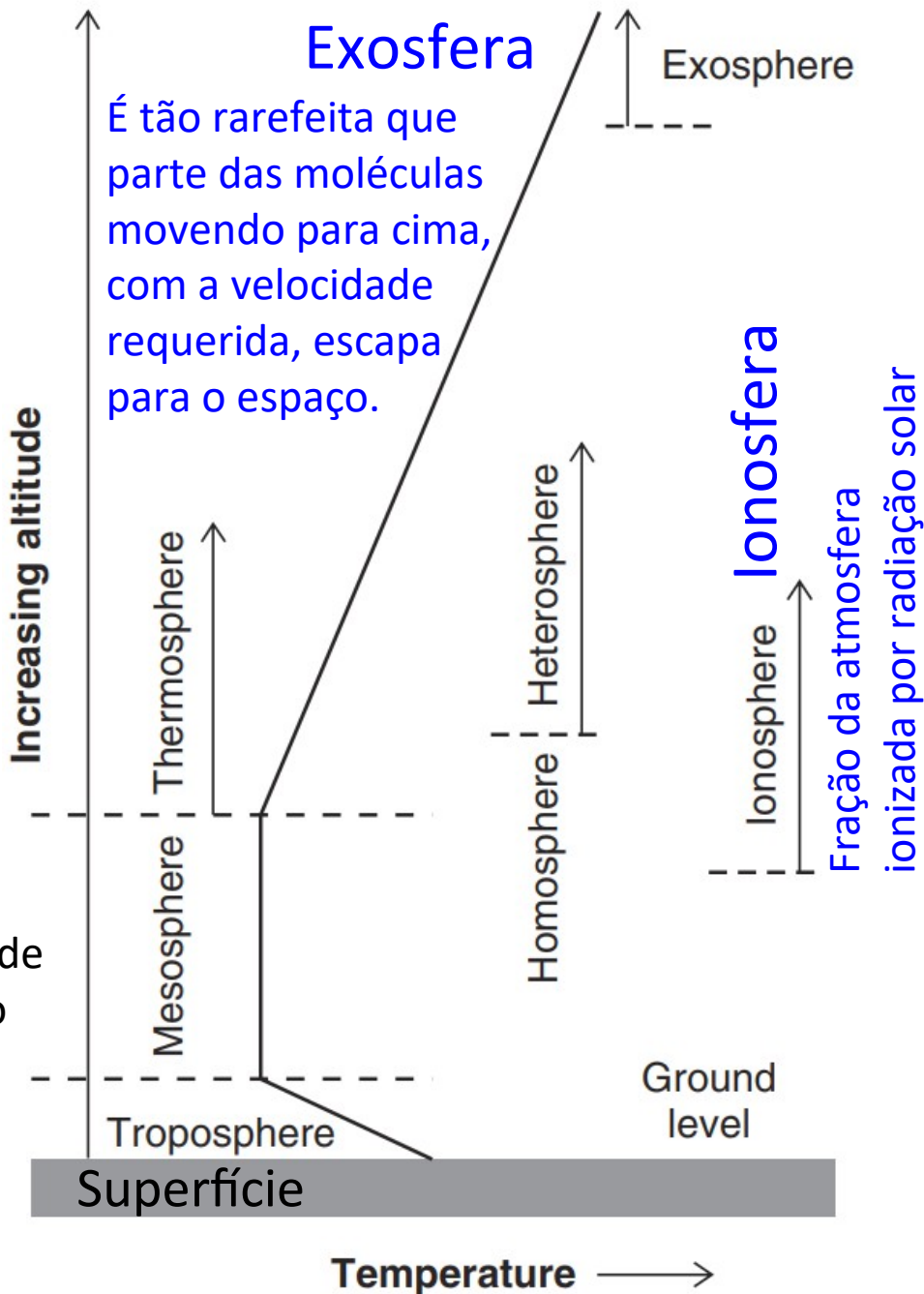


Figure 9.8 A schematic profile of temperature versus altitude, and the major atmospheric domains.

Estrutura da atmosfera

Termosfera
Temperatura aumenta para maiores altitudes. É aquecida pela radiação solar UV e raios-X. Energia é perdida por emissão no infravermelho.

Temperatura muda pouco.
Mesosfera
Ganha energia pela absorção de radiação IV de baixo e do Sol (especialmente UV) de cima. Perde energia por emissão para baixo e para o espaço (devido à baixa densidade).

Camada mais próxima à superfície, onde acontecem mudanças de tempo e clima. Além da absorção e emissão de radiação, transporta calor por convecção.
Troposfera

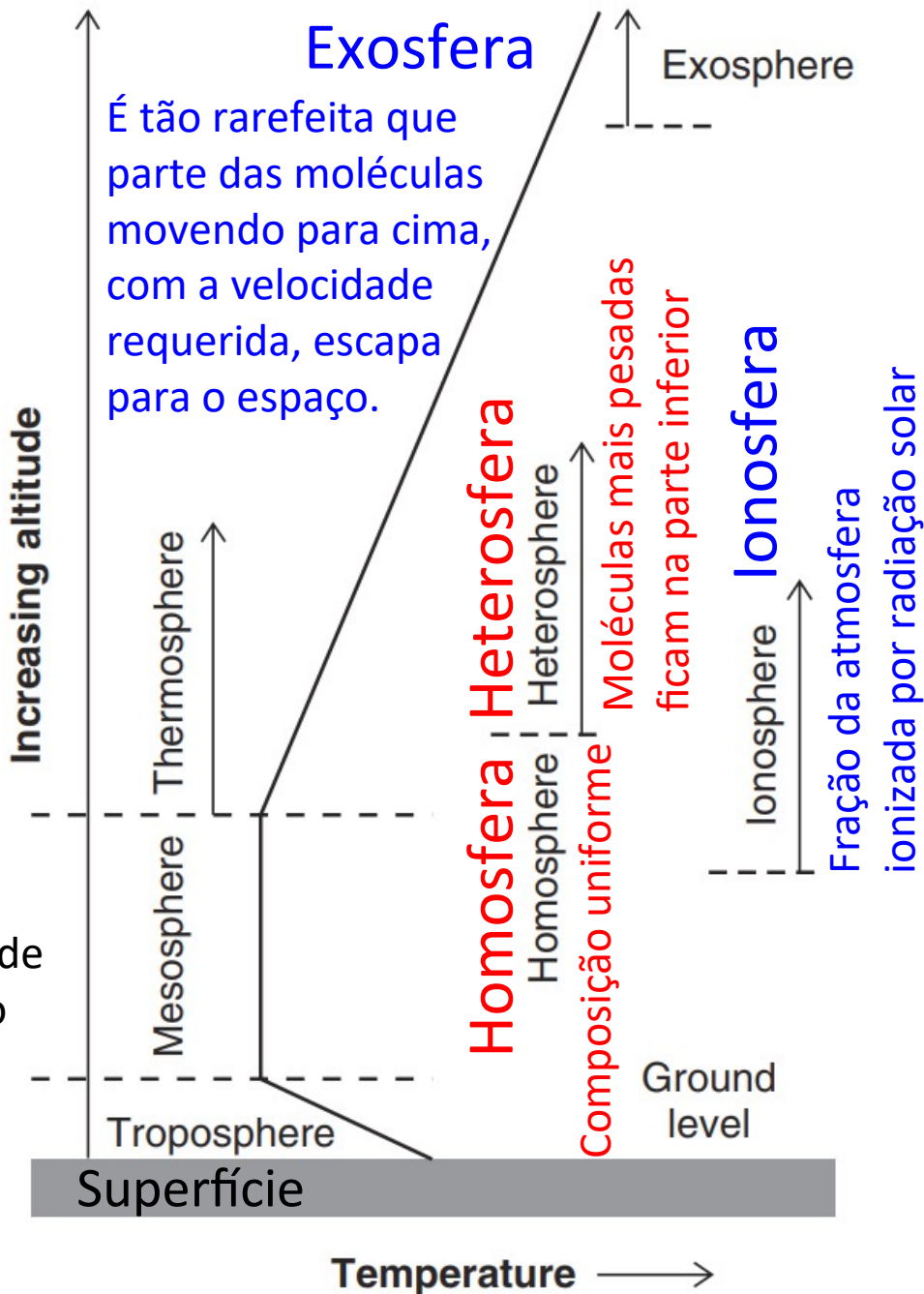


Figure 9.8 A schematic profile of temperature versus altitude, and the major atmospheric domains.

Formação de nuvens

A formação da nuvem ocorre quando o vapor d'água se transforma em líquido (gotículas de água) ou sólido (cristais de gelo)

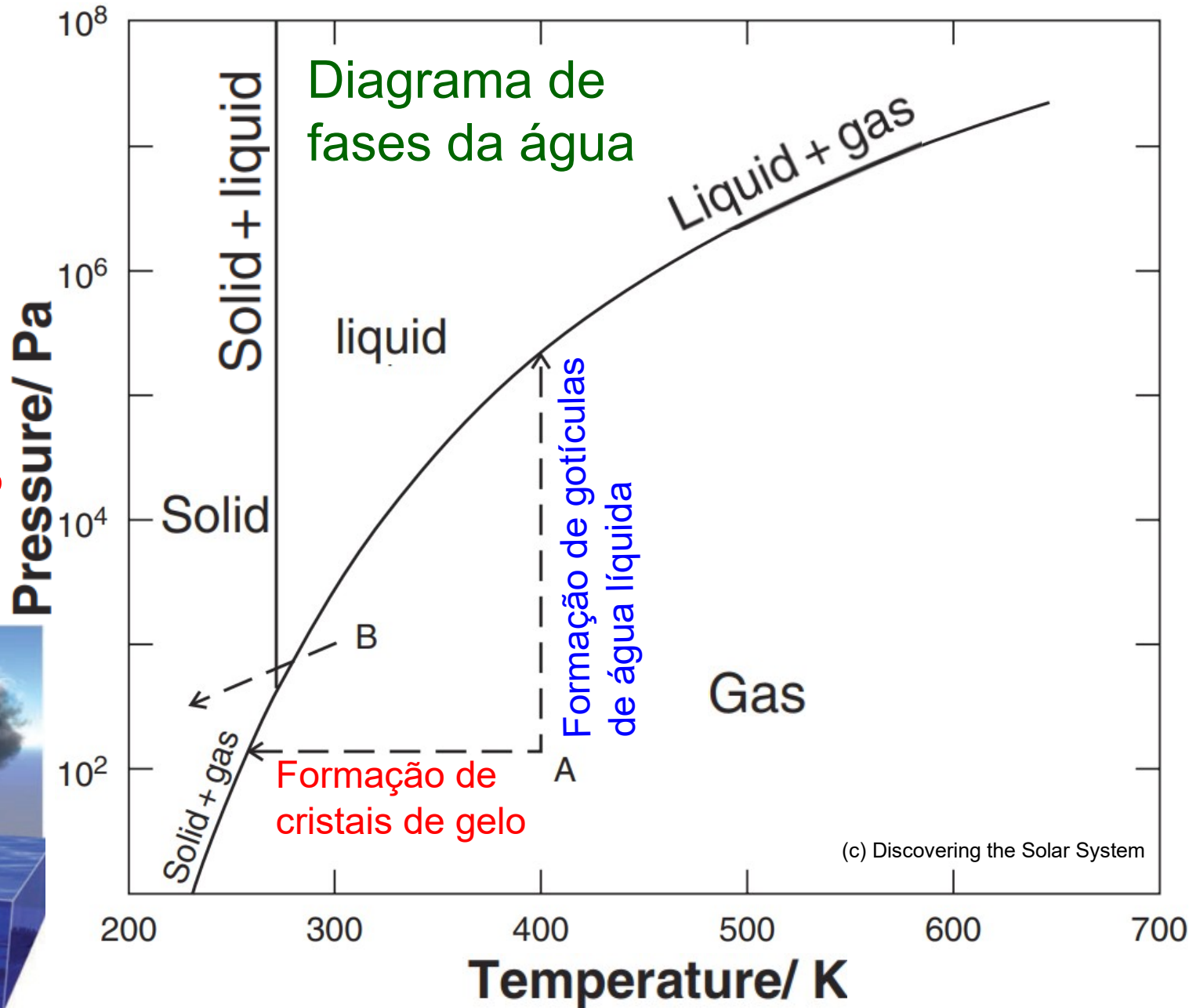
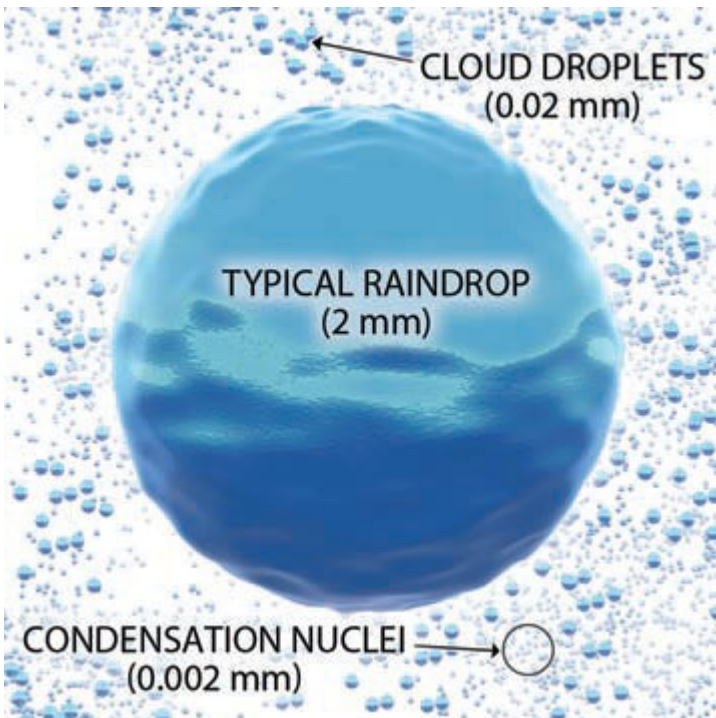
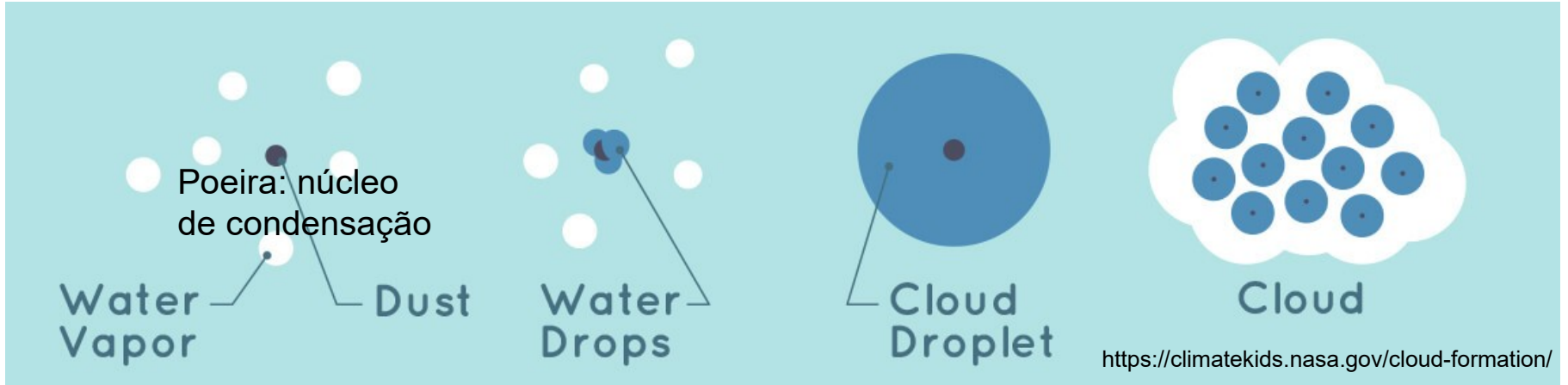


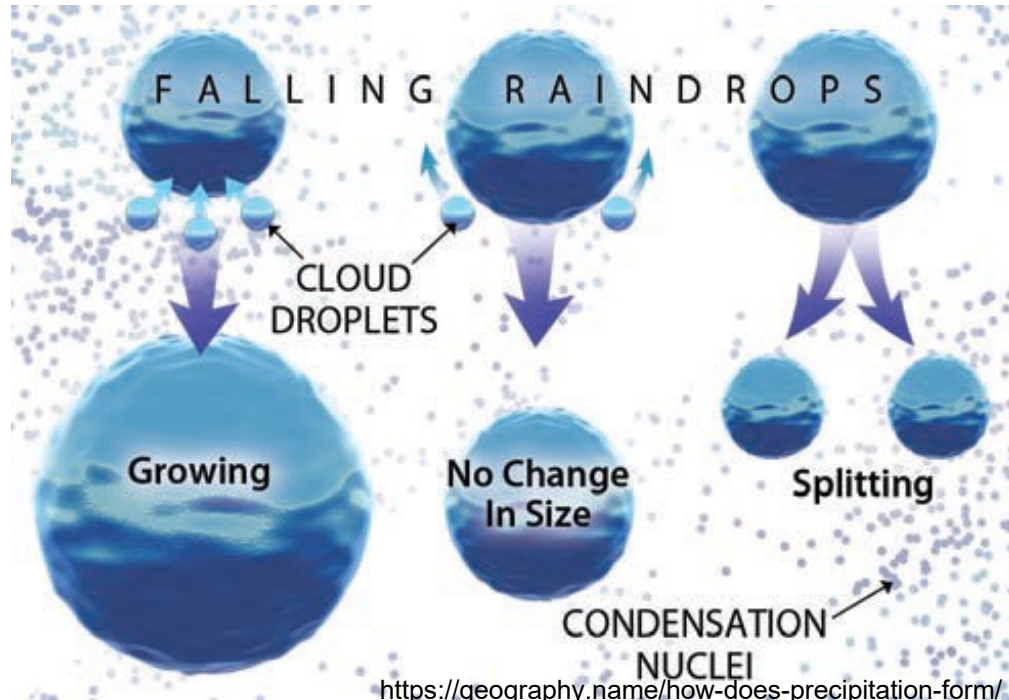
Figure 9.9 Phase diagram of water. Note that water is unusual in that the solid + liquid line slopes to the left, though this is barely apparent on the scale here. The triple point is at 273.16 K, 610 Pa.

Formação de nuvens

A formação de gotículas de água ou cristais de gelo é favorecida na presença de partículas microscópicas, como poeira, que atuam como núcleos de condensação.

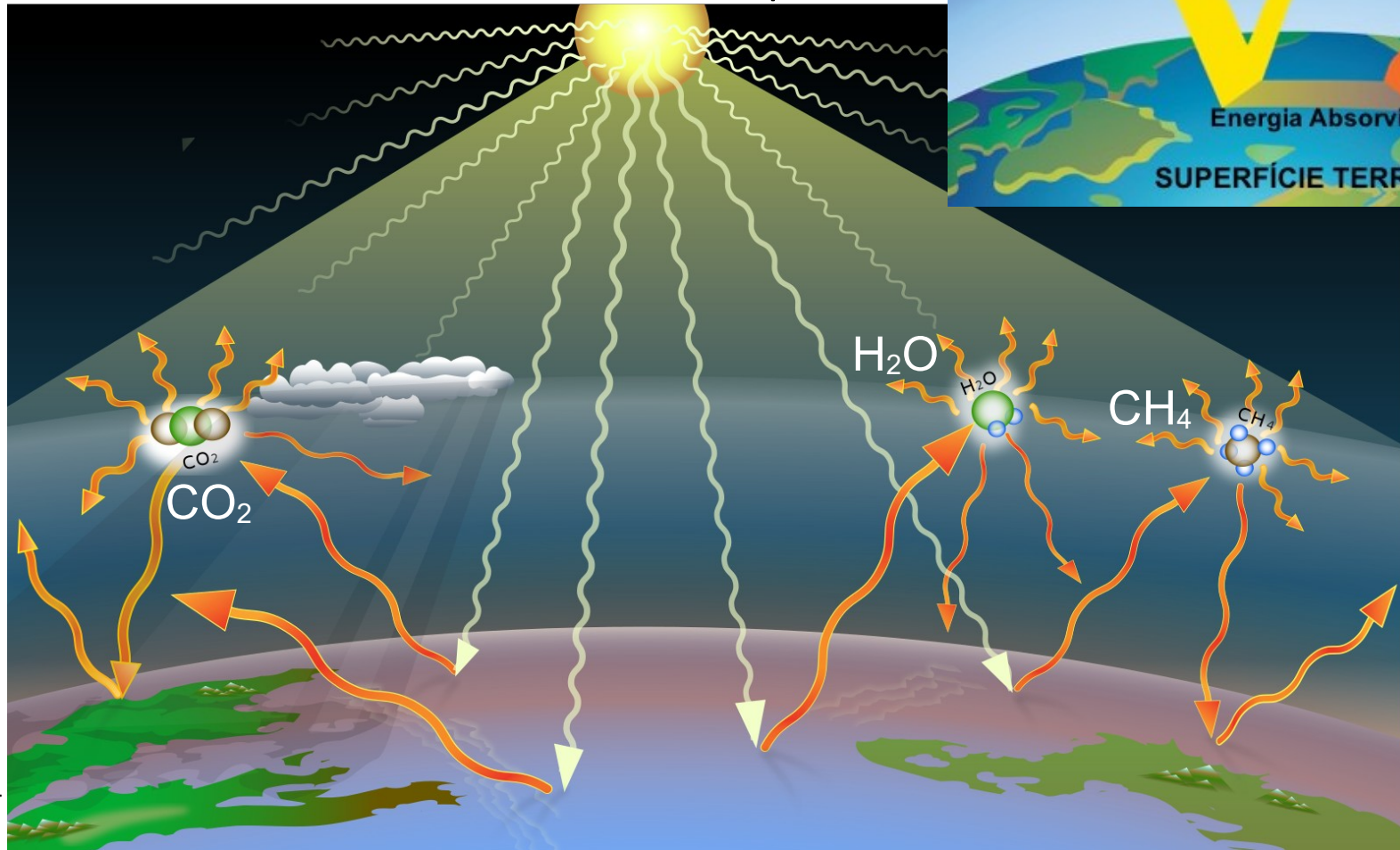
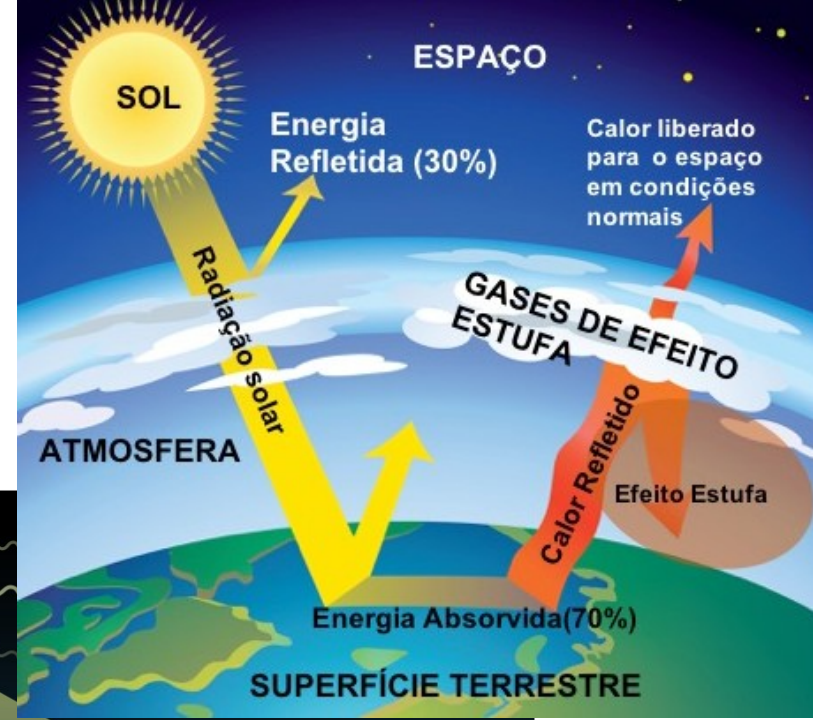


Colisão e coalescência
→ gotas de 0,5 - 6 mm



Efeito estufa

70% da radiação solar é absorvida e 30% é refletida. A radiação emitida pela superfície terrestre no infravermelho é parcialmente absorvida pelos gases do efeito estufa e irradiada em todas as direções. Parte dessa radiação é dirigida para baixo, aquecendo a superfície.



<https://www.climaemcurso.com.br/blog/2018/09/09/como-ocorre-o-aquecimento-global-2/>

Efeito estufa

Devido ao efeito estufa, a temperatura superficial é maior que a temperatura de equilíbrio.

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

	Temperatura superficial (K)	Temperatura de equilíbrio (K)	ΔT $T_{sup} - T_{eq}$	À direita calculei a temperatura de equilíbrio para o respectivo albedo e distância. Os valores são diferentes da temperatura superficial, pois pode ter sido usado um albedo diferente, ou devido ao efeito estufa
		T_{eq} Albedo		
Venus	740	232 0,75	+508	
Earth	288	255 0,30	+33	
Mars	218	216 0,16	~2	
Titan Moon of Saturn	94	86 0,22	+8	
Triton Moon of Neptune	40	35 0,76	~5	
Pluto ^a TransNeptunian	40	35 0,6	~5	
Jupiter ^b	165	110 0,34	+55	
Saturn ^b	135	82 0,34	+53	
Uranus ^b	76	58 0,30	+18	
Neptune ^b	72	47 0,29	+25	

Retenção da atmosfera: velocidade de escape

Precisamos comparar a velocidade das moléculas na exosfera planetária com a velocidade de escape, que é a mínima para escapar da atmosfera

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Planetary body	Major gases/number fractions	Escape speed ^c / km s ⁻¹
Venus	CO ₂ 0.96, N ₂ 0.035	10.4
Earth	N ₂ 0.77, O ₂ 0.21, Ar 0.009, H ₂ O 0.01	11.2
Mars	CO ₂ 0.95, N ₂ 0.027, Ar 0.016	5.0
Titan	N ₂ 0.95, CH ₄ 0.047	2.64
Triton	Mainly N ₂ , some CH ₄	1.45
Pluto ^a	Mainly N ₂ , some CH ₄ and CO	1.3
Jupiter ^b	H ₂ 0.863, He 0.135, CH ₄ 0.0018	59.5
Saturn ^b	H ₂ 0.881, He 0.122, CH ₄ 0.0045	35.5
Uranus ^b	H ₂ 0.83, He 0.15, CH ₄ 0.016	21.3
Neptune ^b	H ₂ 0.83, He 0.15, CH ₄ 0.022	23.5

^a Pluto's orbital eccentricity is large and its atmospheric properties vary as it goes around its orbit. The values are for the present, with Pluto not far from perihelion.

^b The surface quantities for the giant planets are at the altitude where $p = 10^5$ Pa. The composition is for the total mass of atmosphere to greater depths.

^c At the surface, at the equator, and including the effects of rotation.

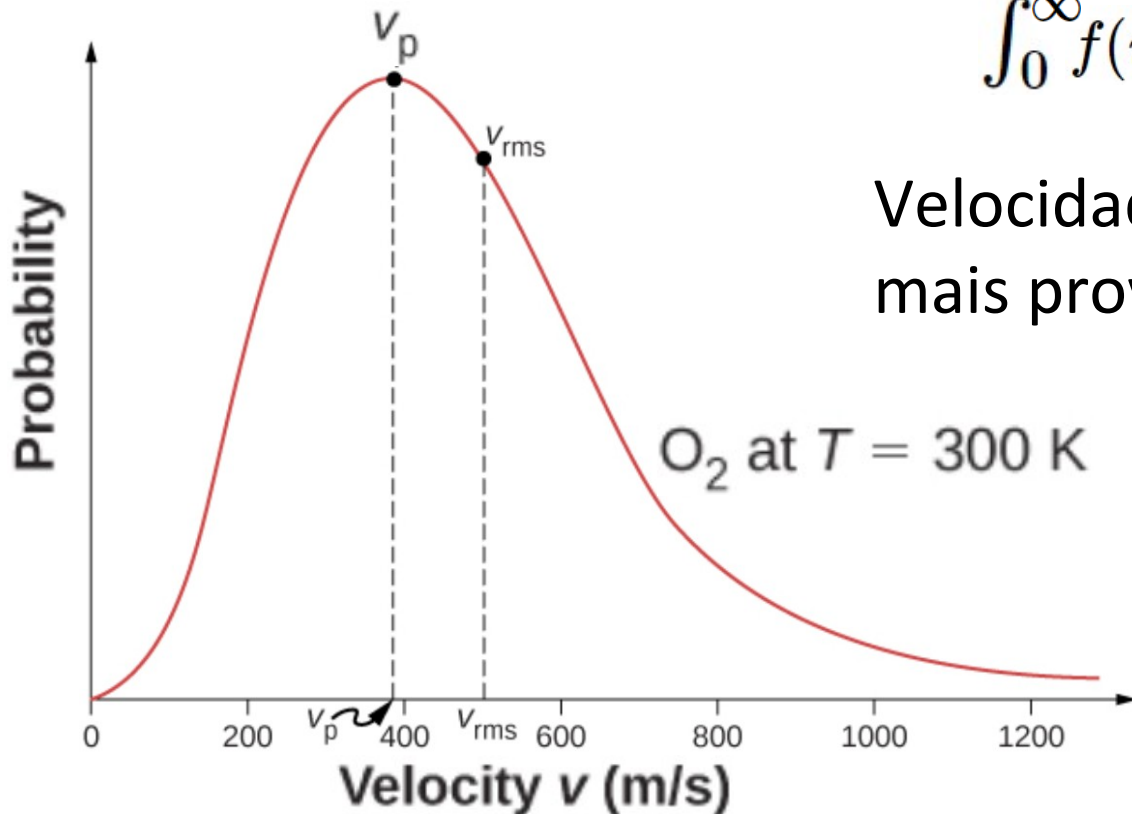
Velocidades das partículas: distribuição de Maxwell-Boltzmann

Probabilidade de ter velocidade entre v e $v+dv$, é $f(v)dv$

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$$

k_B : cte. Boltzmann
T: temperatura
m: massa da espécie

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1$$



Velocidade mais provável: $v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$

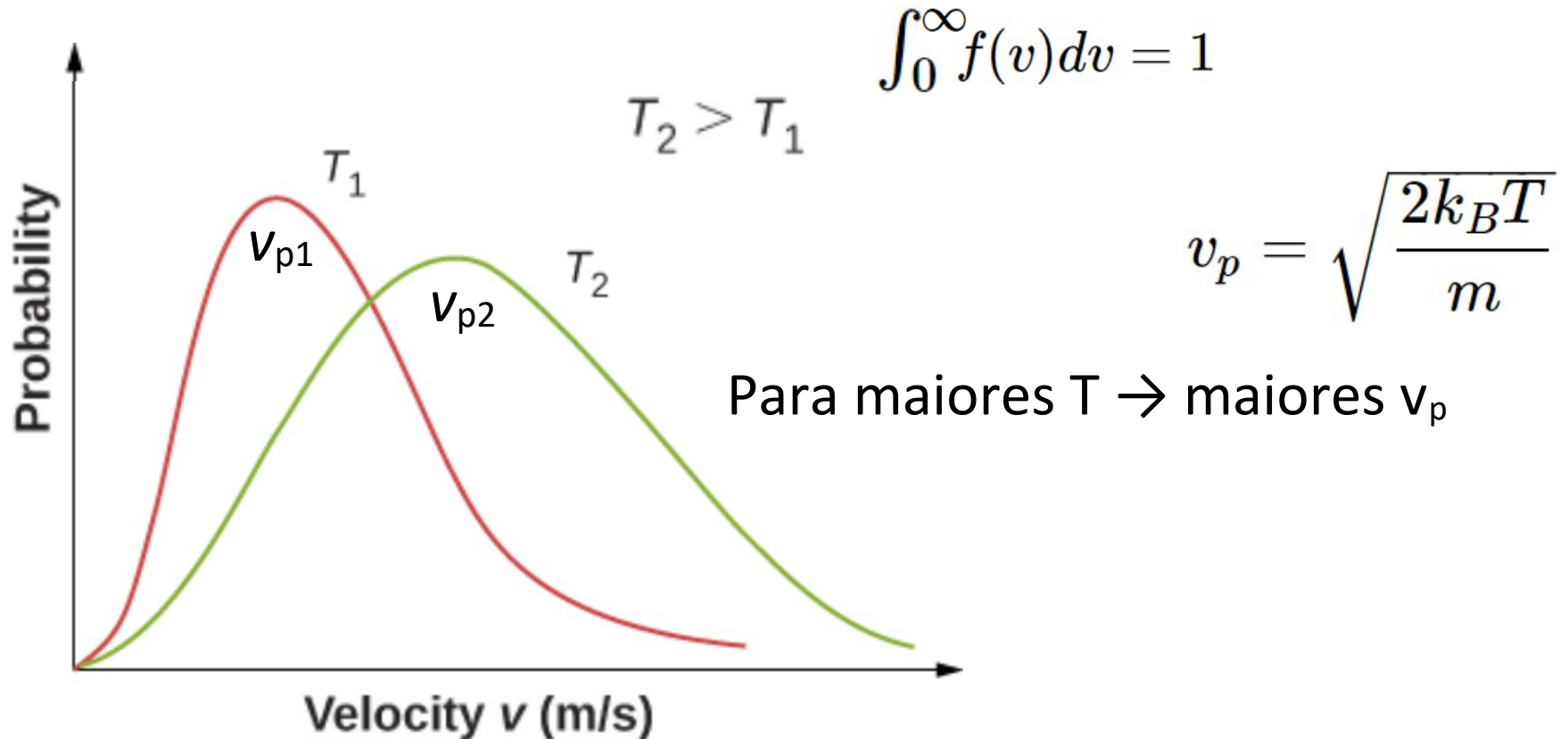
$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

Velocidades das partículas: distribuição de Maxwell-Boltzmann

Probabilidade de ter velocidade entre v e $v+dv$, é $f(v)dv$

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$$

k_B : cte. Boltzmann
 T : temperatura
 m : massa da espécie

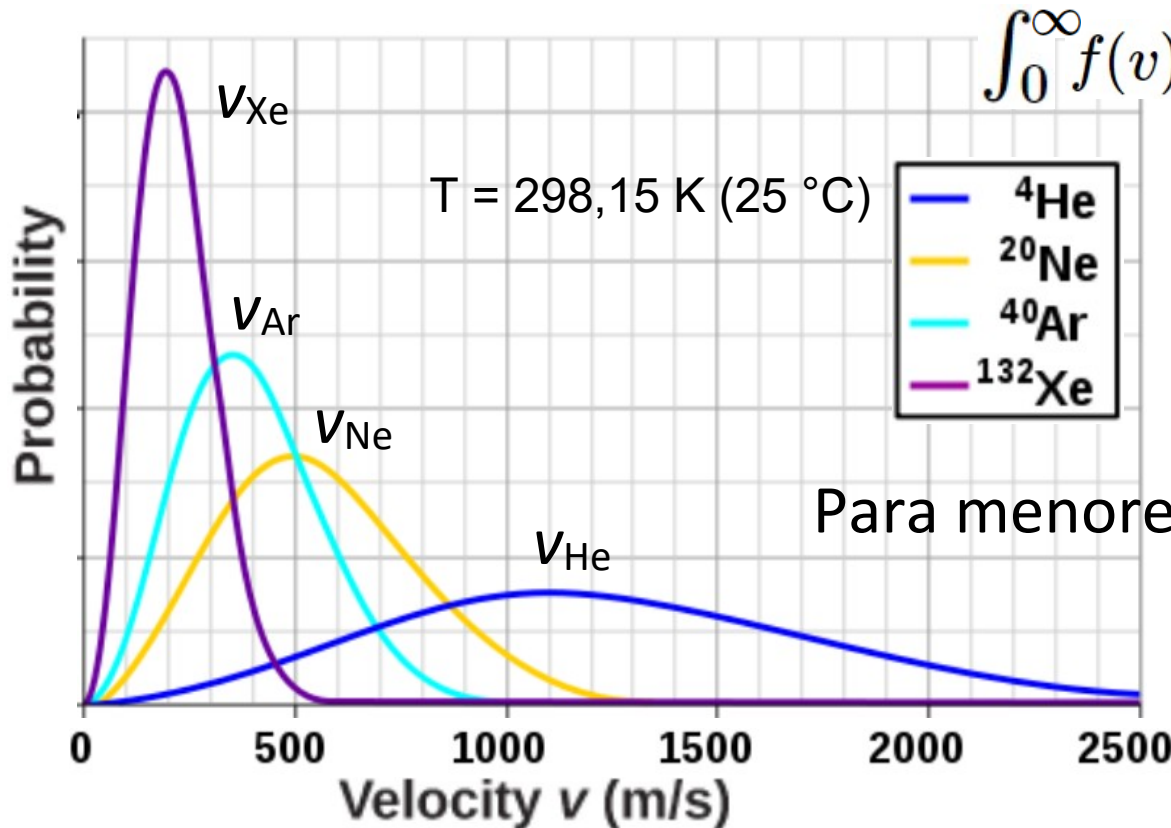


Velocidades das partículas: distribuição de Maxwell-Boltzmann

Probabilidade de ter velocidade entre v e $v+dv$, é $f(v)dv$

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$$

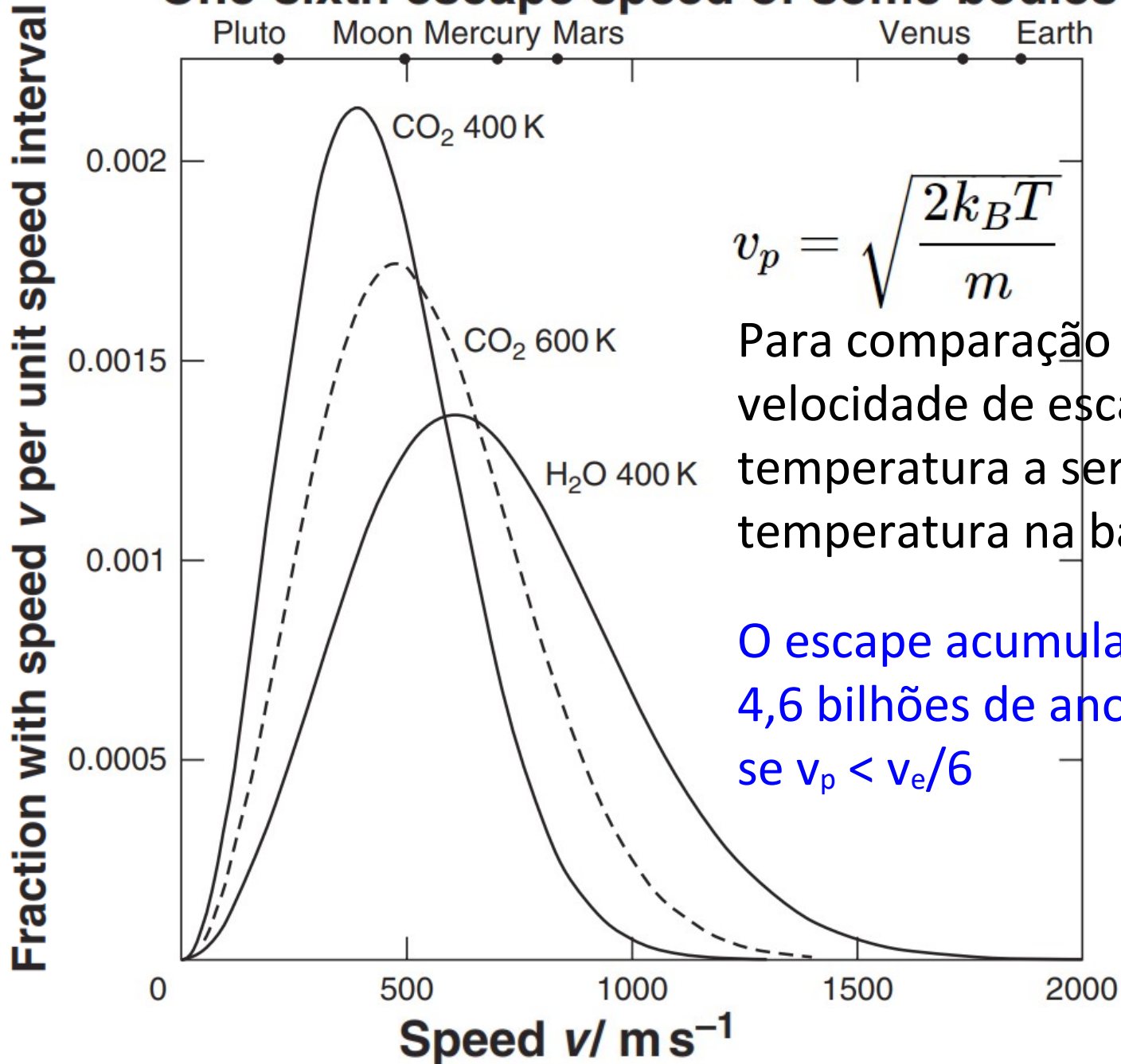
k_B : cte. Boltzmann
T: temperatura
m: massa da espécie



$$v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$$

Para menores massas \rightarrow maiores v_p

One-sixth escape speed of some bodies



$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$$

Para comparação com a velocidade de escape, a temperatura a ser usada é a temperatura na base da exosfera

O escape acumulado nos últimos 4,6 bilhões de anos é desprezível se $v_p < v_e/6$

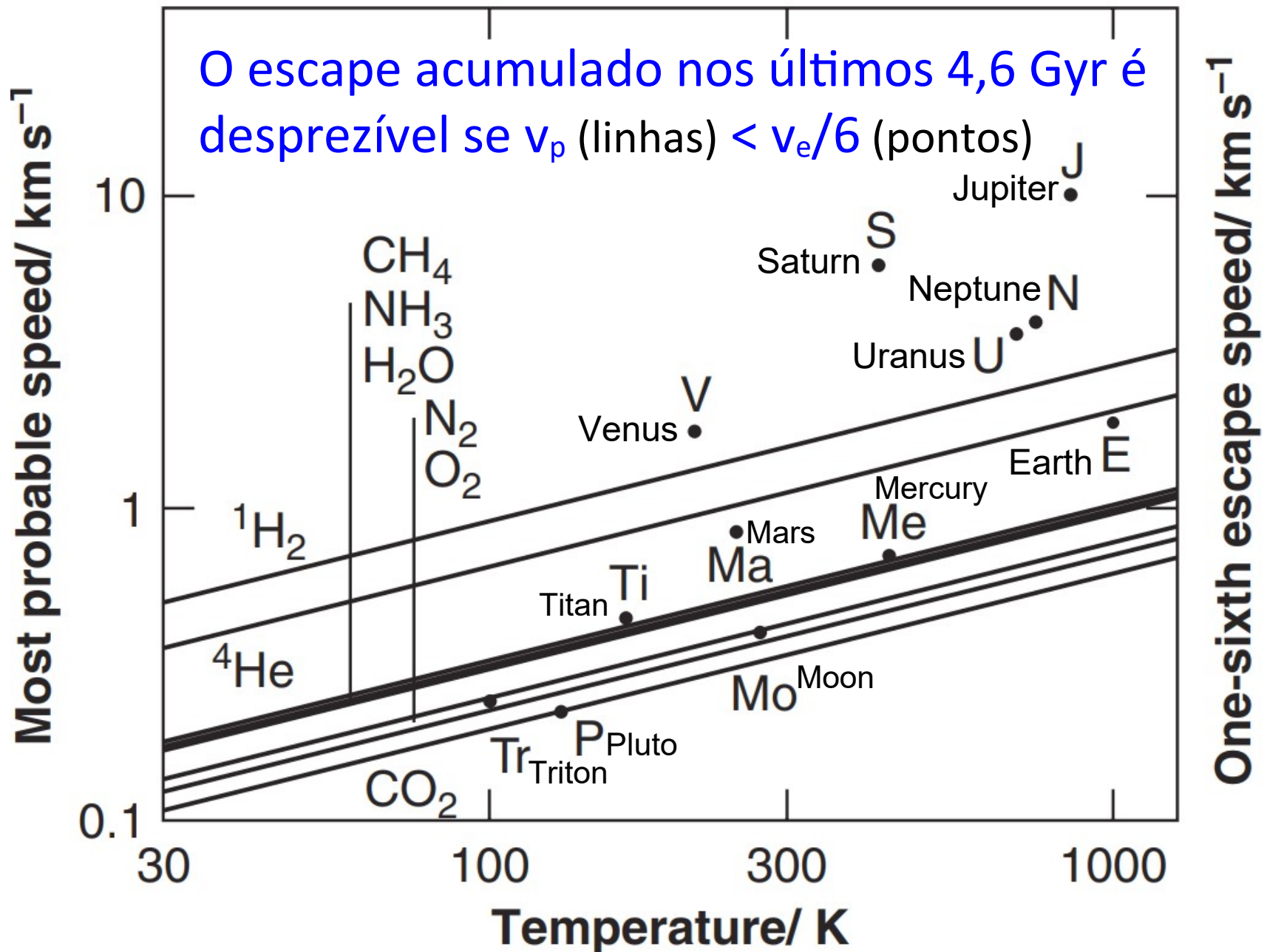


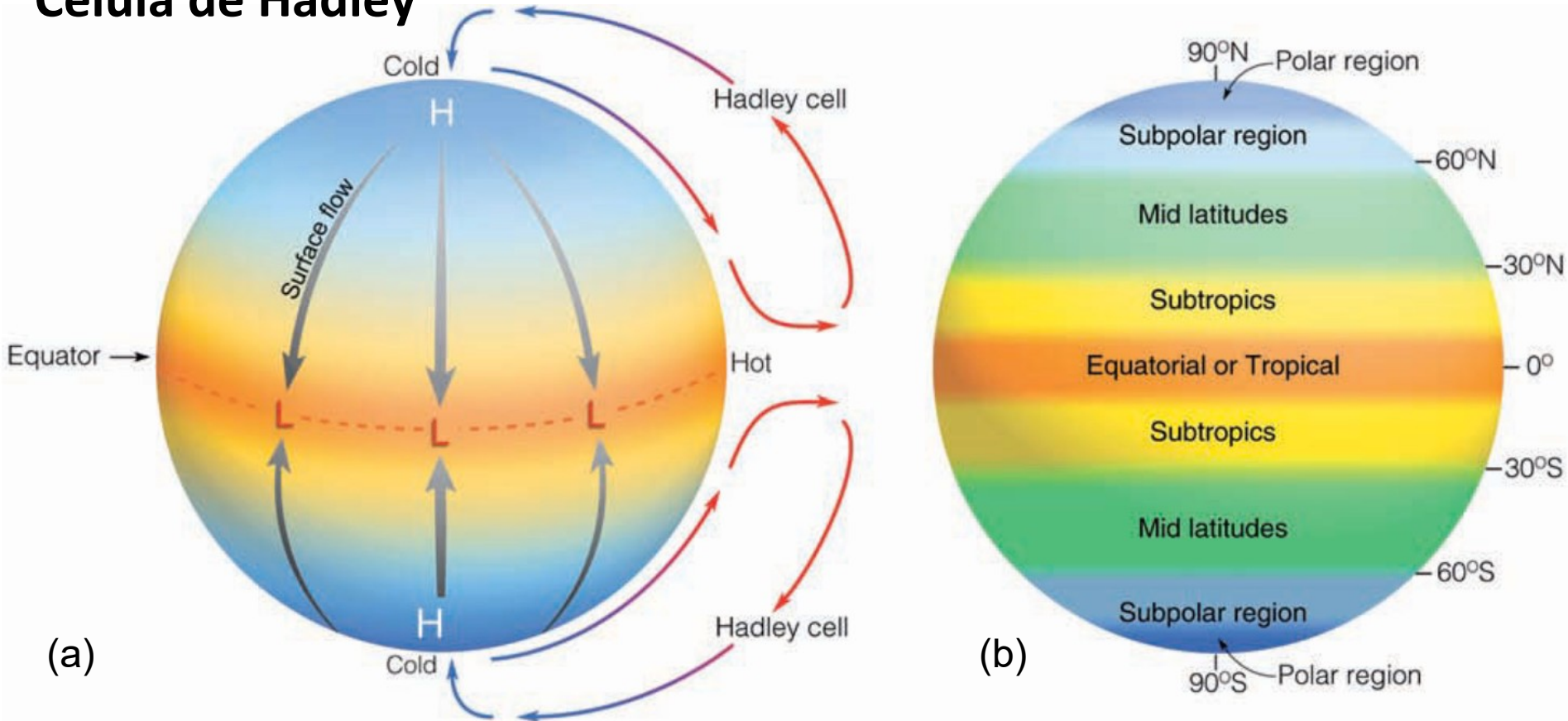
Figure 9.12 The most probable speed v_{mps} versus temperature T for some major atmospheric gases. Planetary bodies are at the temperatures at the base of their exospheres.

Circulação geral da atmosfera

- O aquecimento da superfície é maior no equador → circulação geral para transportar calor em direção aos polos.

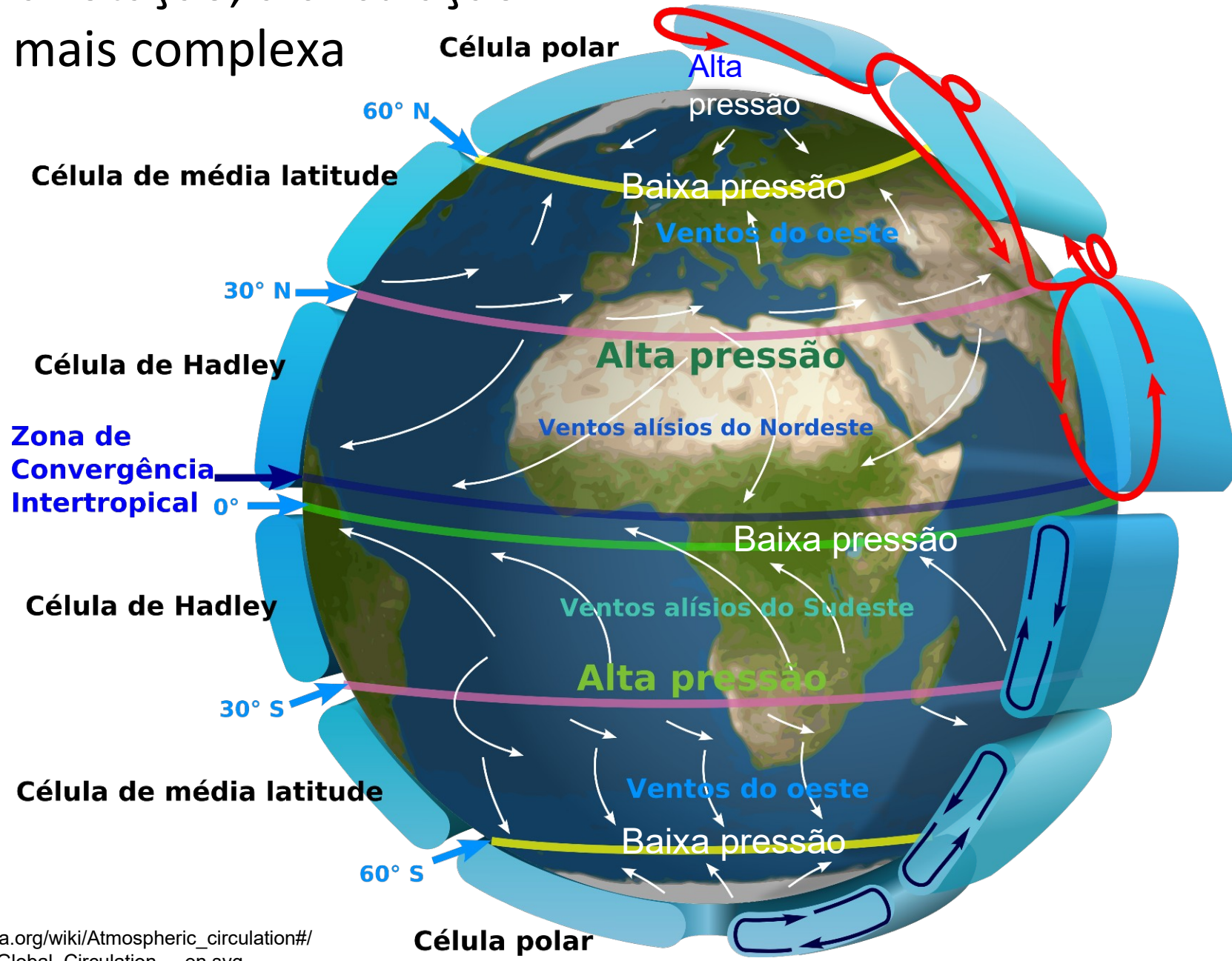
- Supondo Terra sem rotação e coberta uniformemente de água →

Célula de Hadley



● **FIGURE 10.1** Diagram (a) shows the general circulation of air on a nonrotating earth uniformly covered with water and with the sun directly above the equator. (Vertical air motions are highly exaggerated in the vertical.) Diagram (b) shows the names that apply to the different regions of the world and their approximate latitudes. (c) Meteorology Today

Devido à rotação, a circulação geral é mais complexa



A atmosfera da Terra

é uma fina
camada
de gases
que rodeia
a Terra e
que é retida
pela sua
gravidade



"Ultimate Earth"
Made with Visual Nature Studio
www.3DNature.com
Copyright 2007 Chris Hansson

A atmosfera é muito fina em comparação com o tamanho da Terra

Troposfera: ~8 km

Raio médio: 6371 km

© *Meteorology Today (Ahrens)*

● **FIGURE 1.2** The earth's atmosphere as viewed from space. The atmosphere is the thin blue region along the edge of the earth.



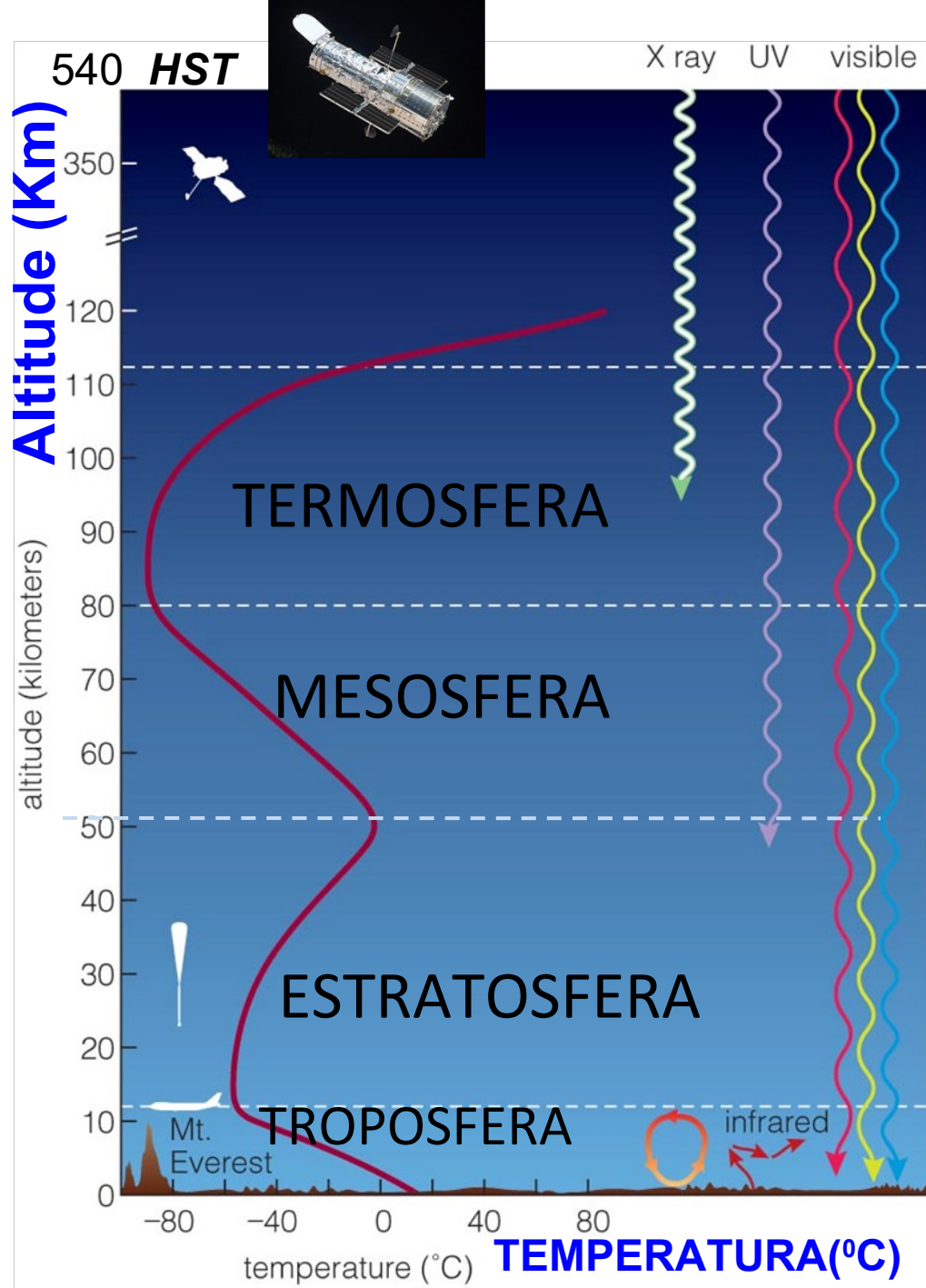
Perfil de temperatura da atmosfera terrestre

Luz solar UV e raios X aquecem e ionizam gases

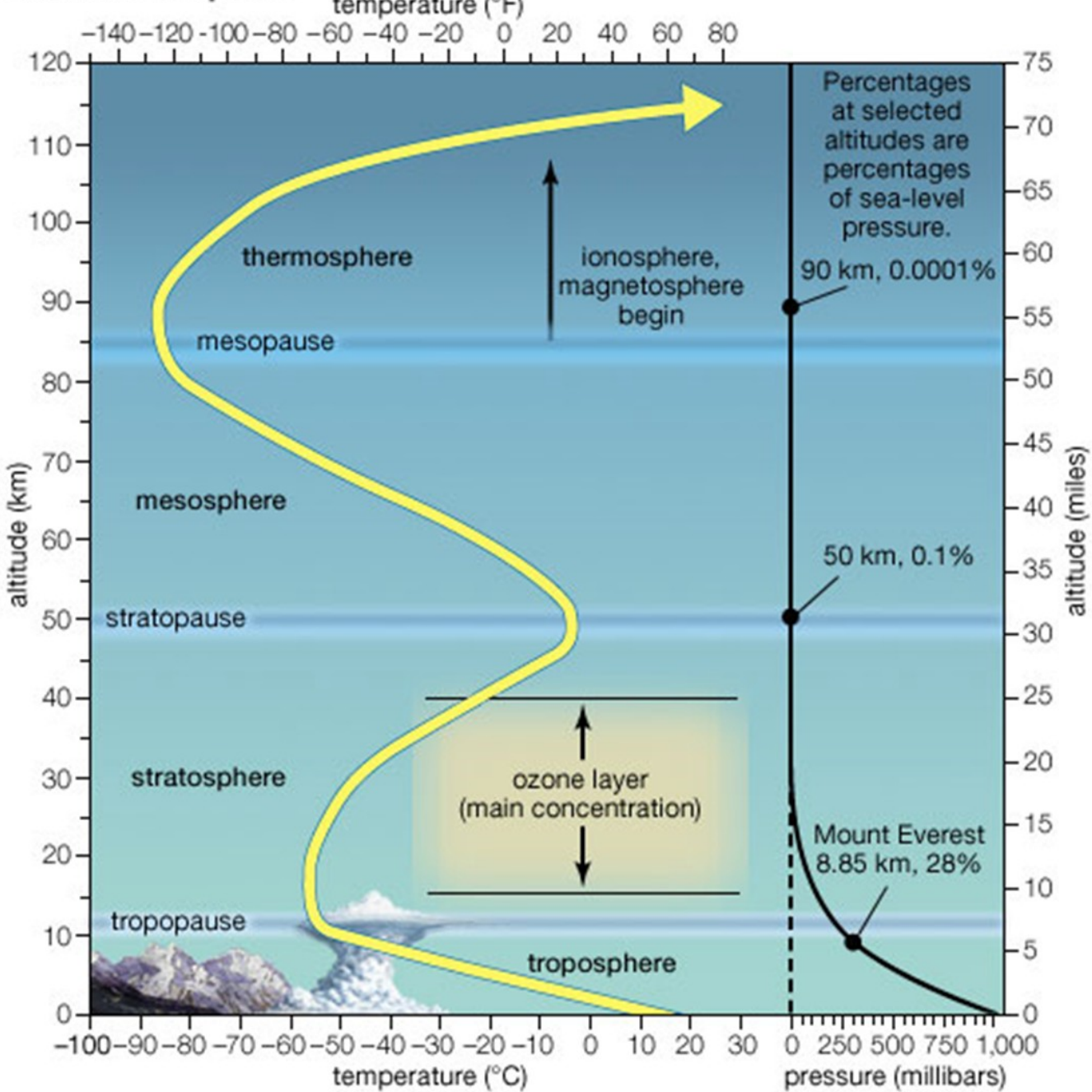
Concentração de **ozônio** diminui

Aquecida por absorção de luz UV pelo **ozônio**

Aquecida pela superfície e convecção



Earth's atmosphere



Pressão:

decrece
exponencialmente
com a altura z

$$P(z) = P_0 \exp(-z/H)$$

H: altura de escala
($H = kT_m / m g$)

Composição
química constante
até ~90 km

$$H = kT_m / m g$$

ou

$$H = RT_m / M_0 g$$

(altura de escala)

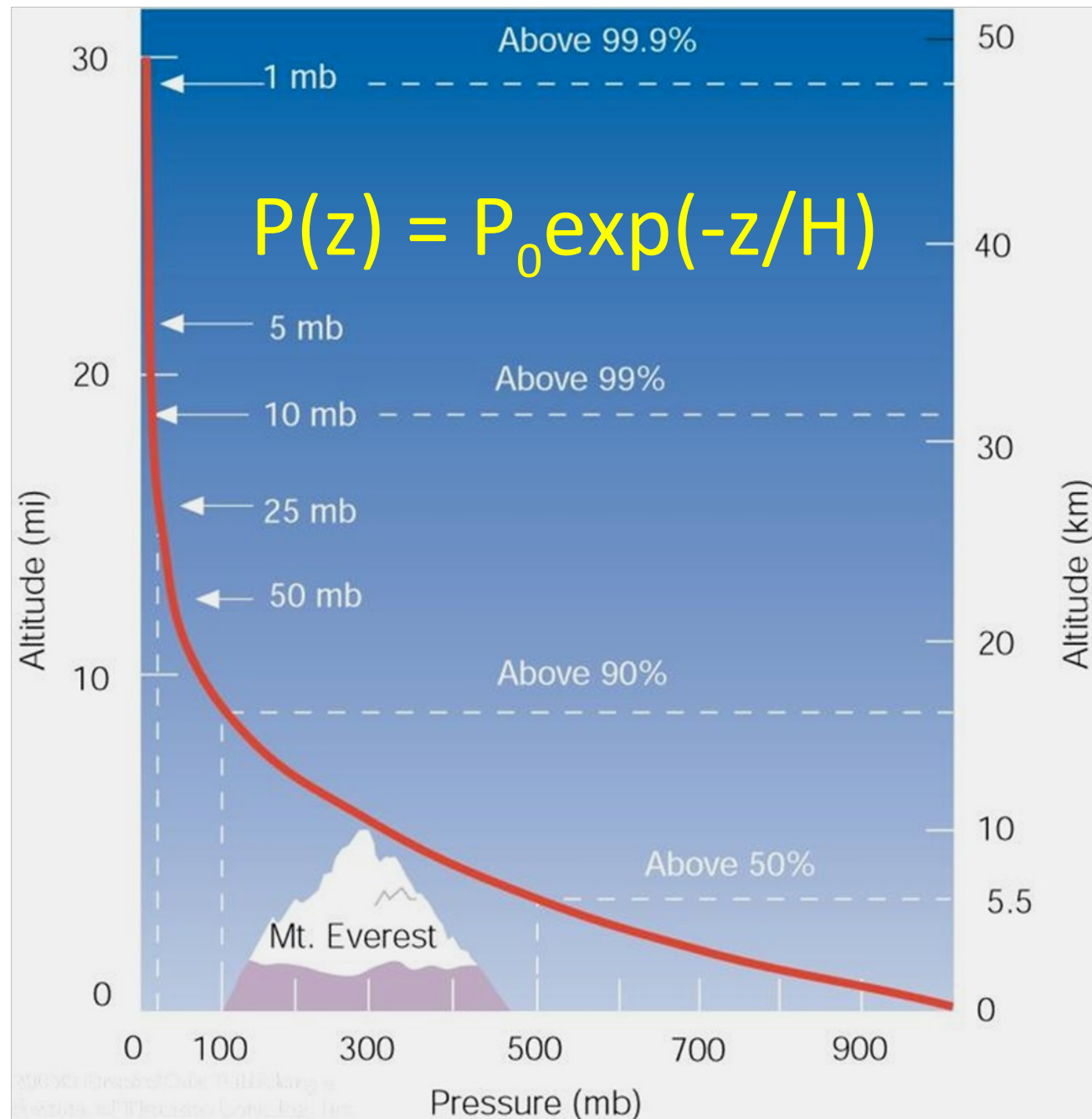
R: cte gases ($8.23 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T_m : temp. media
($0^\circ \text{ C} = 273,15 \text{ K}$)

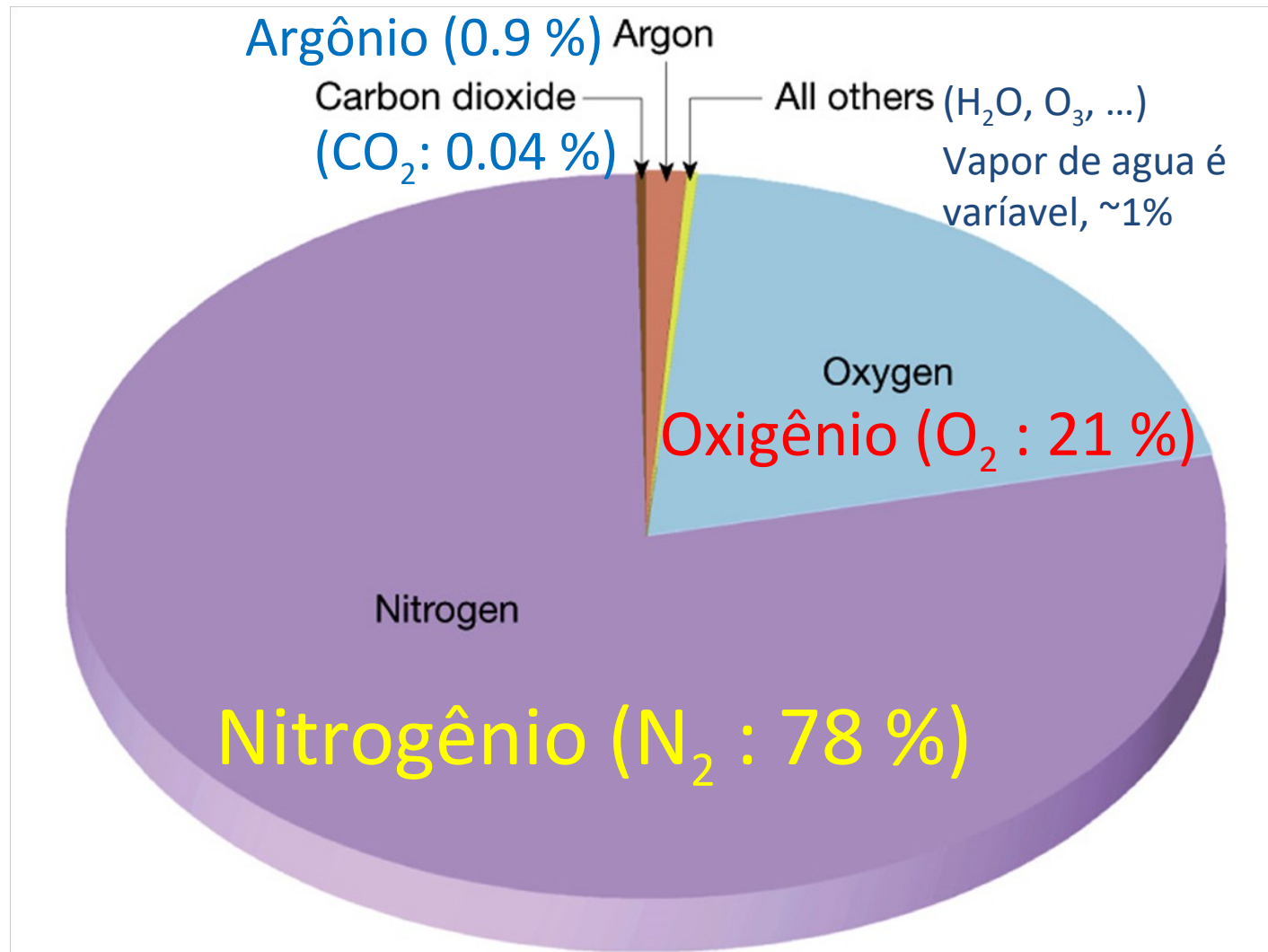
M_0 : massa mol.
média (0.029 kg)

g: acel. gravidade

H = 8km



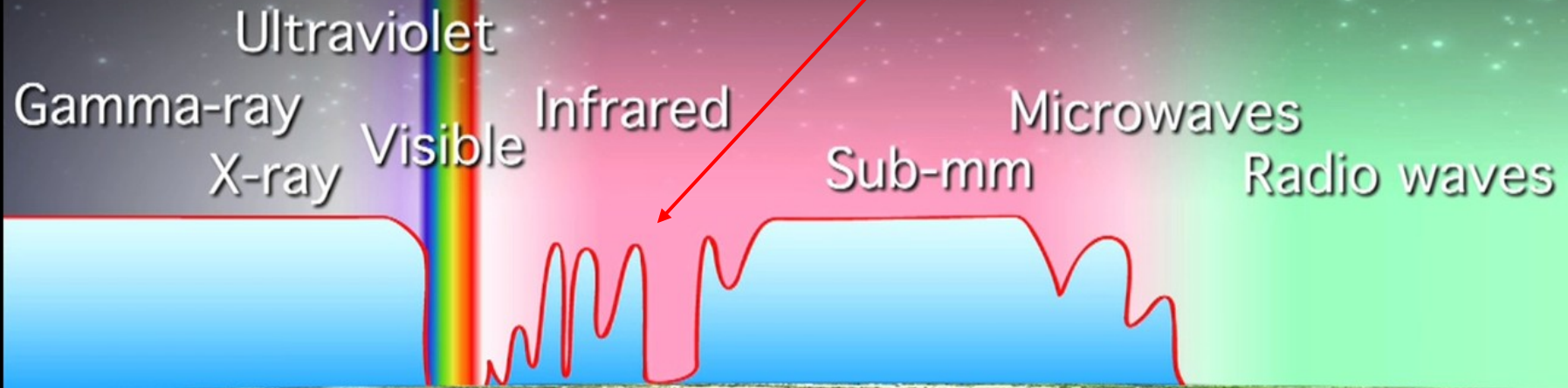
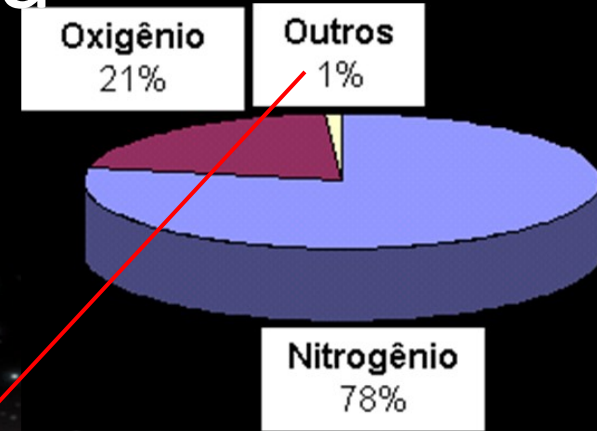
Constituintes da atmosfera



N e O são os principais constituintes e sua proporção relativa é constante entre 0-90 km

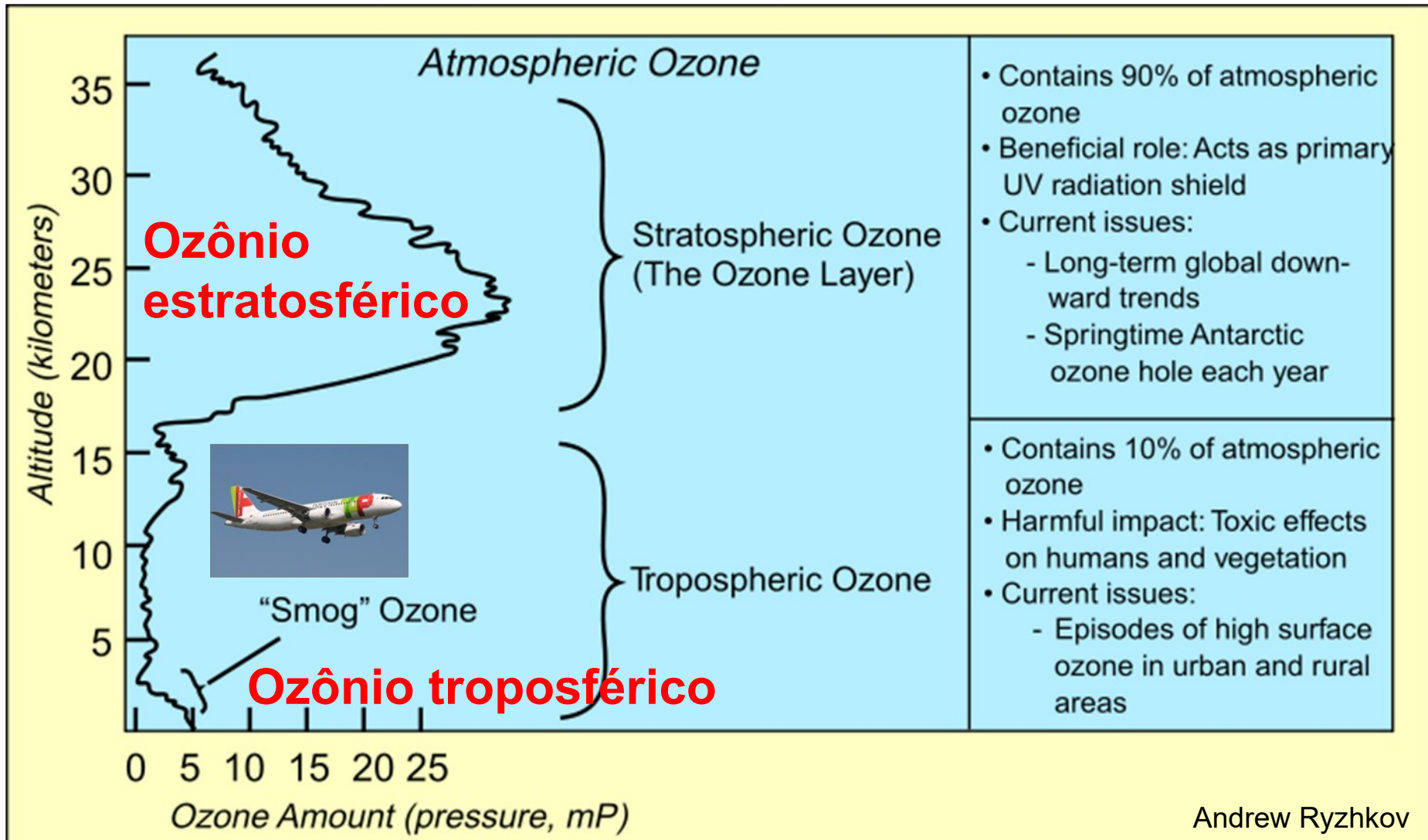
Constituintes da atmosfera (CO₂, H₂O, ...)

Os constituintes menores (e variáveis) são importantes fontes de opacidade na atmosfera, especialmente no infravermelho (efeito estufa)



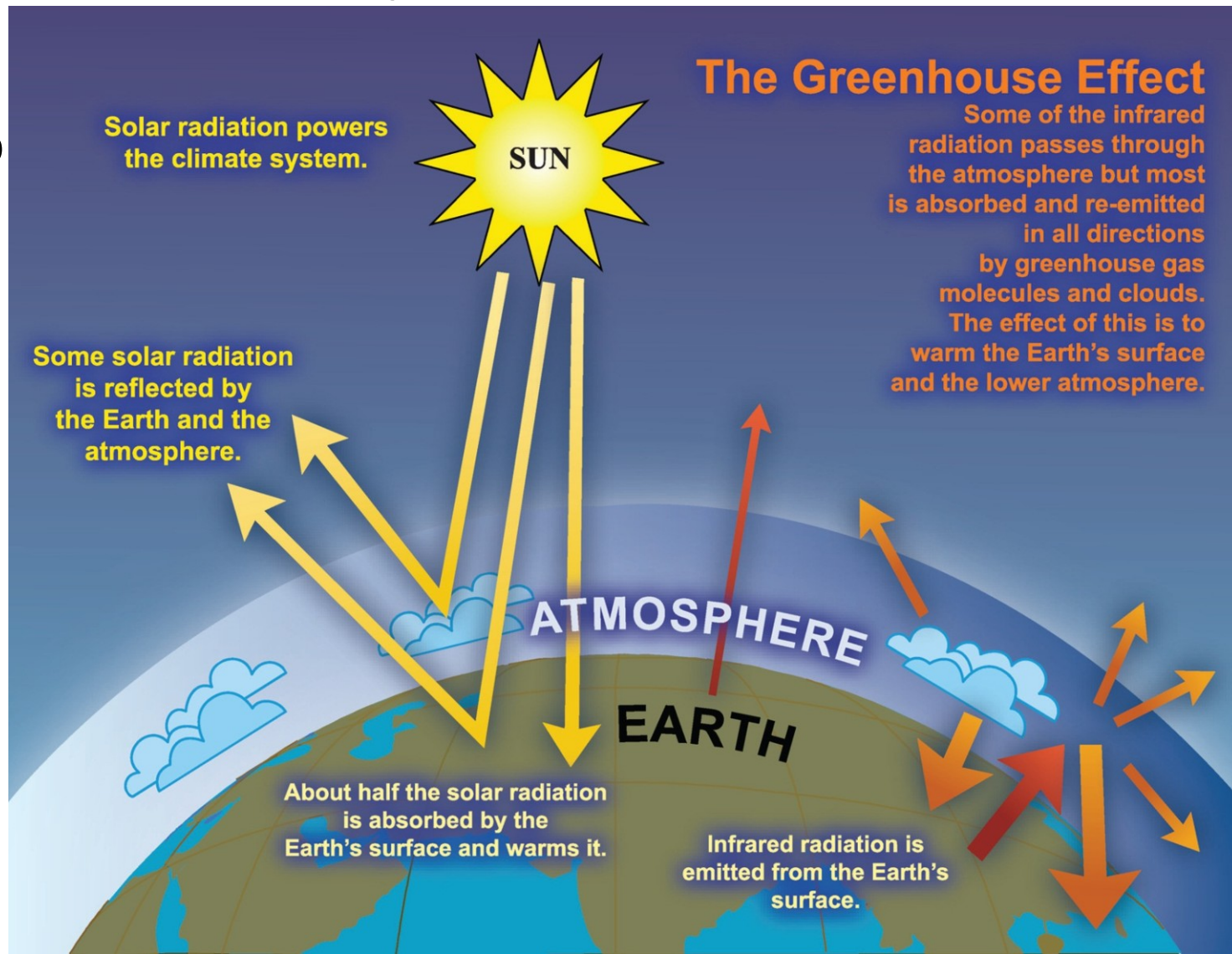
Ozônio (O₃)

A concentração de O₃ varia muito (latitude, estação do ano), mas tem máximo em ~20km. Protege contra radiação UV.



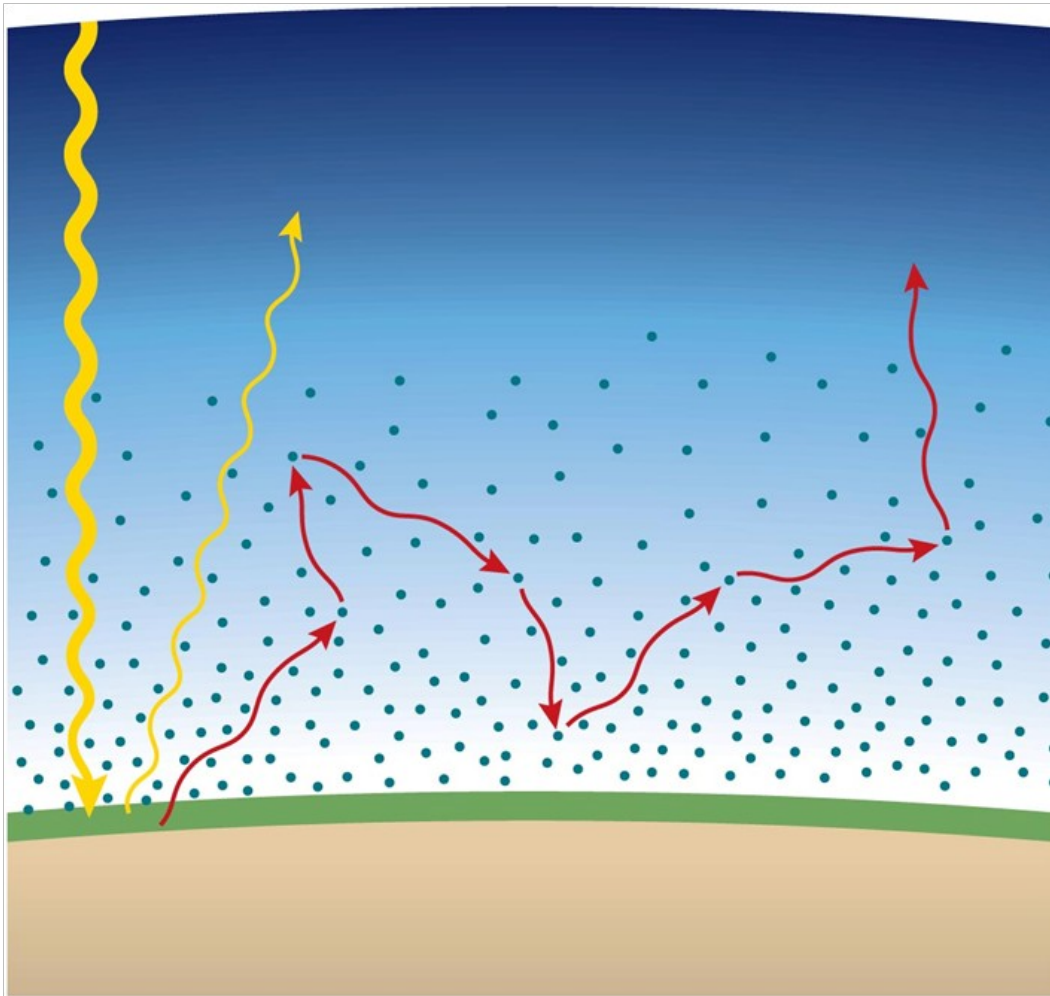
Dióxido de carbono CO_2

- Importante fonte de absorção no infravermelho
- Tem distribuição similar ao O_2 e N_2



CO₂ e efeito estufa

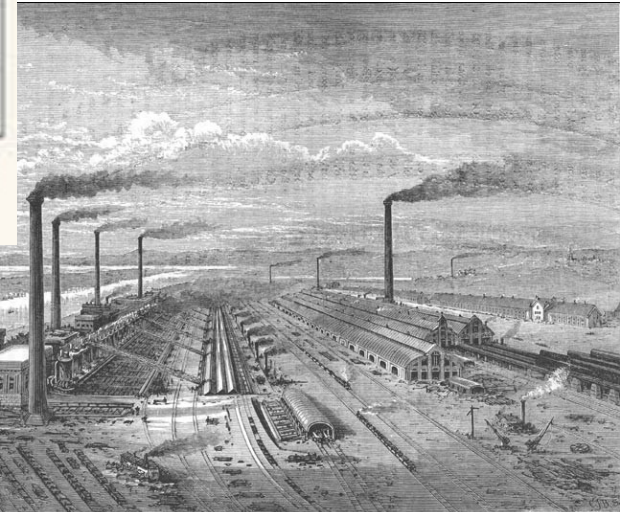
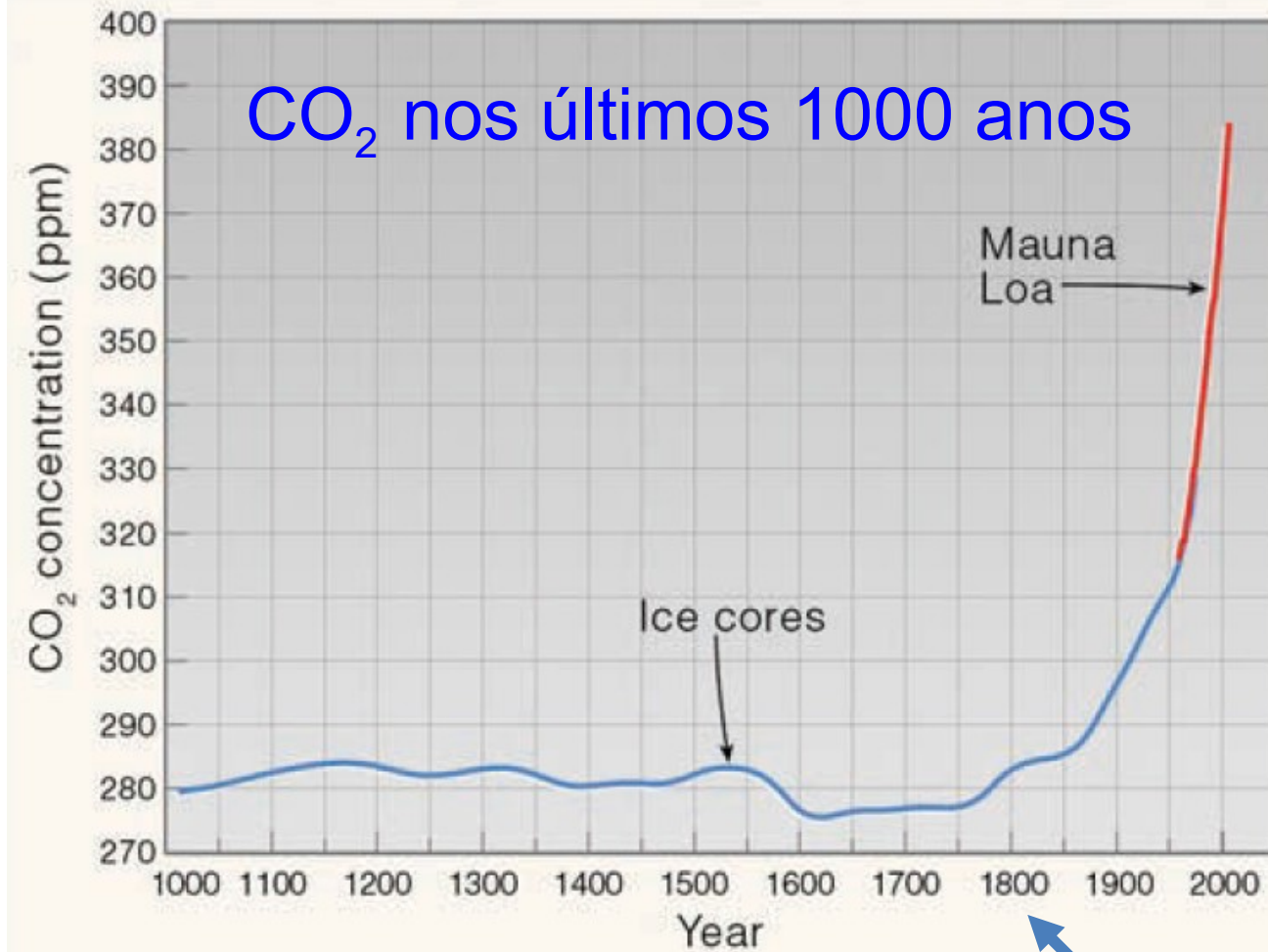
Luz visível atravessa a atmosfera e esquenta a superfície. Os gases (CO₂, H₂O e CH₄) na atmosfera absorvem a luz IR refletida, re-emitindo-a em direções aleatórias.



- CO₂ é a segunda fonte do efeito estufa
- 1ª fonte é o H₂O e 3ª fonte é o CH₄

CO₂ e aquecimento global

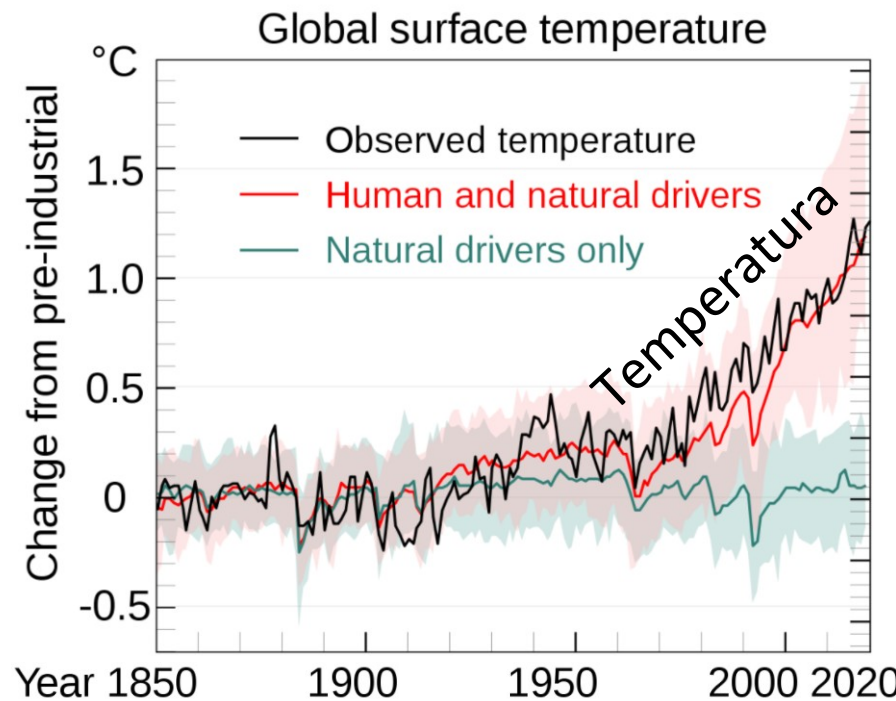
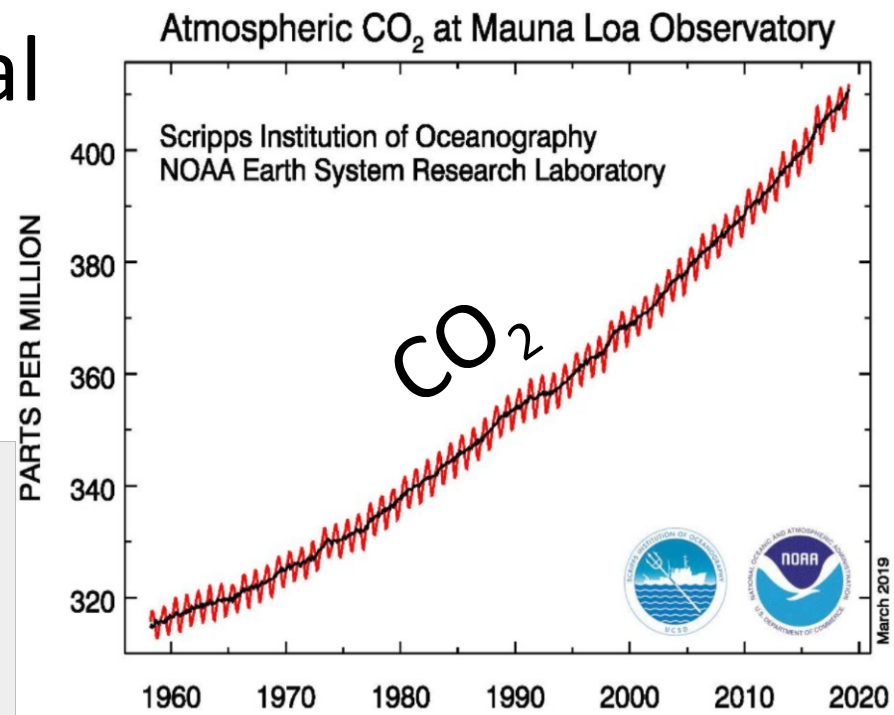
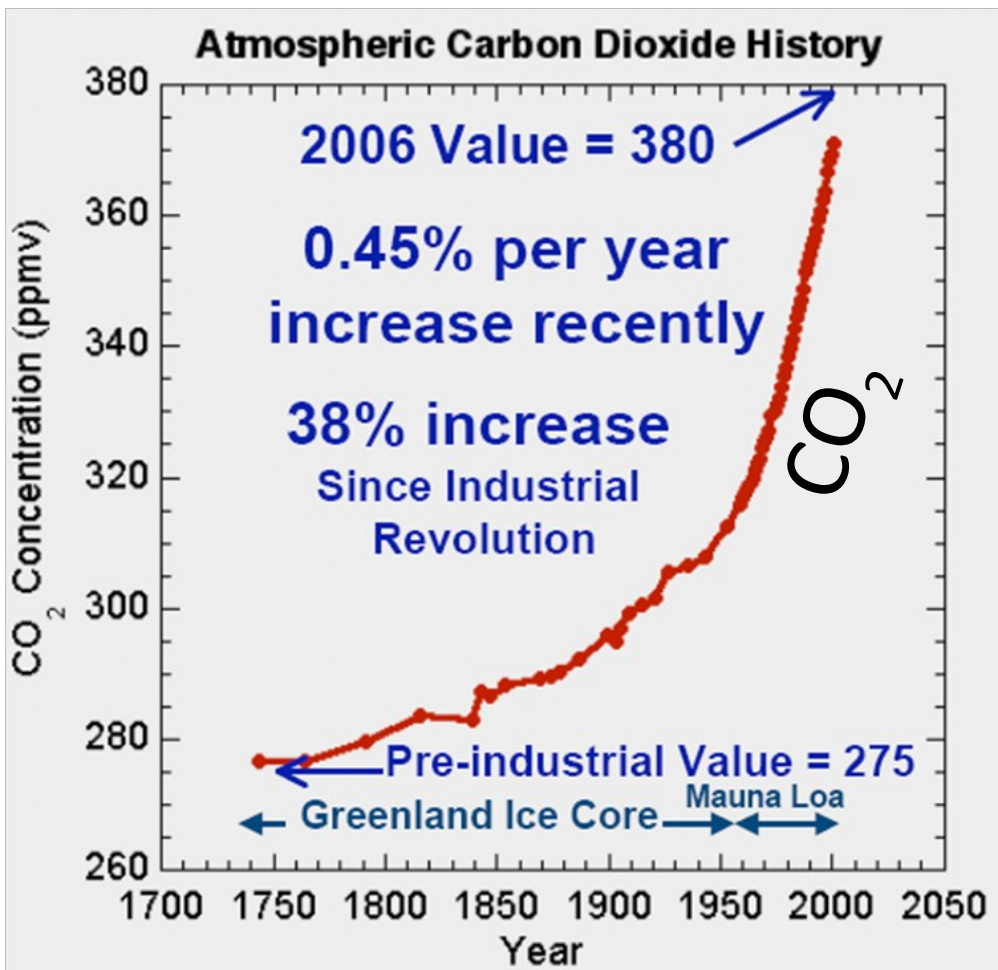
CO₂ nos últimos 1000 anos



● **FIGURE 1.6** Carbon dioxide values in parts per million during the past 1000 years from ice cores in Antarctica (blue line) and from Mauna Loa Observatory in Hawaii (red line). (Data courtesy of Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory.)

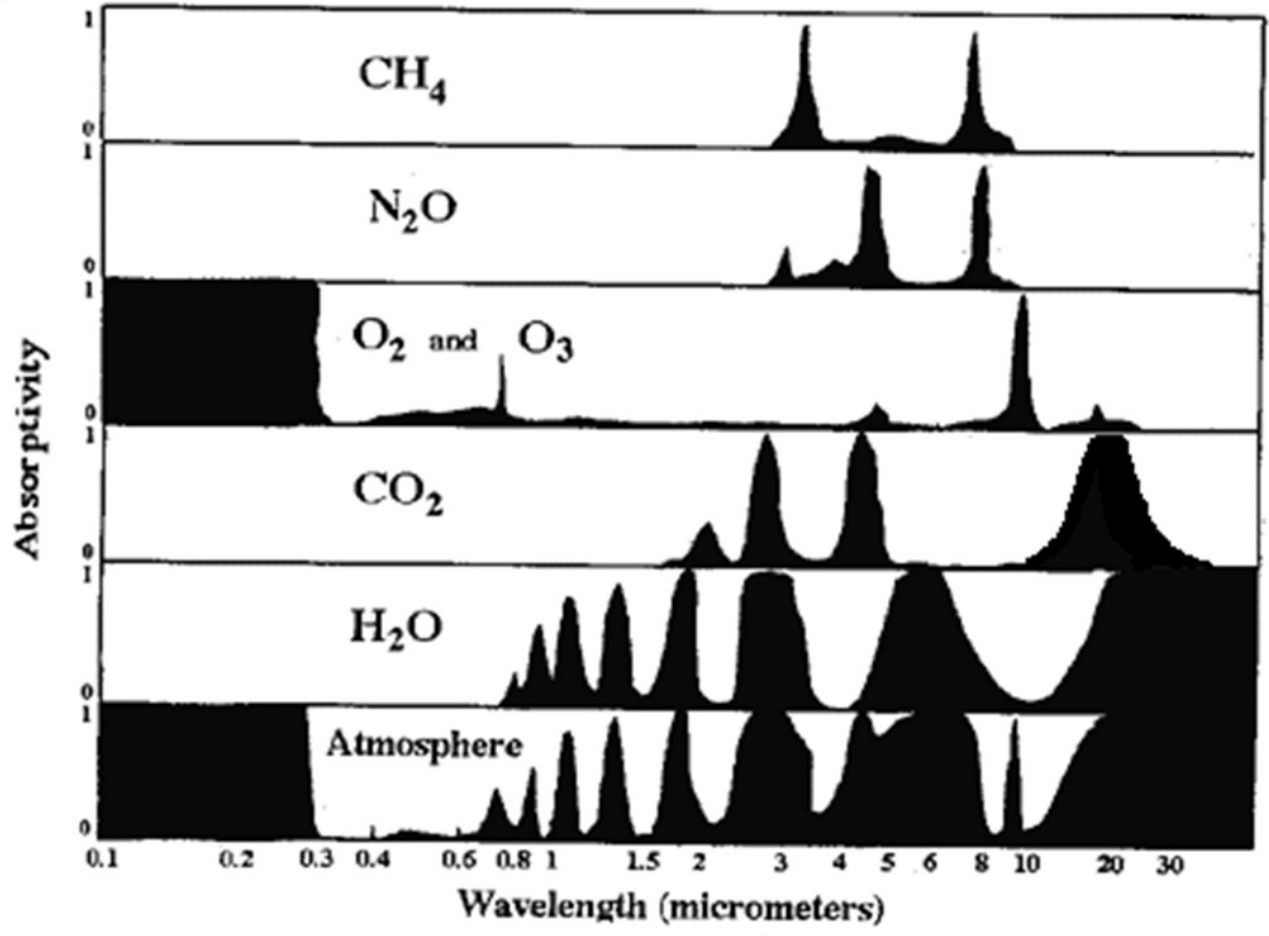
CO₂ e aquecimento global

Contínuo aumento de CO₂
desde a revolução industrial
→ aumento da temperatura



Absorção por moléculas na atmosfera terrestre

A contribuição principal para absorção no infravermelho é do CO₂ e vapor de água

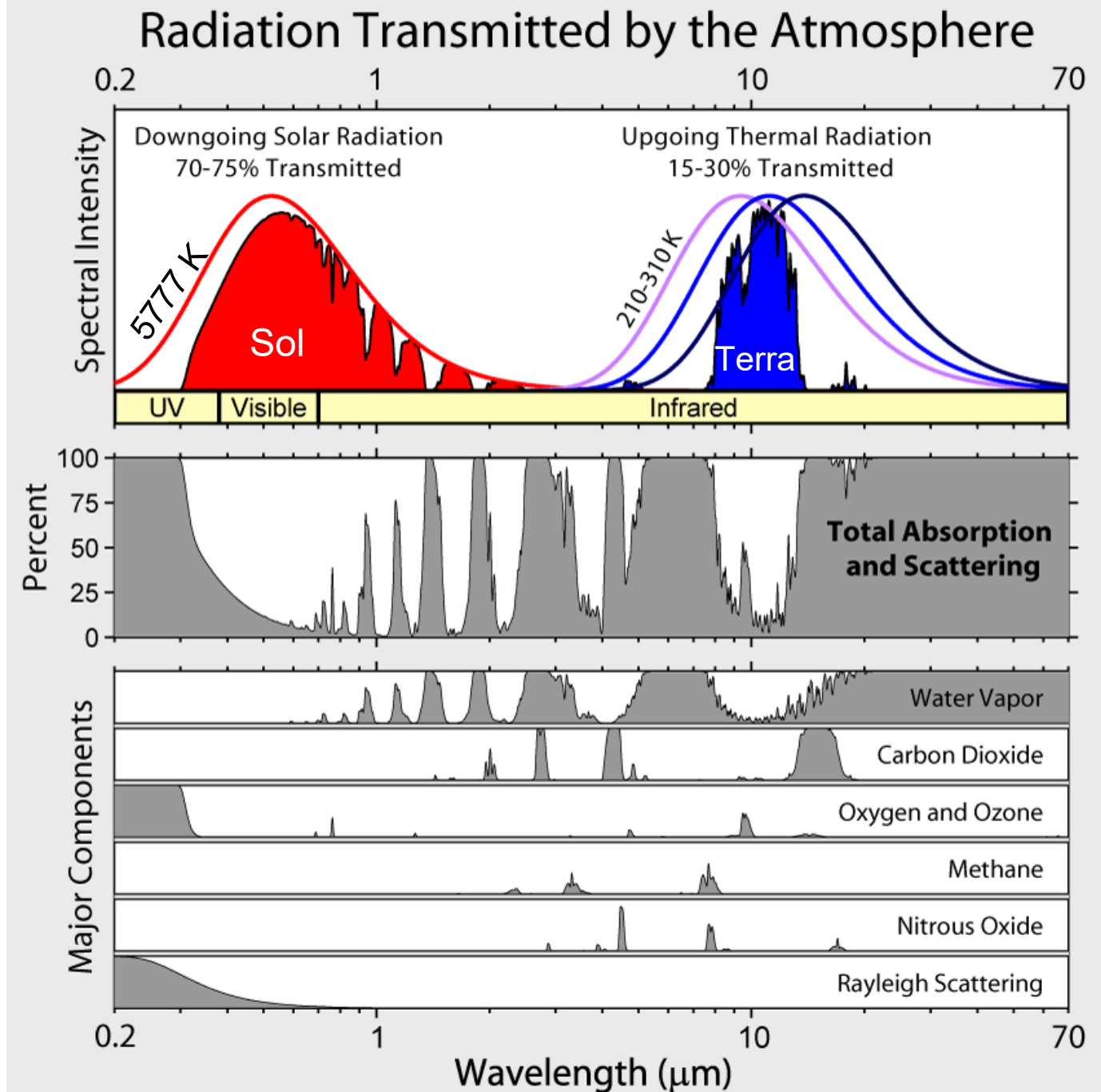


Absorptivity of various gases of the atmosphere and the atmosphere as a whole as a function of the wavelength of radiation. An absorptivity of zero means no absorption while a value of one means complete absorption. The dominant absorbers of infrared radiation are water vapor (H₂O) and carbon dioxide (CO₂). Oxygen (O₂) and ozone (O₃) absorb much of the sun's ultraviolet radiation.

bandas de absorção atmosférica (bandas telúricas)

No visível, onde o Sol emite boa parte de sua energia, a atmosfera é mais transparente e muito opaca no infravermelho.

Dos 33 graus de aquecimento global, ~21 é por H₂O. A parte do CO₂ é menor, mas está em aumento



Difusão da Radiação: espalhamento Rayleigh e Mie

- Causado por moléculas e aerossóis em suspensão
- A influência das partículas do ar depende da altitude, *mas os aerossóis dependem de ventos, clima, estação, ativ. vulcânica, poluição industrial...*

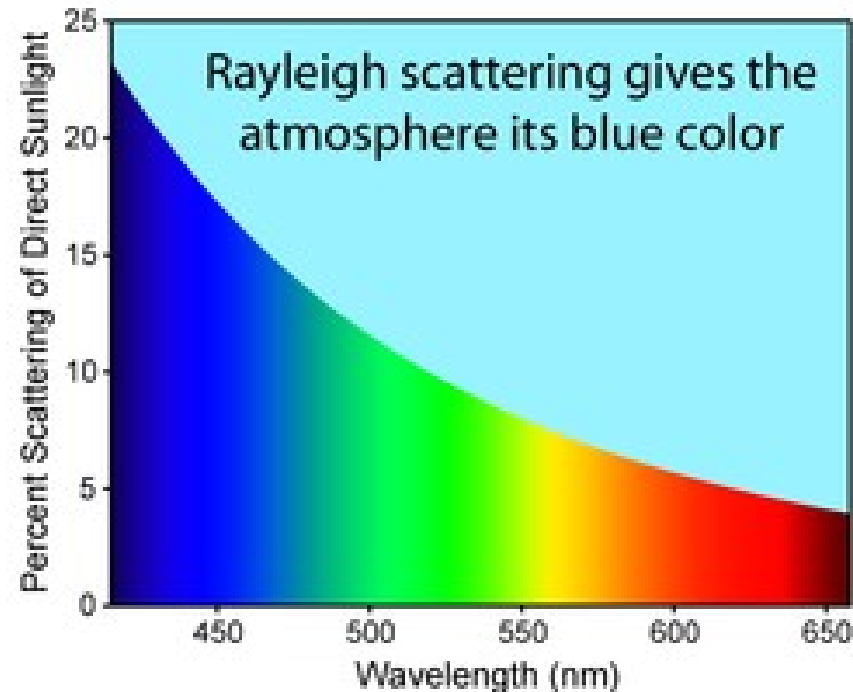


Espalhamento Rayleigh

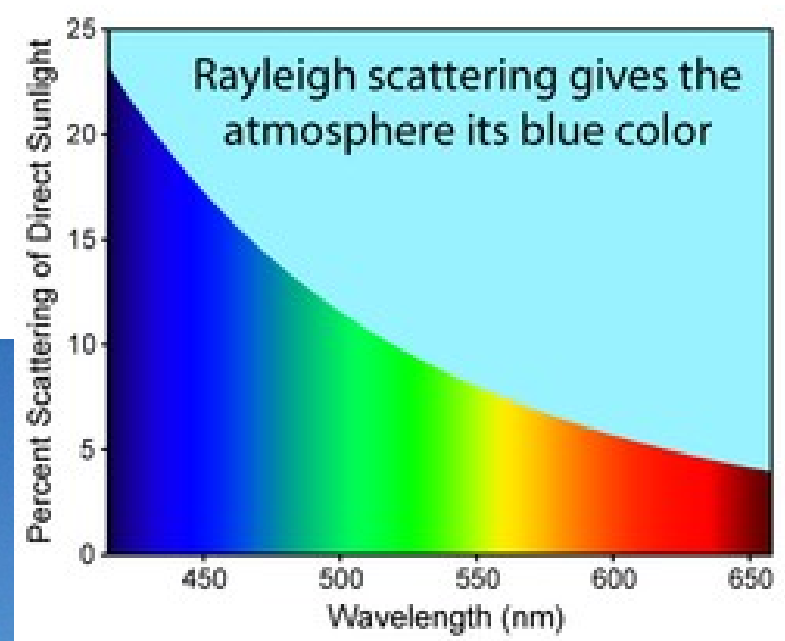
- Para partículas menores ao comprimento de onda λ da luz

$$\sigma_R(\lambda) = \frac{8\pi^3}{3} \frac{(n^2 - 1)^2}{N^2 \lambda^4}$$

- onde n : índice de refração;
- N : densidade moléculas



$$\sigma_R(\lambda) = \frac{8\pi^3}{3} \frac{(n^2 - 1)^2}{N^2 \lambda^4}$$

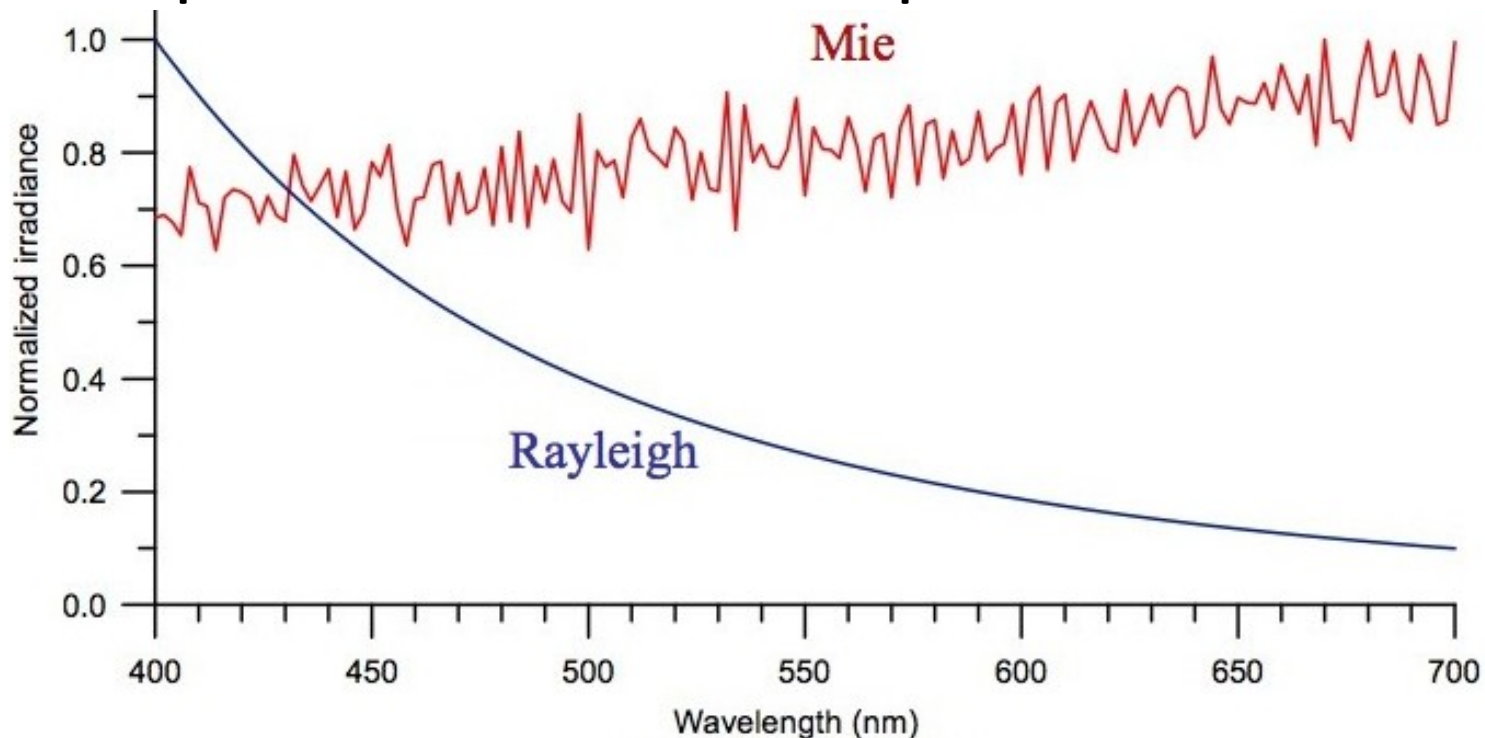


Por isso o céu é azul

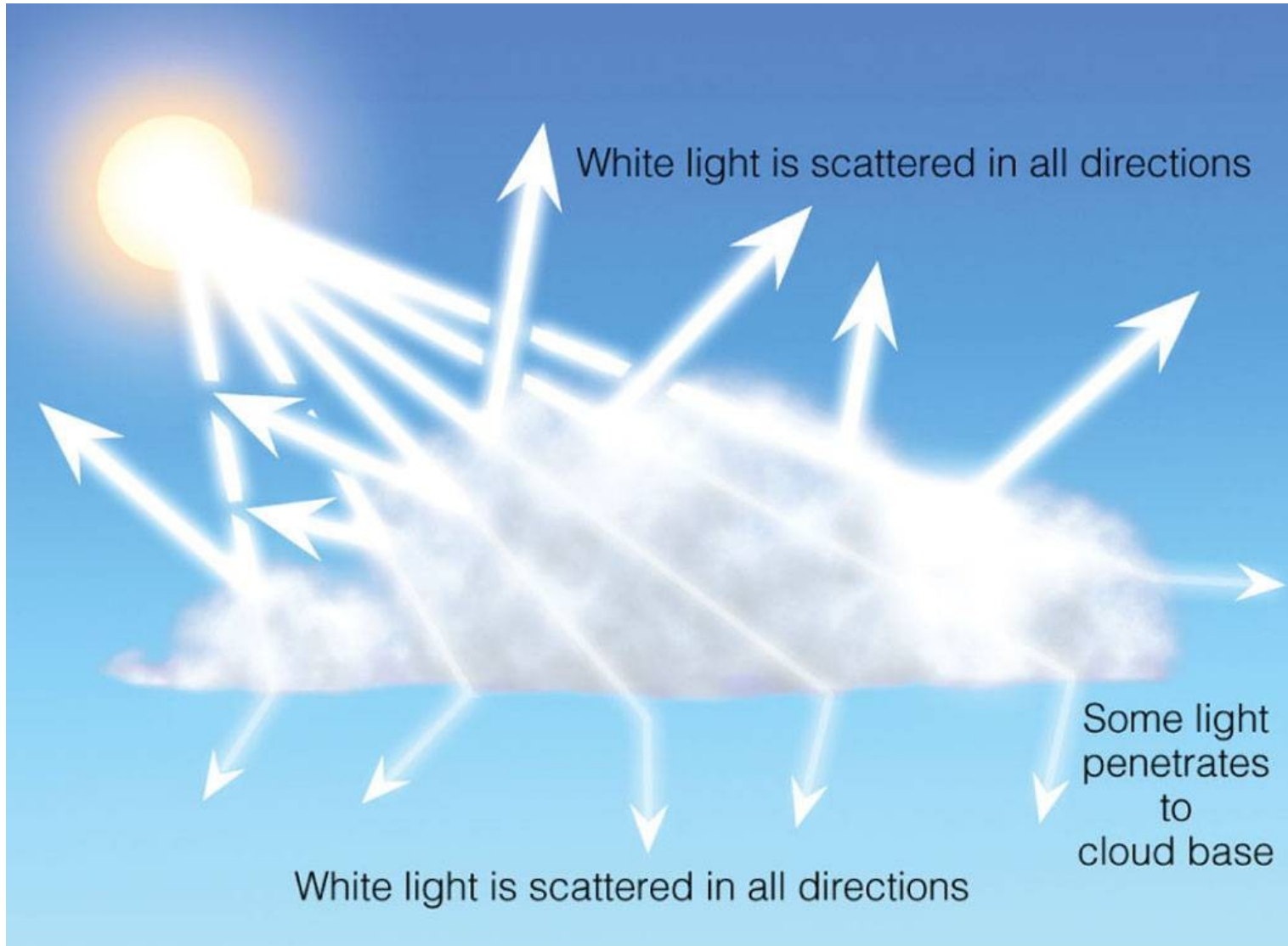


Espalhamento Mie

- Espalhamento por partículas maiores ao comprimento de onda λ da luz
- Não depende muito do comprimento de onda



Espalhamento Mie



Outros fatores atmosféricos: Turbulência atmosférica



*Vincent
van Gogh*

Geração de turbulência na atmosfera terrestre

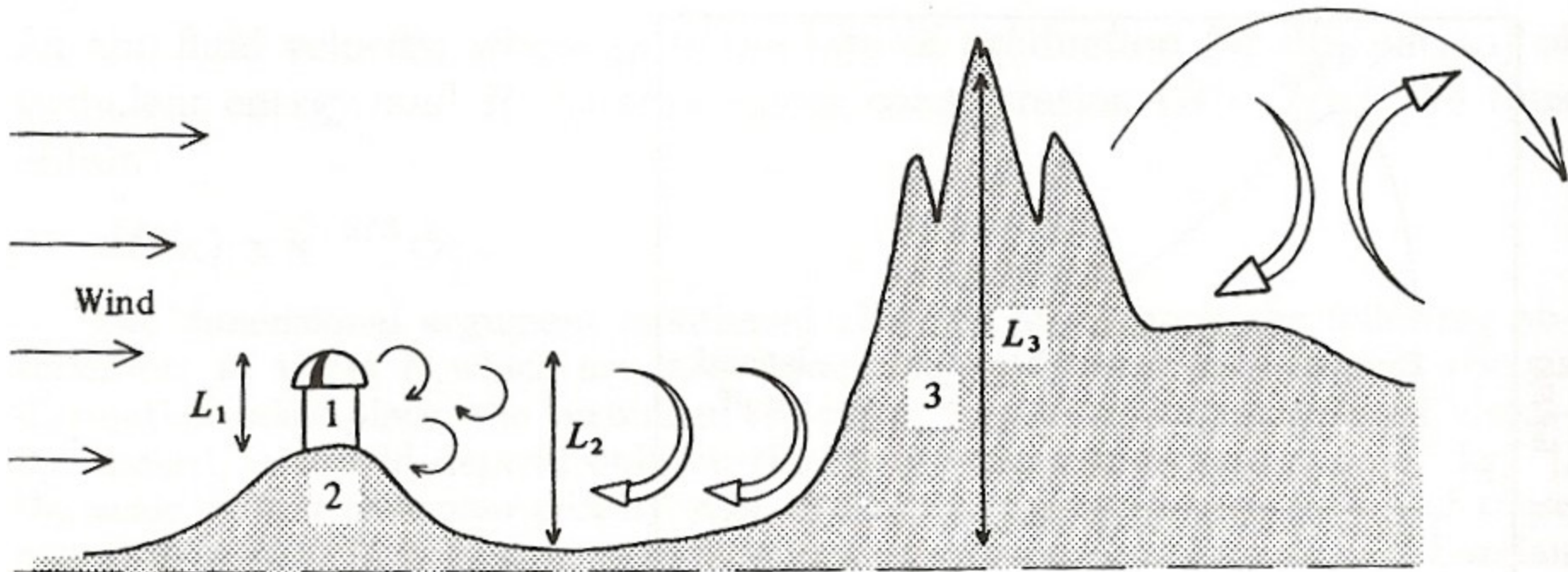


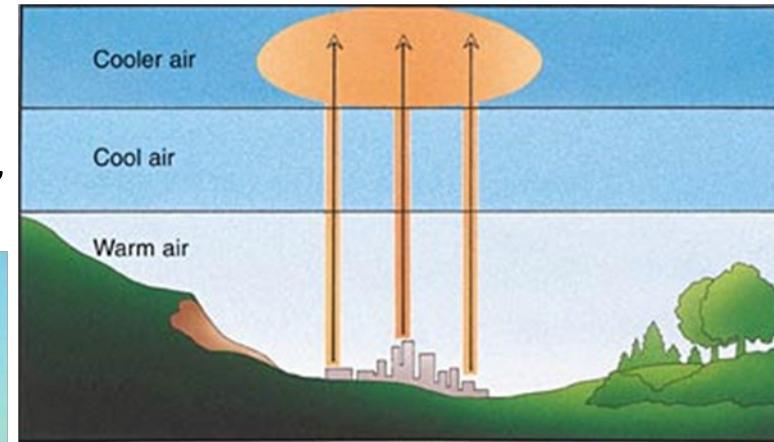
Fig. 2.13. Schematic representation of the generation of turbulence in the atmosphere by different obstacles. The amplitude of the temperature fluctuations depends on the amplitude of the turbulence and on the deviation of the actual temperature gradient from the adiabatic gradient. The scales L_1 , L_2 , L_3 are characteristic of the external scales of turbulence caused by wind around the obstacles 1, 2 and 3

Turbulência atmosférica causada pelo relevo

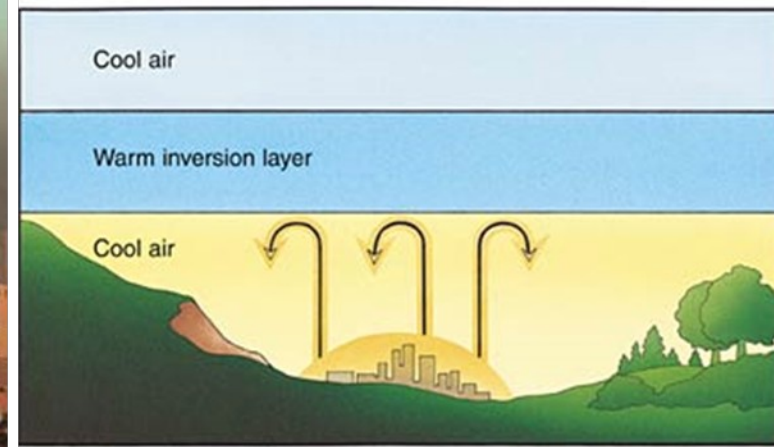
Outros efeitos atmosféricos:

Camada de inversão

- Fator na escolha de um sítio astronómico de solo
- Camada de inversão, ~ 2km, mas pode ocorrer a menores z



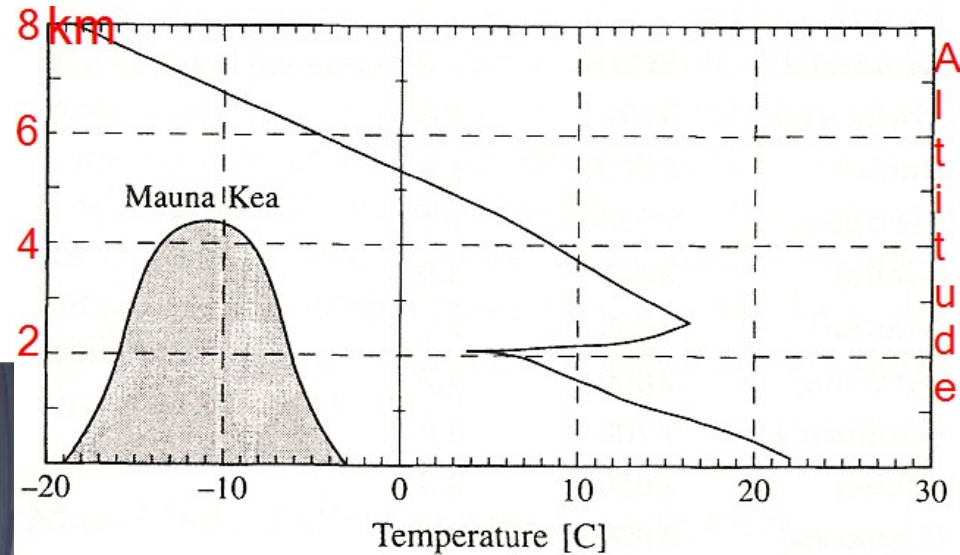
Normal pattern



Thermal inversion

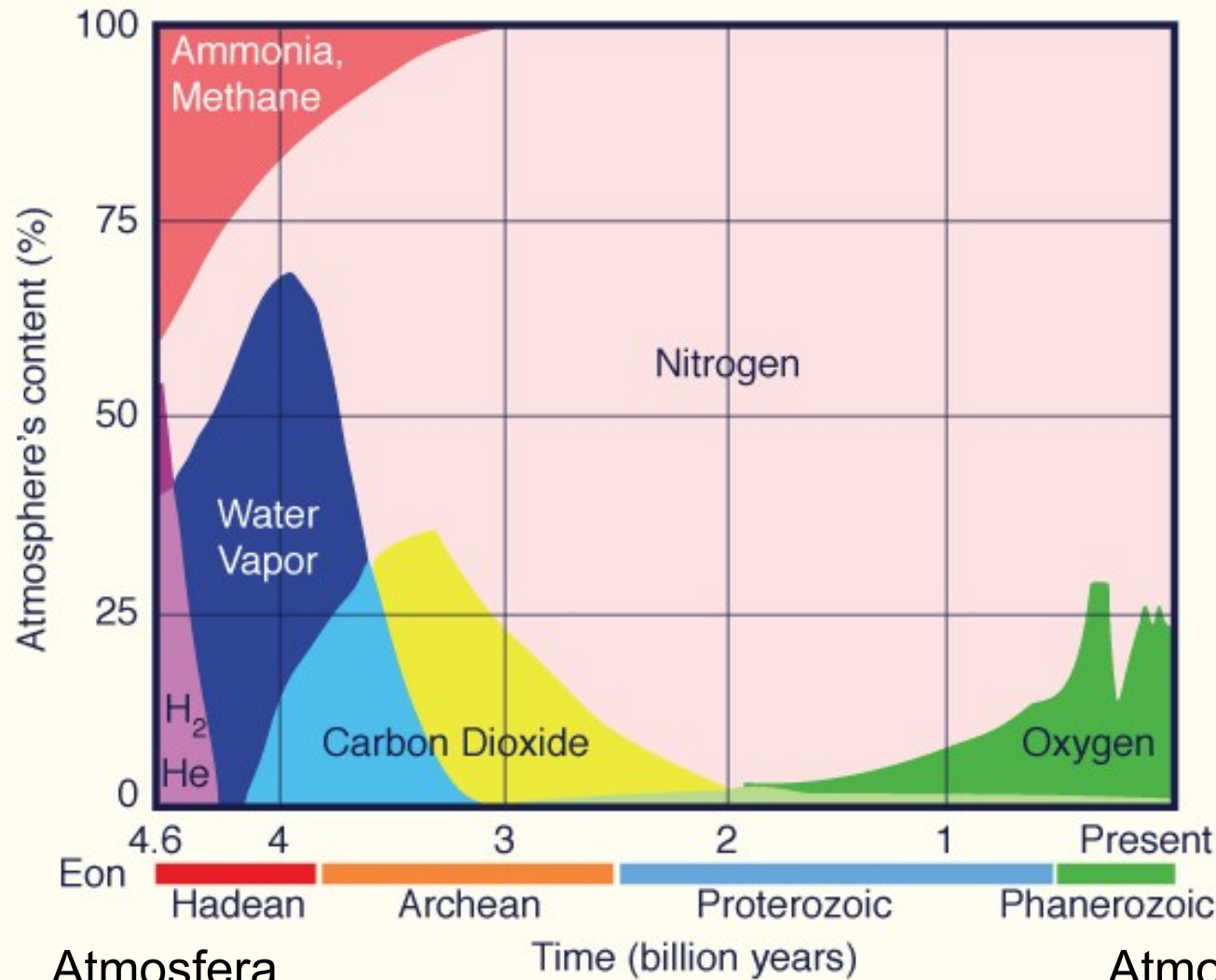
Camada de inversão

Camada de inversão sobre o oceano pacífico em volta da ilha de Havaí



2.16. Inversion layer above the Pacific Ocean, near the island of Hawaii (30° N). This is a *subsidence inversion*, caused by reheating of the lower layers; the latter movement itself is caused by the general circulation of the atmosphere observed in *Hadley cells*. (Sounding balloon measurements communicated by P. Bely and the Hilo Weather Bureau, Hawaii.)

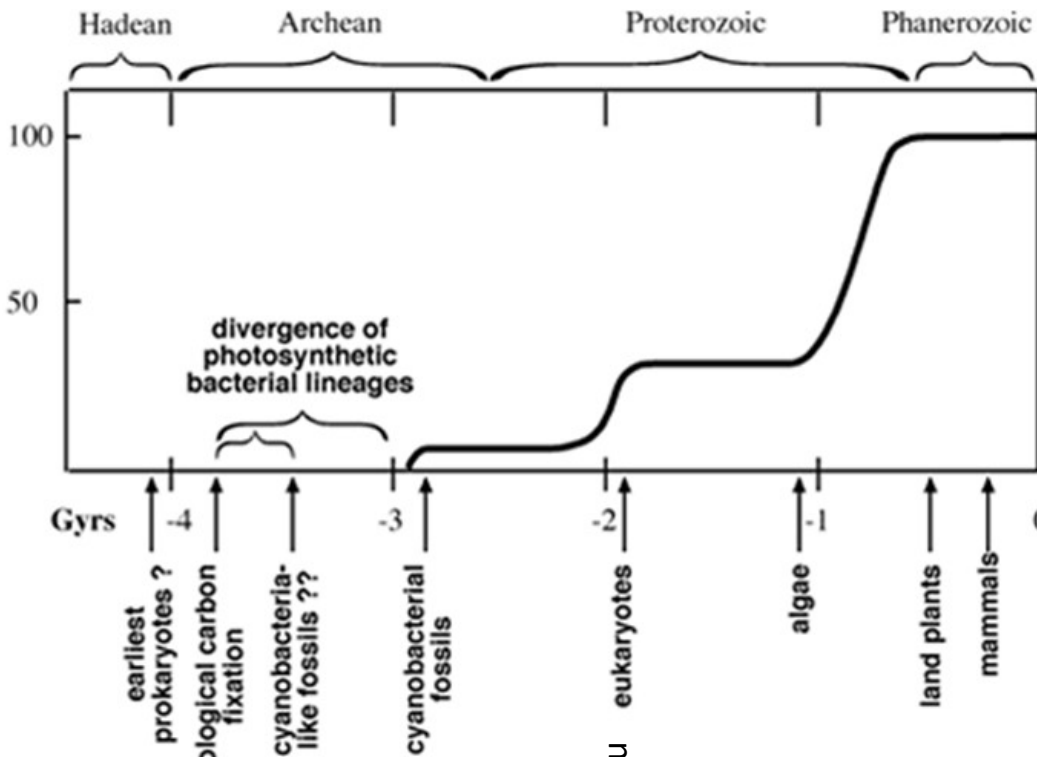
Evolução da atmosfera terrestre



Atmosfera primordial

Atmosfera atual

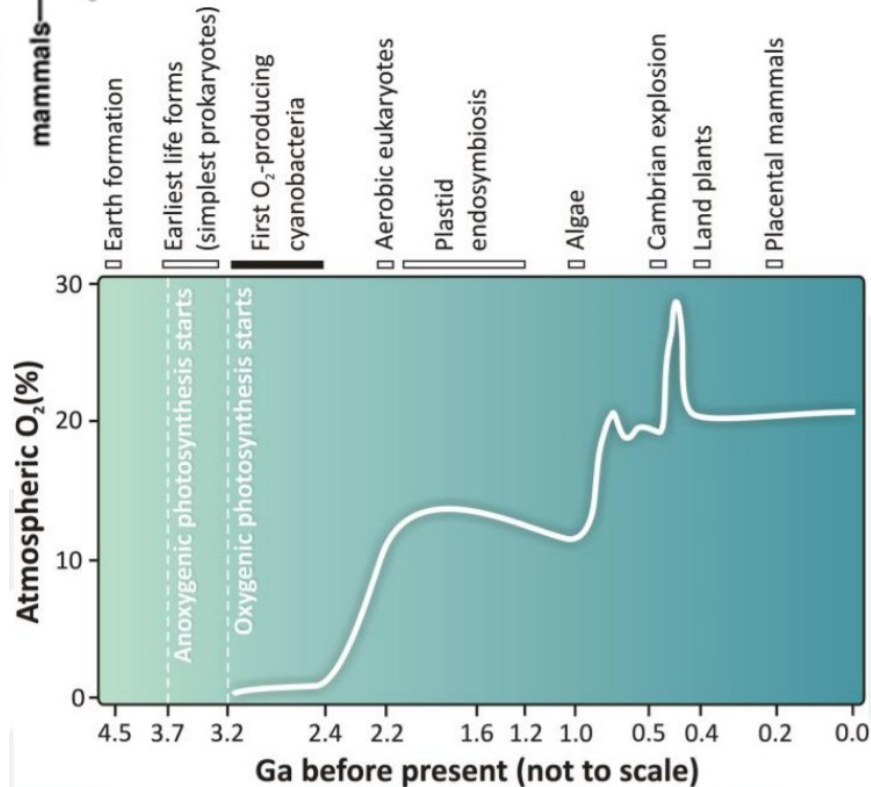
O₂ (% do valor atual)



Bilhões de anos (passado)

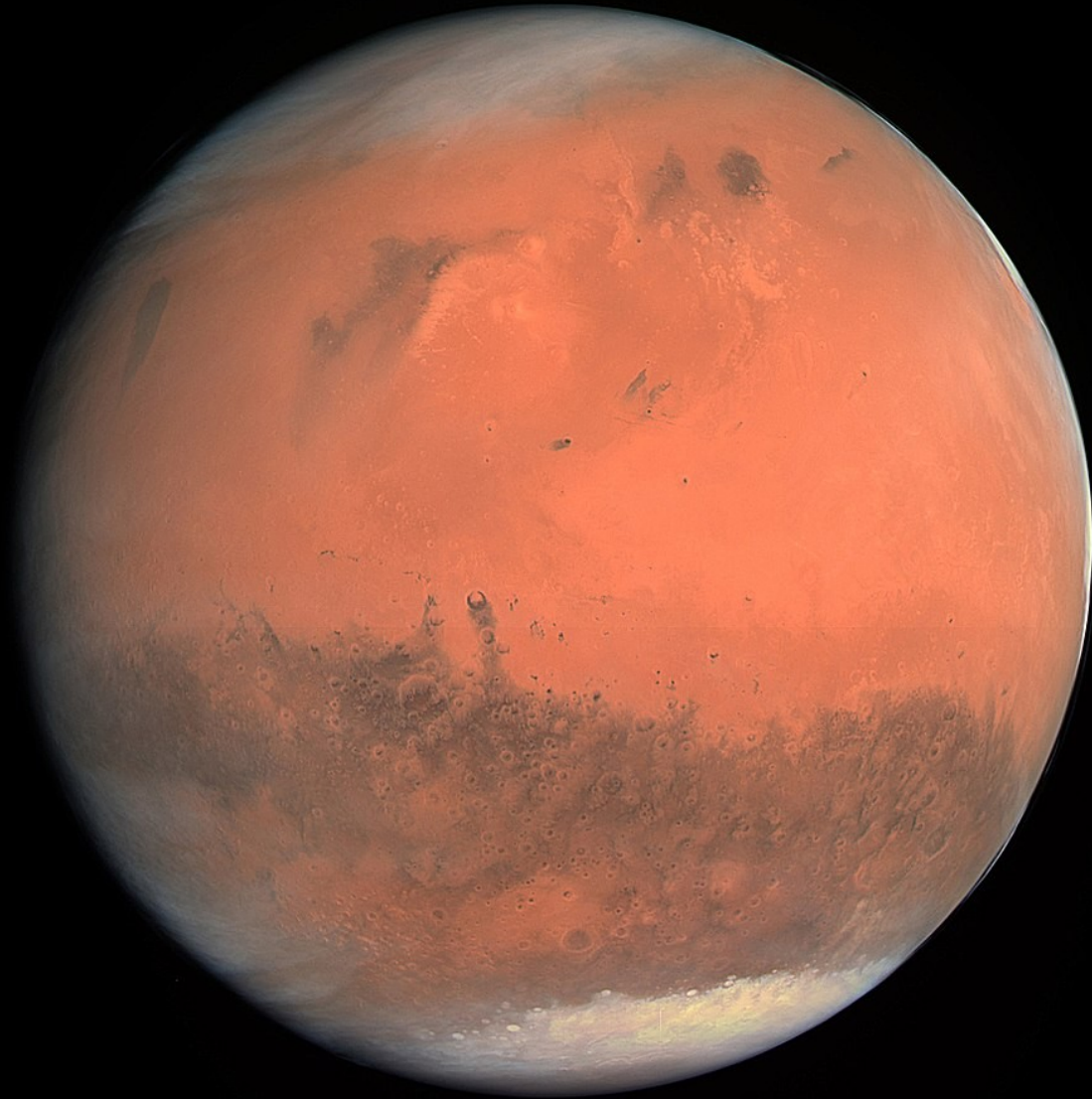
Organismos unicelulares ou pluricelulares com núcleo

Cianobactérias produziram a grande quantidade de oxigênio presente na atmosfera terrestre



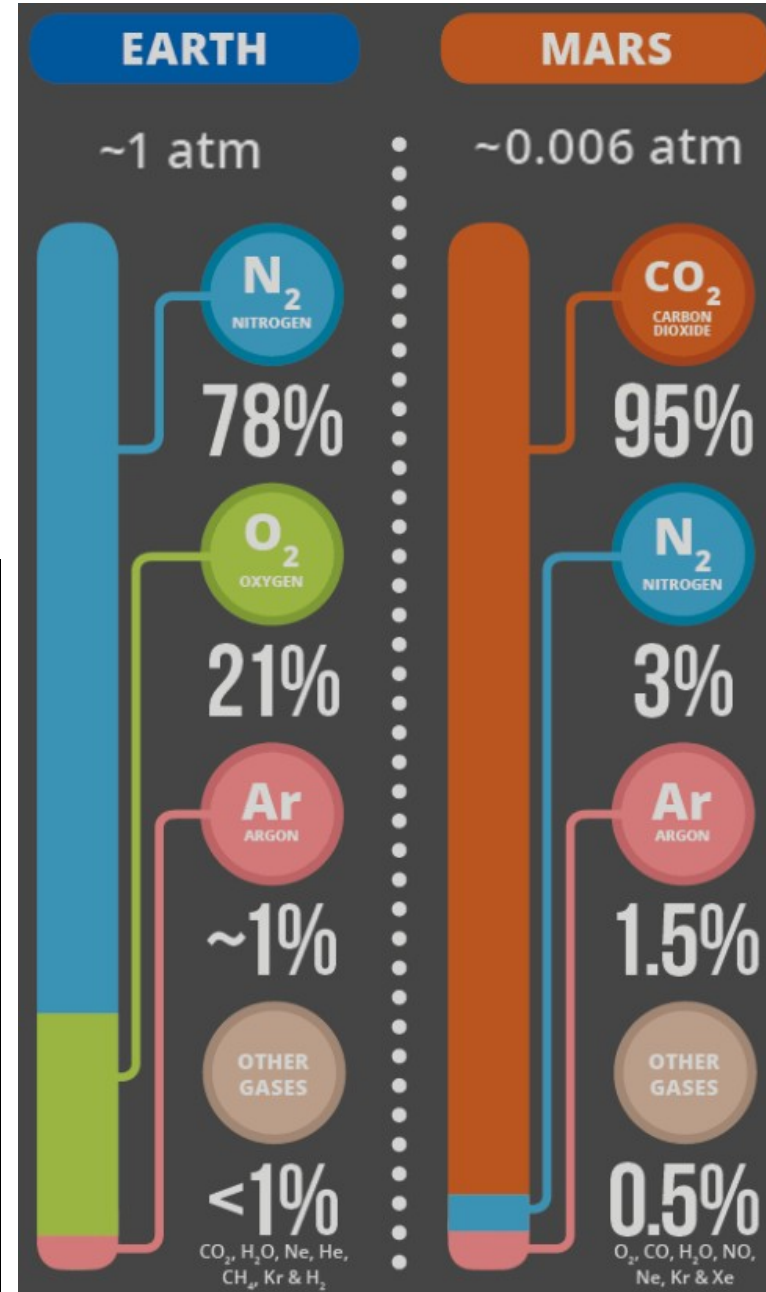
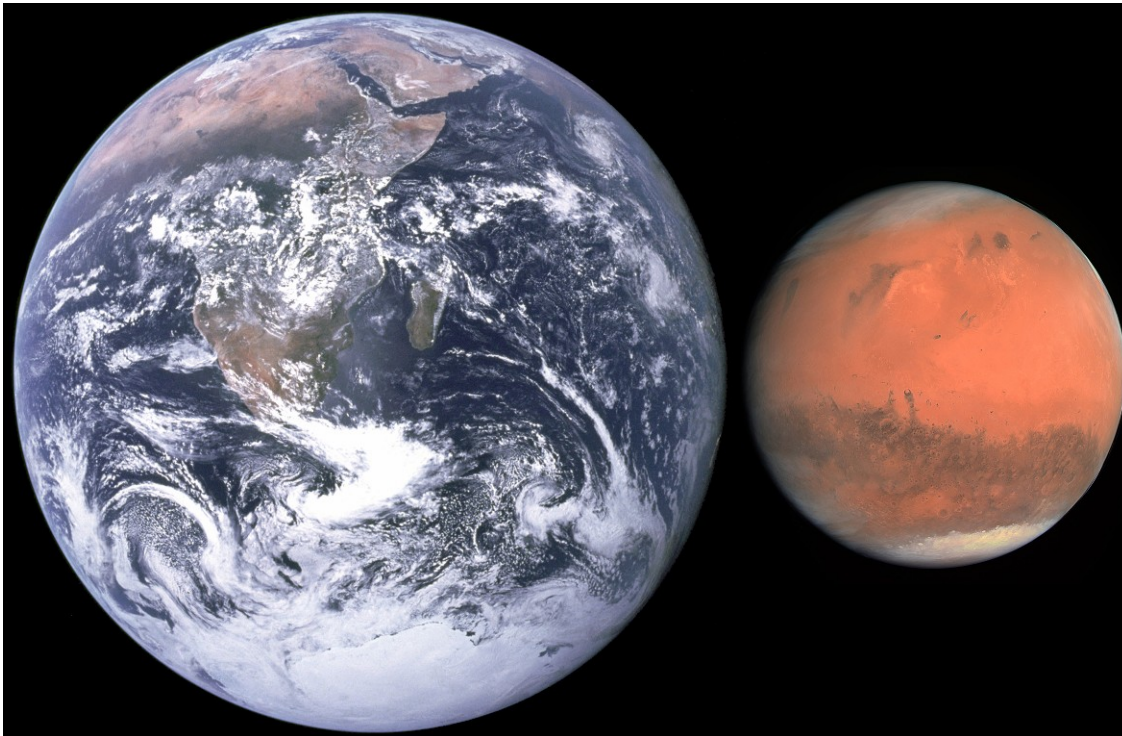
Timeline of oxygenation and events in the history of life. (G and D Shevela 2011, Creative Commons)

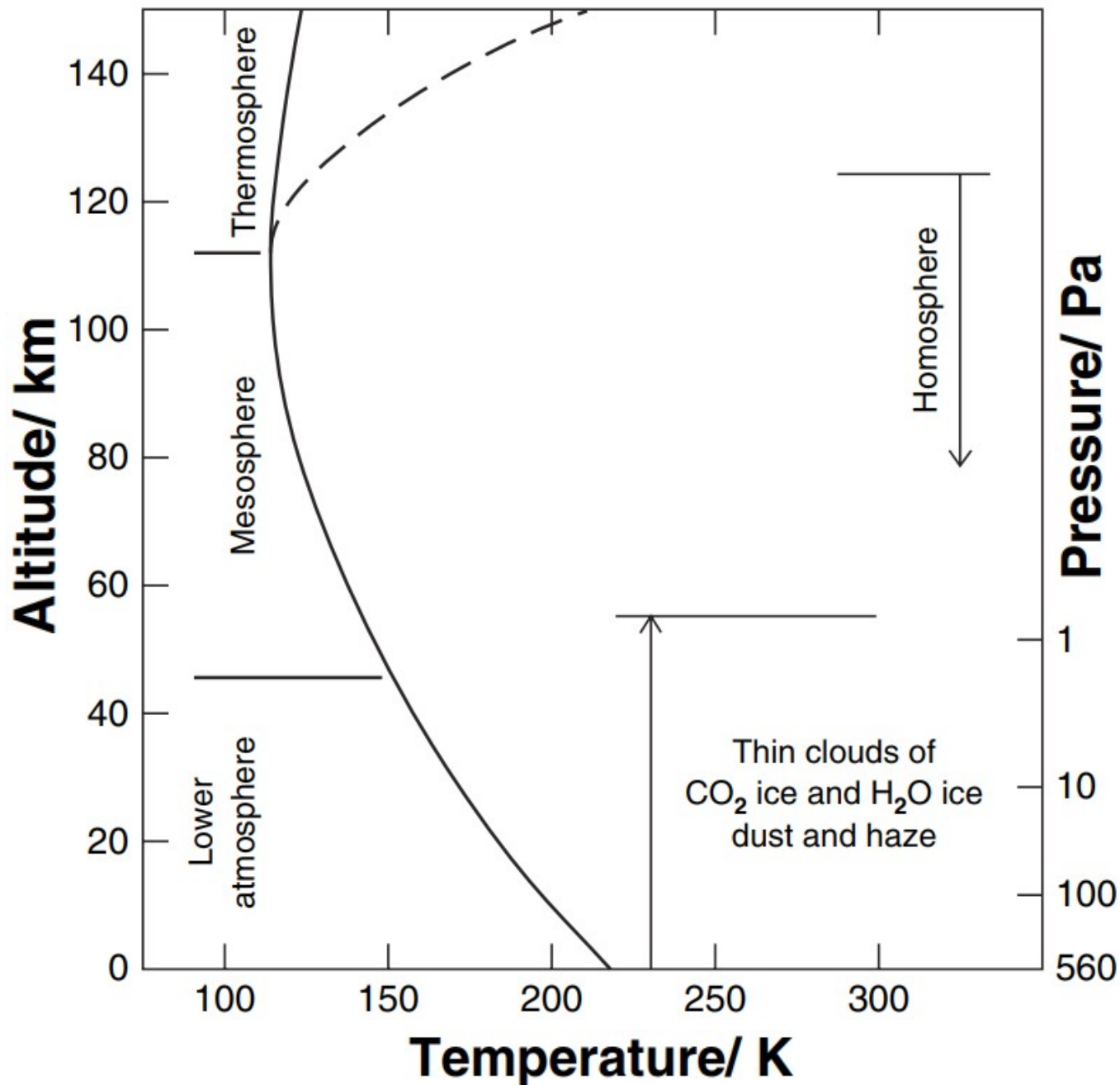
A atmosfera de Marte



A atmosfera de Marte é muito menor que a da Terra.

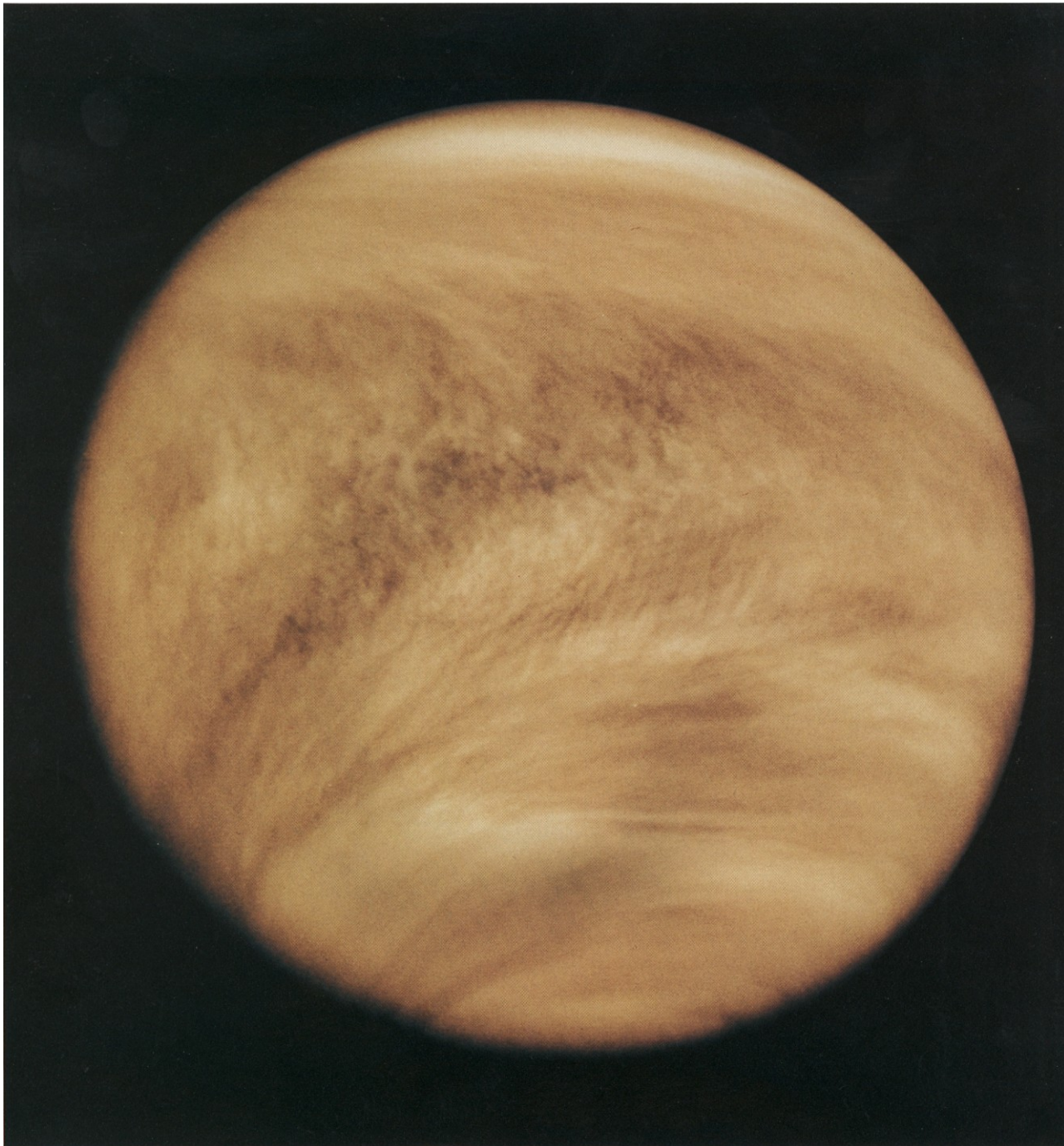
Também, a composição química é muito diferente. A atmosfera de Marte é principalmente de CO₂.





(c) Discovering the Solar System

Figure 10.8 The globally averaged vertical structure of the Martian atmosphere when its dust content is low. The two curves in the thermosphere correspond to extremes of low and high solar activity.



A atmosfera de
Vênus.

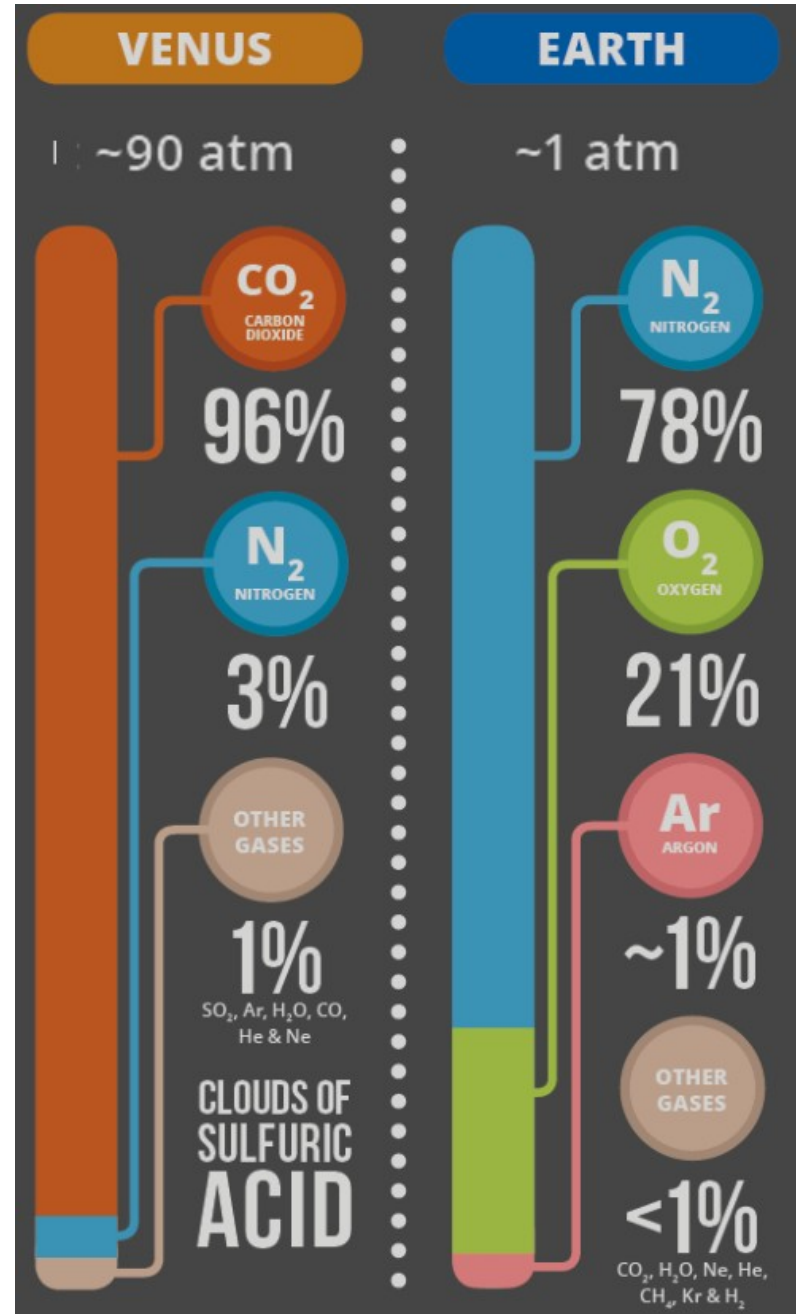
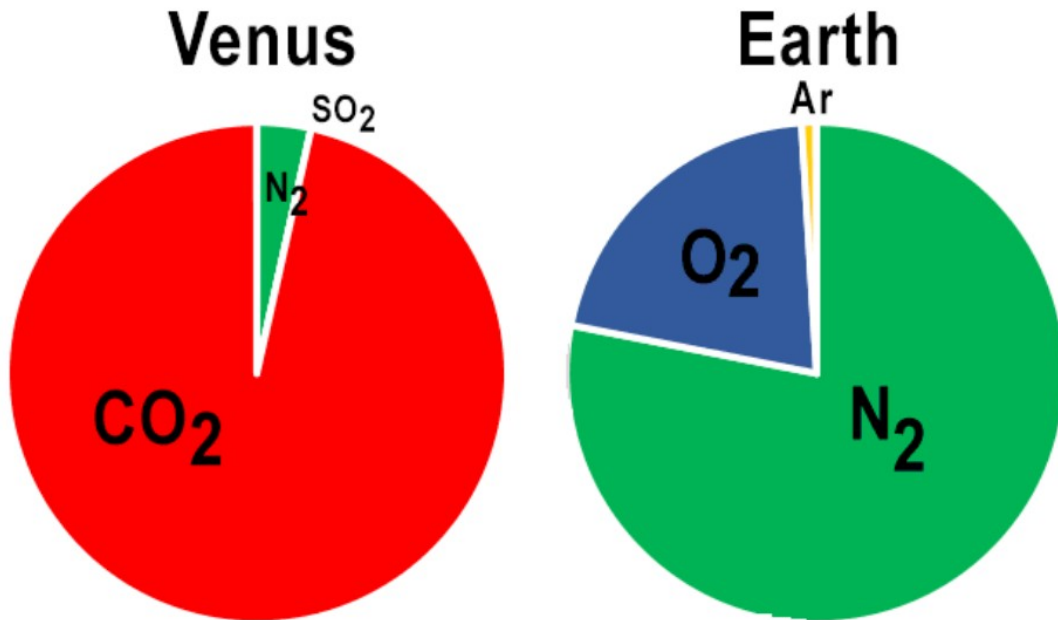
Vênus é
permanentemente
coberto de nuvens
de ácido sulfúrico
(H_2SO_4)

Nuvens na atmosfera de
Vênus em 1979.
Observações em ultravioleta
pela sonda Pioneer Venus
Orbiter.

A atmosfera de Vênus é mais espessa que a da Terra.

Também, a composição química é muito diferente. A atmosfera de Vênus é principalmente CO_2 .

Efeito estufa por CO_2 , H_2O e dióxido de enxofre (SO_2)



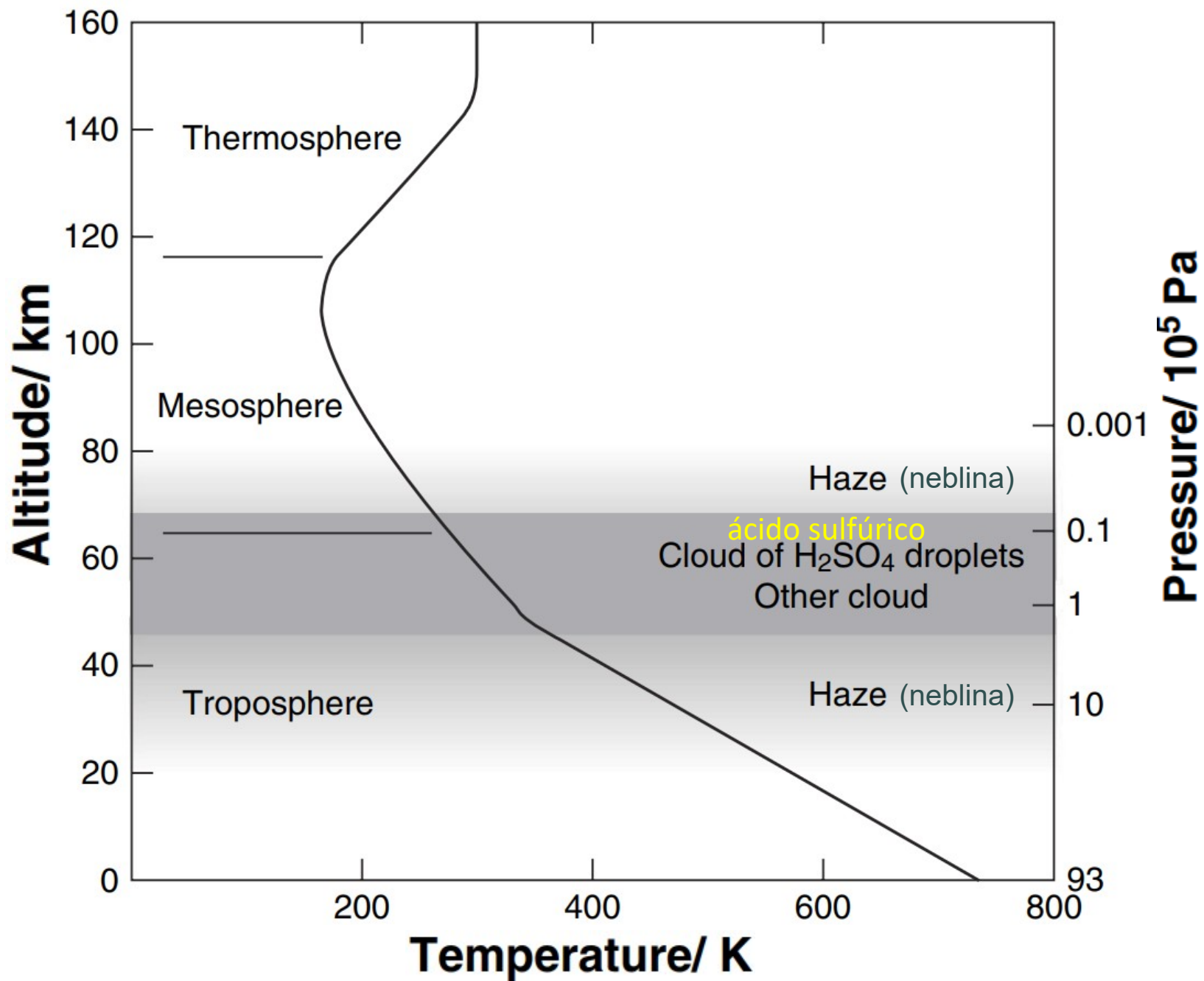
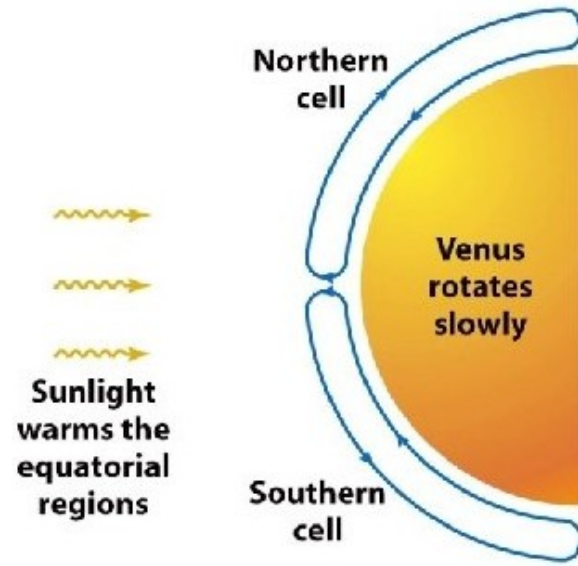
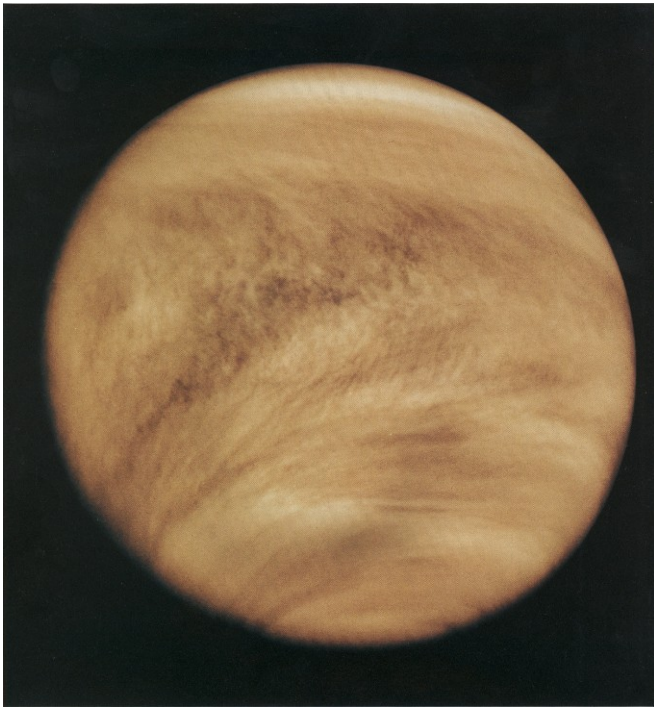
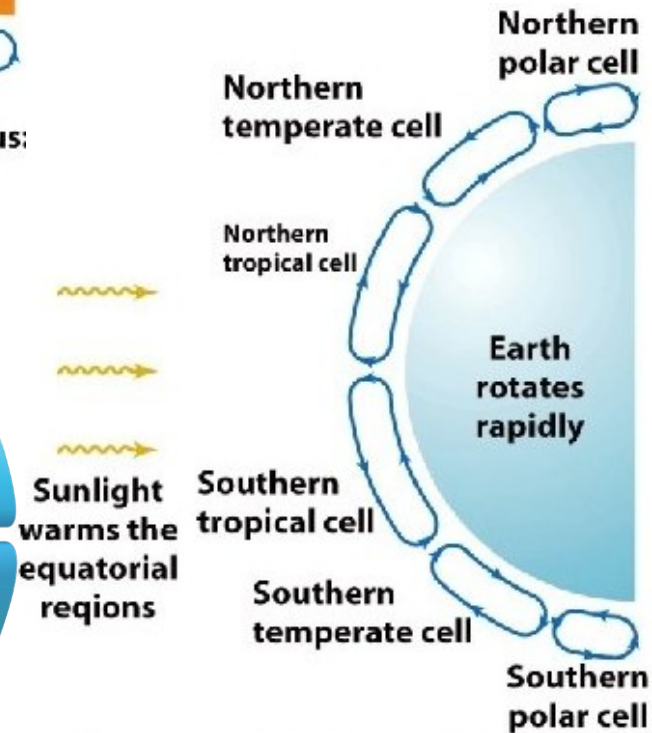
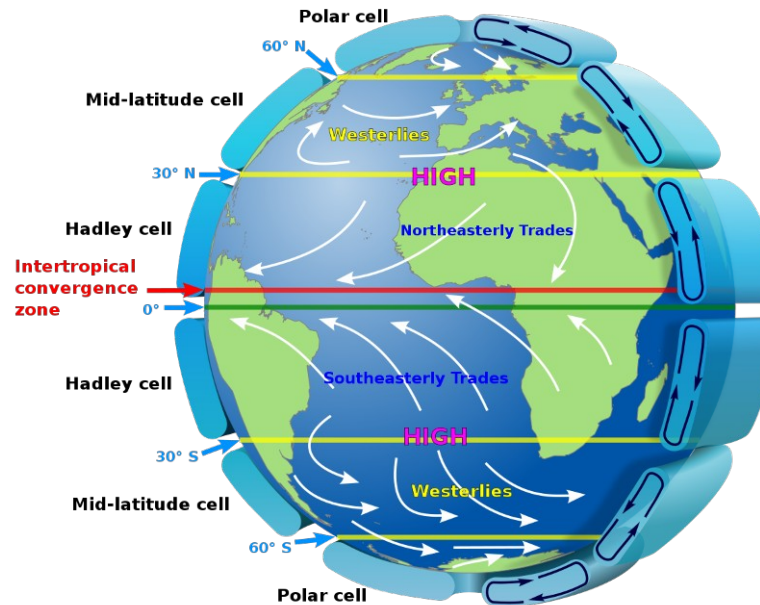


Figure 10.10 The vertical structure of the Venusian atmosphere. (c) Discovering the Solar System

Vênus tem baixa rotação → circulação simples (2 células de Hadley)



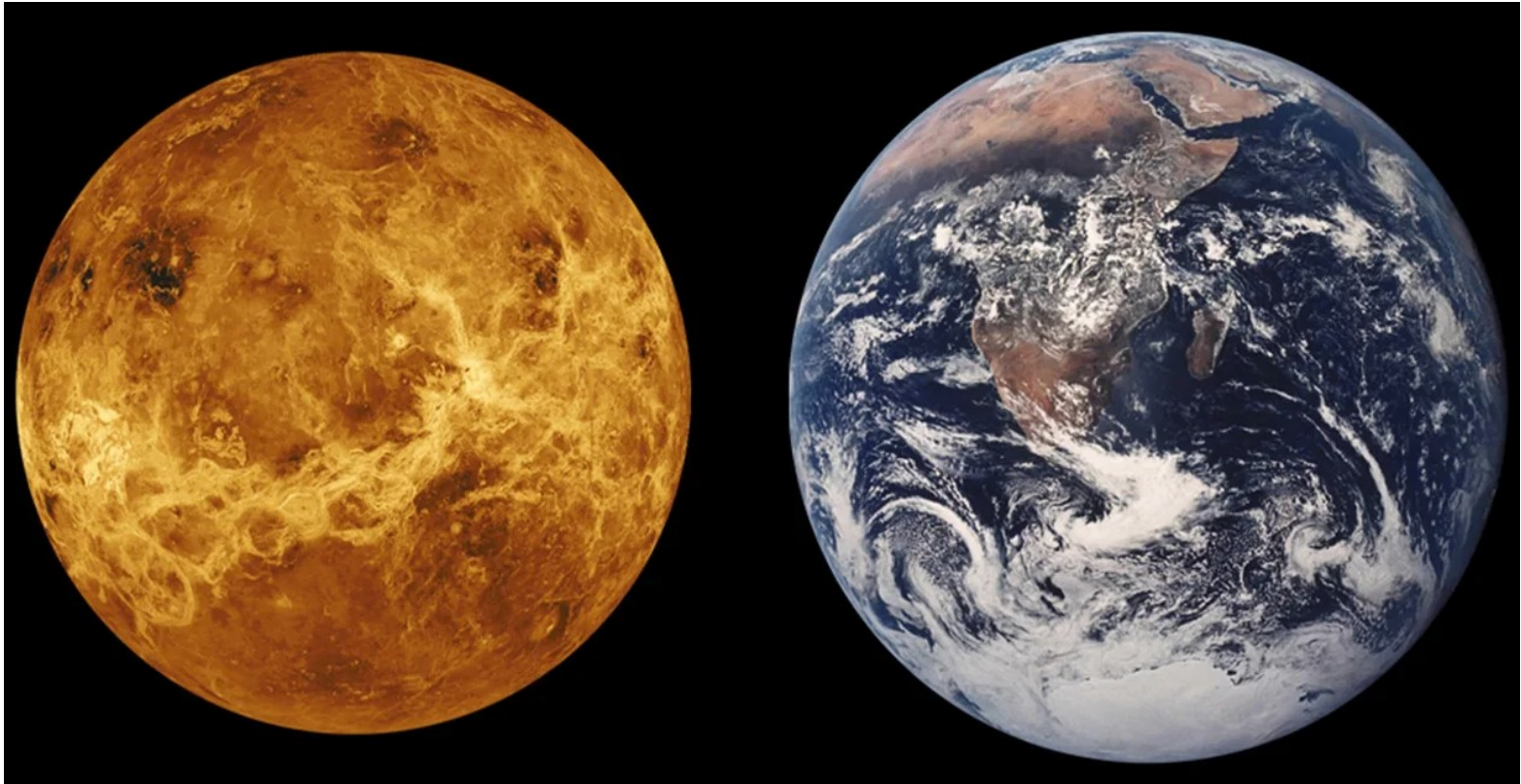
(a) Atmospheric circulation on Venus: two convection cells



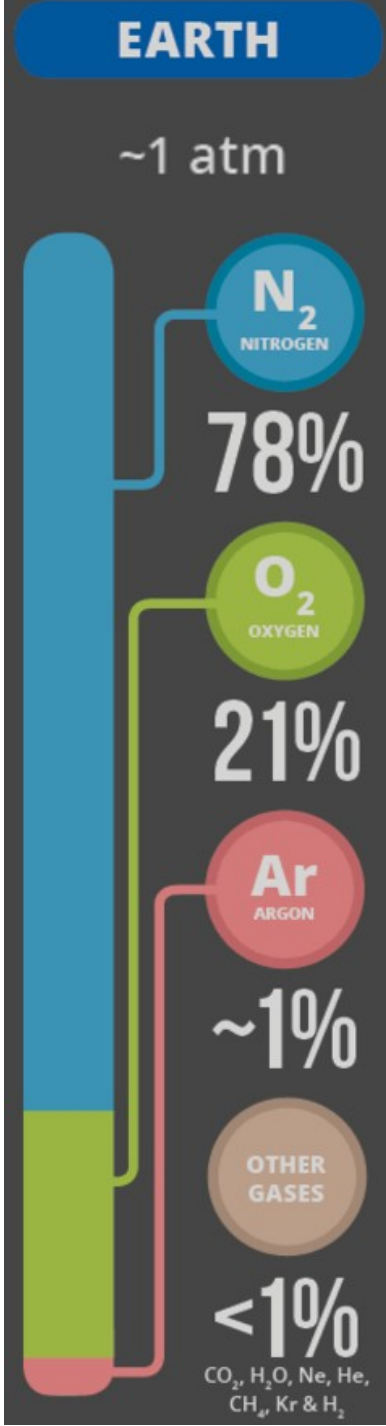
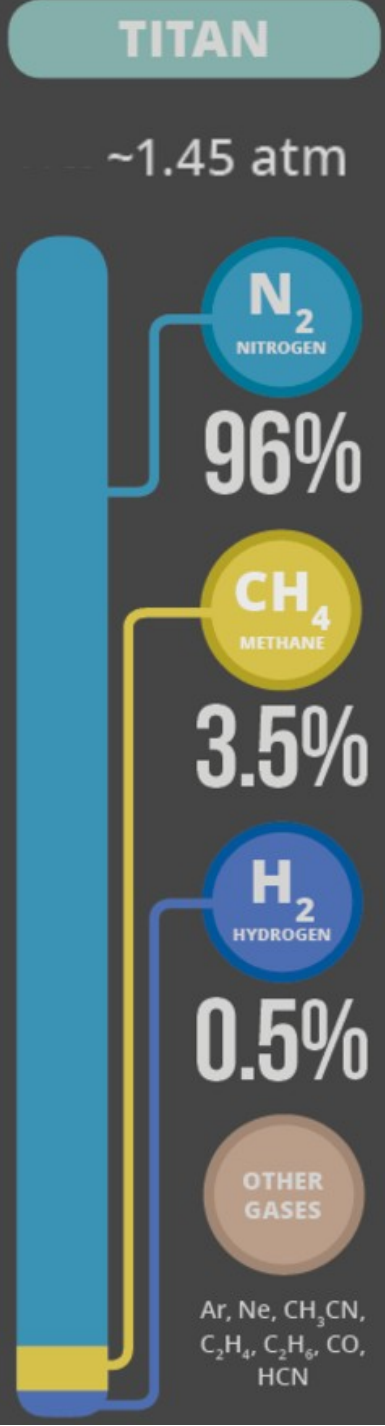
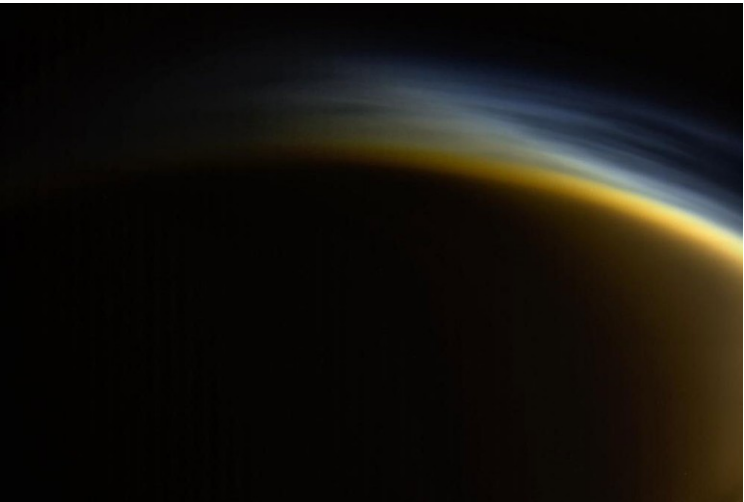
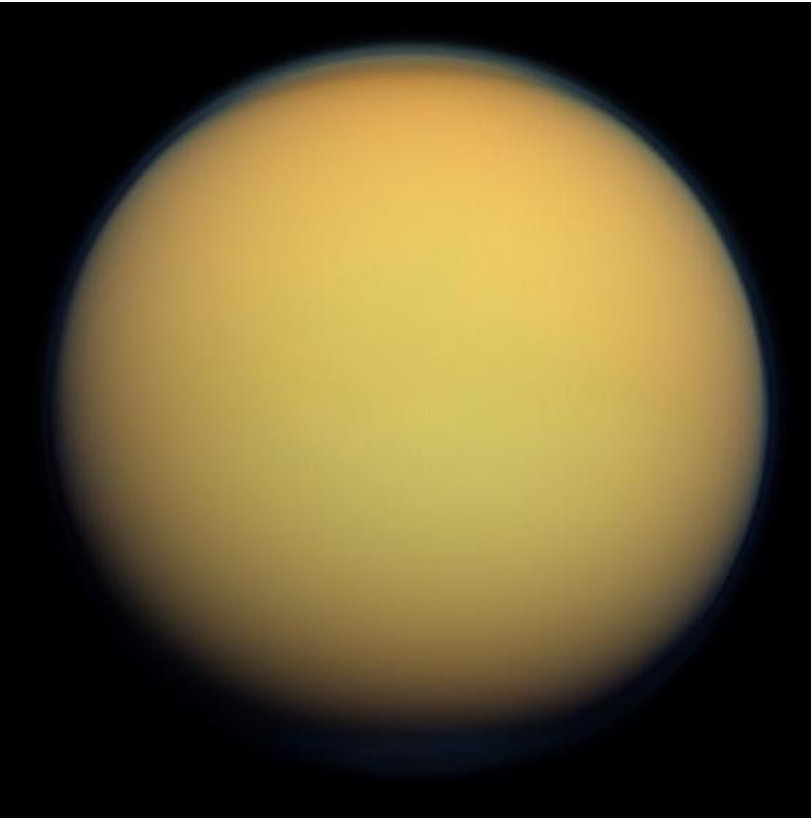
(b) Atmospheric circulation on Earth: six convection cells

Efeito estufa em Vênus » Terra. Temperatura superficial em Vênus é de 477 C (750 K).

Efeito estufa descontrolado (runaway) há 3 Gyr?. Aumento de luminosidade solar → evaporação de oceanos → maior vapor de água → maior efeito estufa → maior temperatura → evaporação total de oceanos em apenas ~100 Myr.



Atmosfera de Titã (lua de Saturno)



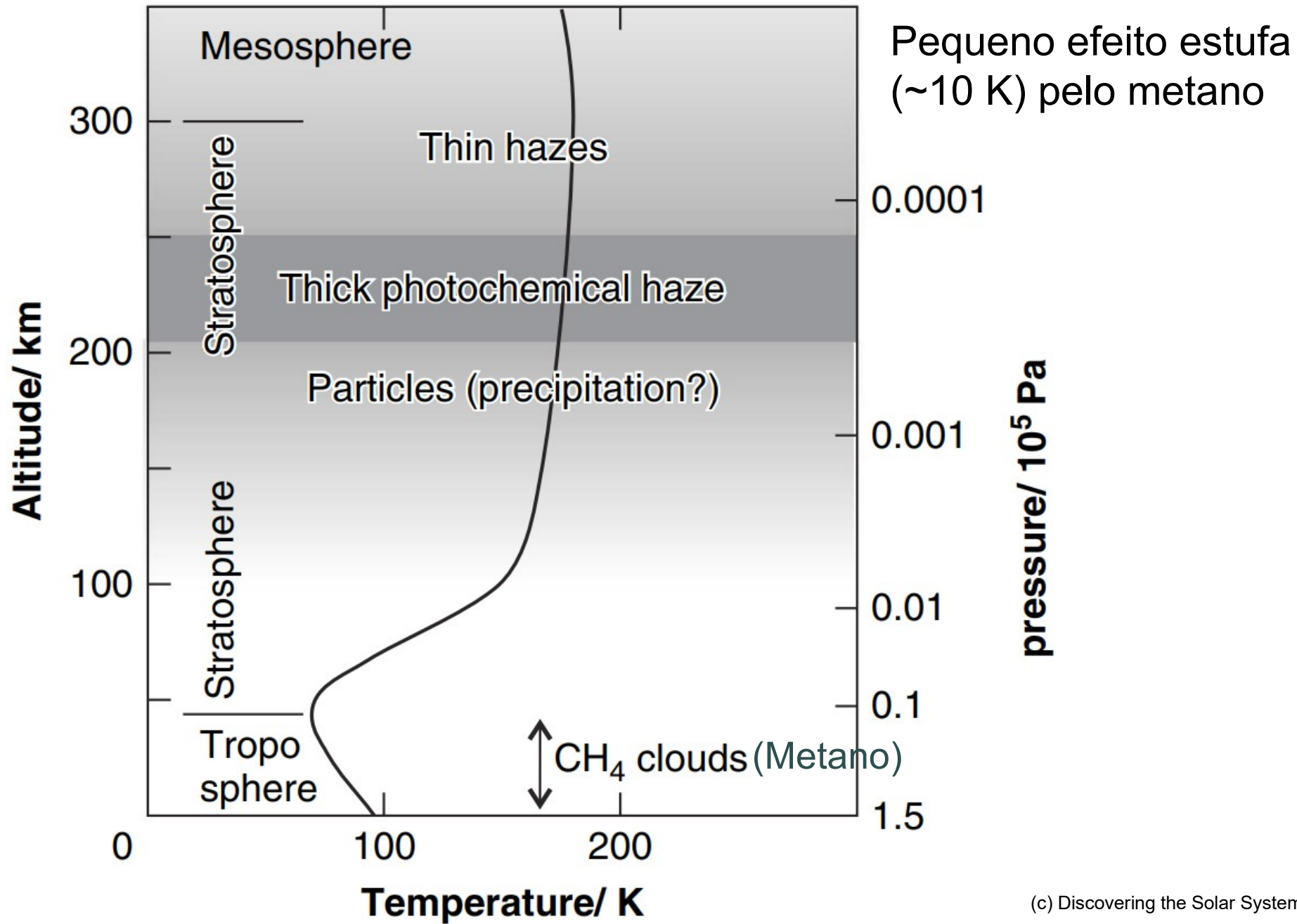
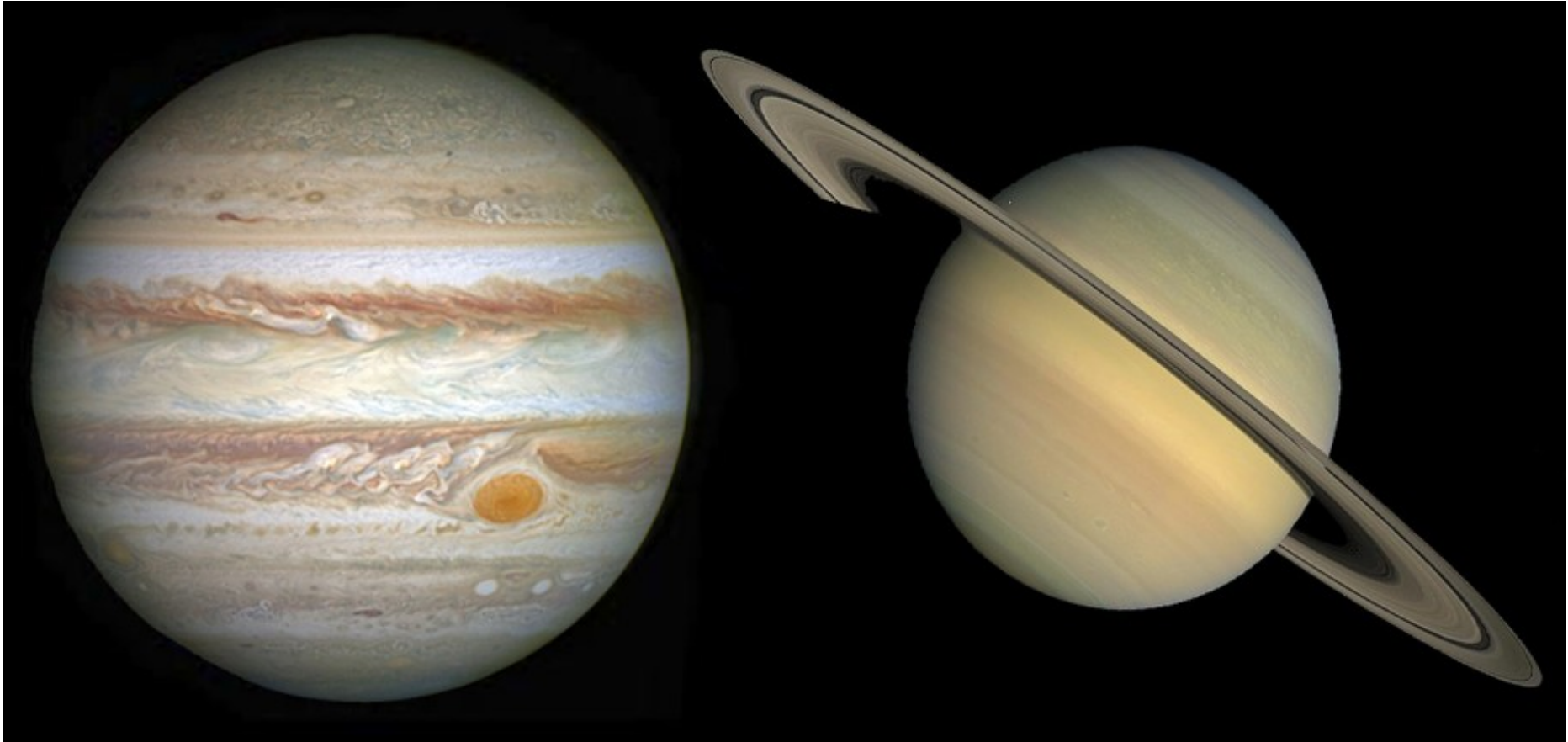


Figure 10.16 The vertical structure of Titan's atmosphere.

A atmosfera dos planetas gigantes

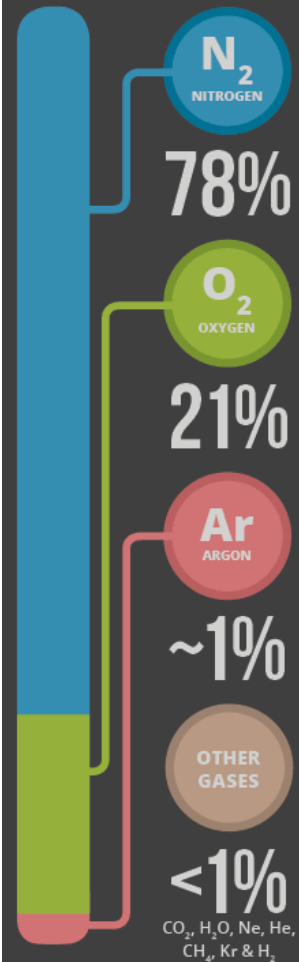


THE ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM

The Gas and Ice Giants

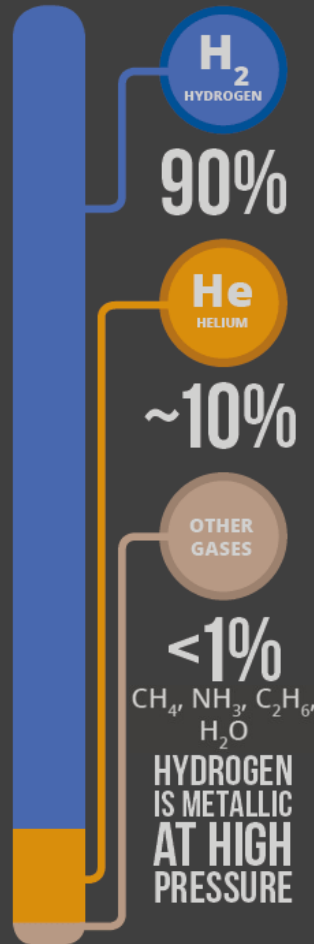
EARTH

Pressure: ~1 atm



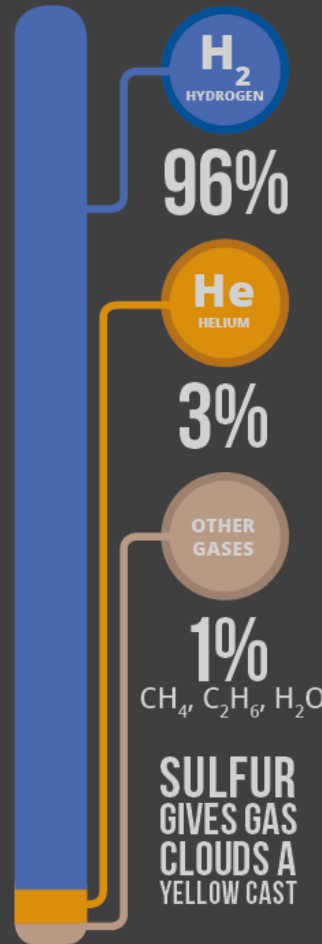
JUPITER

>>1000 atm



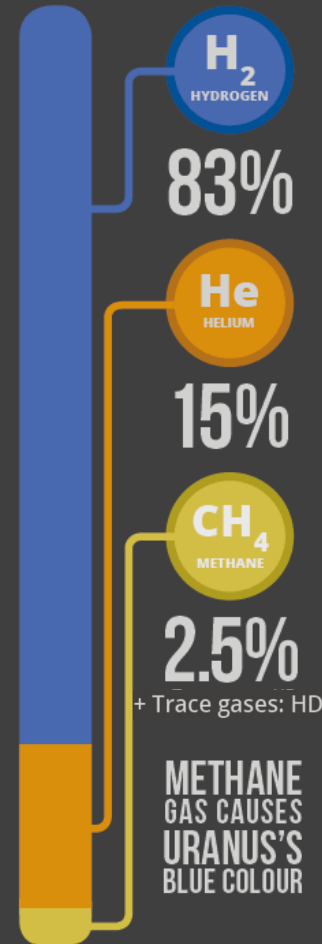
SATURN

>>1000 atm



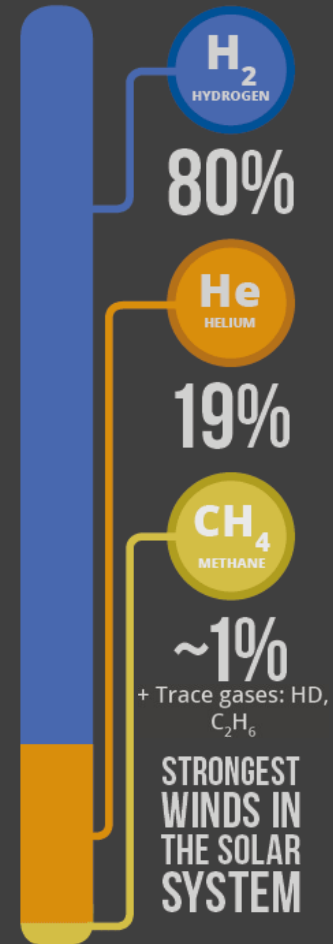
URANUS

>>1000 atm



NEPTUNE

>>1000 atm



Fonte de energia é do interior e da radiação solar

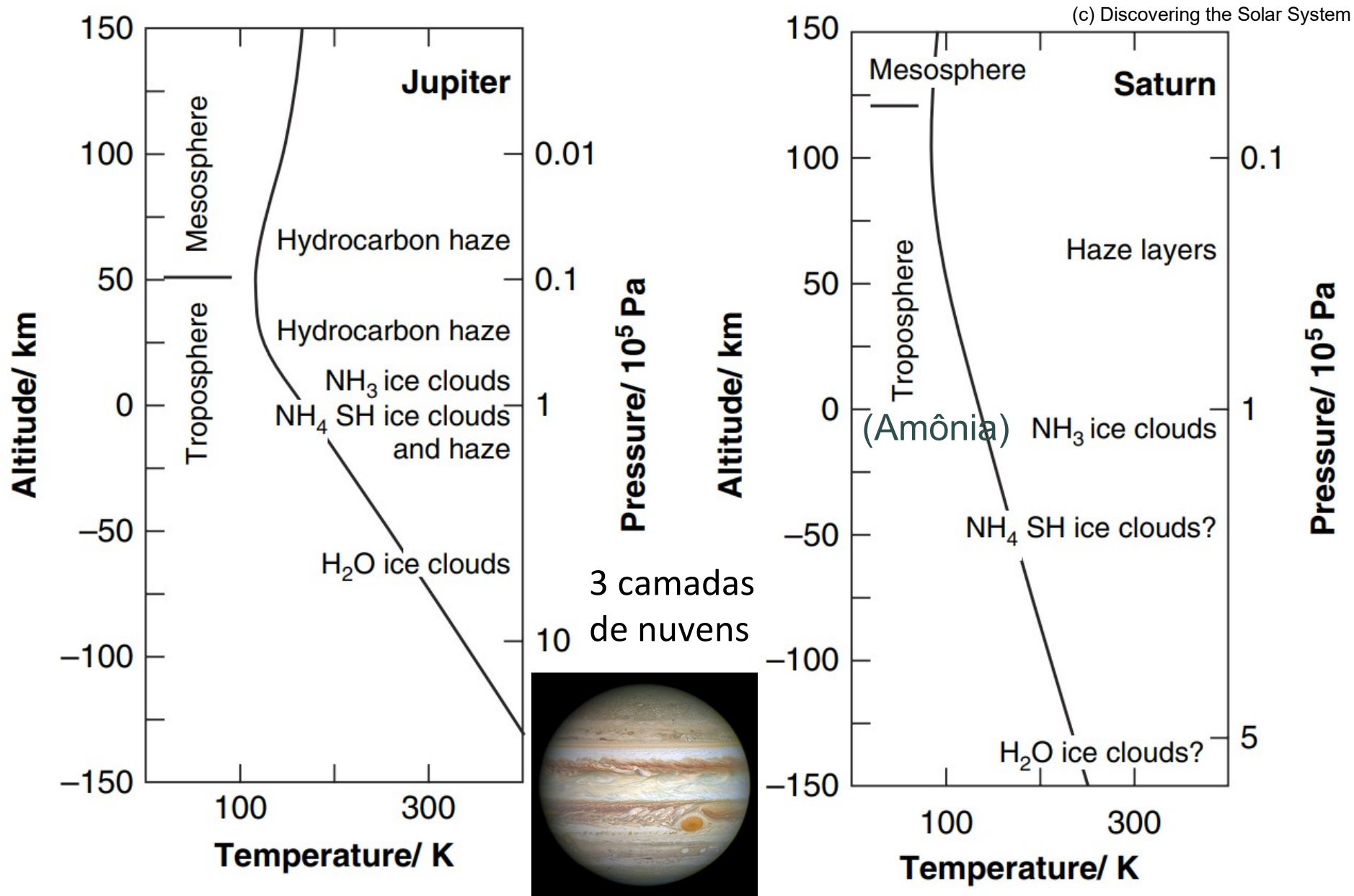
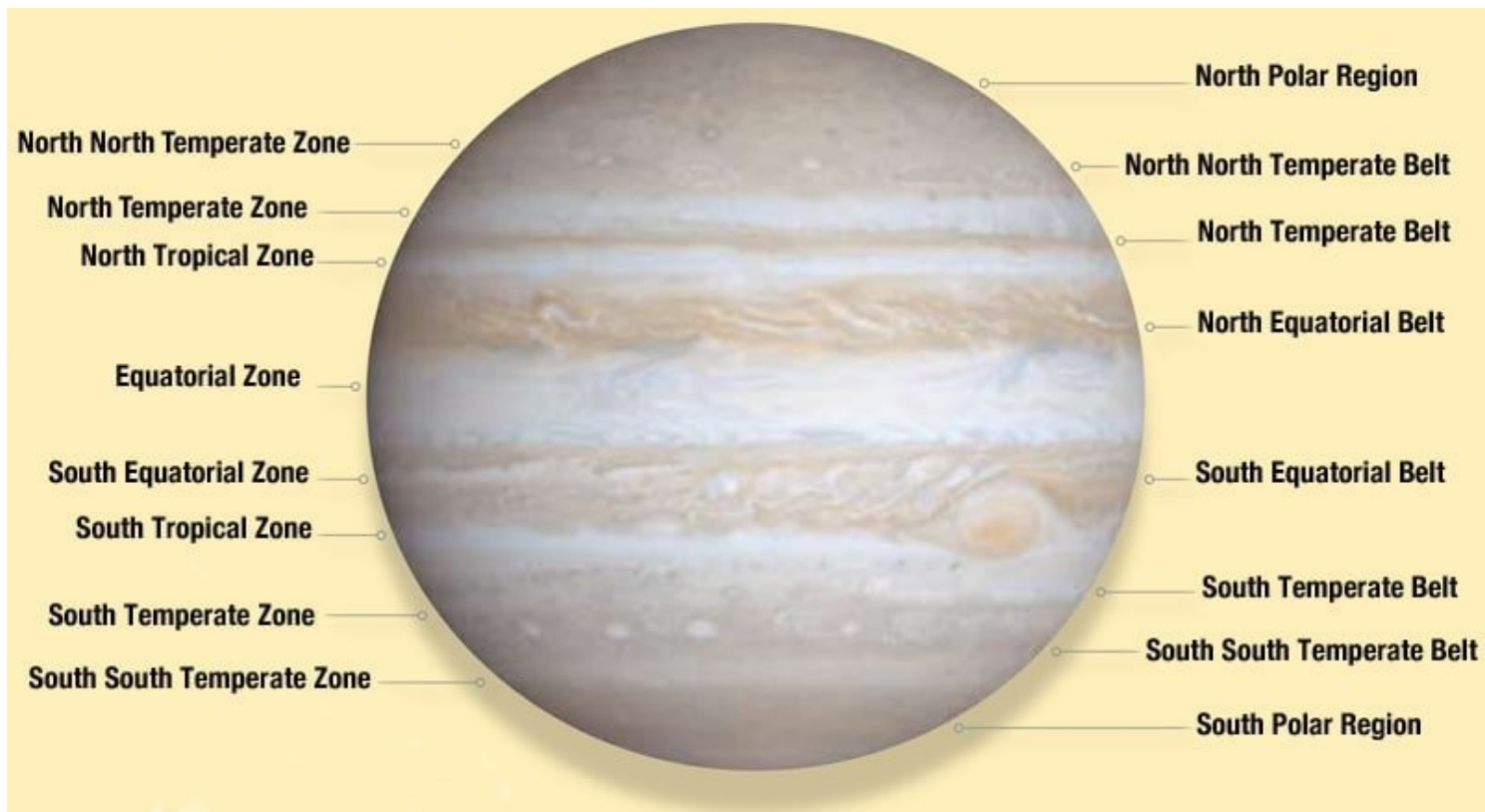
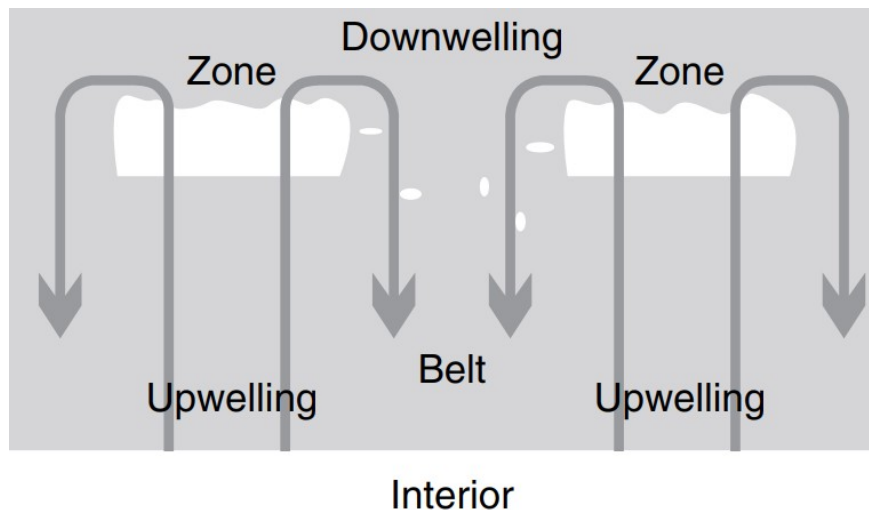


Figure 11.1 The vertical structure of the atmospheres of Jupiter and Saturn.



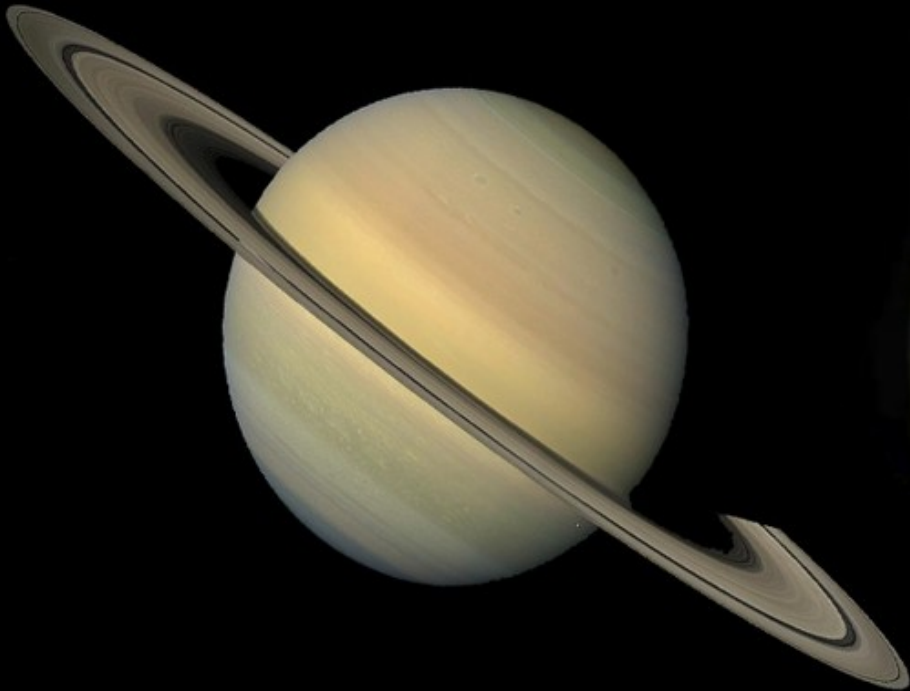
Observamos bandas coloridas nos planetas gigantes. As bandas brilhantes **mais claras** são chamadas de **zonas (zones)** e as **escuras** de **cintos (belts)**. As cores estão relacionadas com o movimento convectivo.



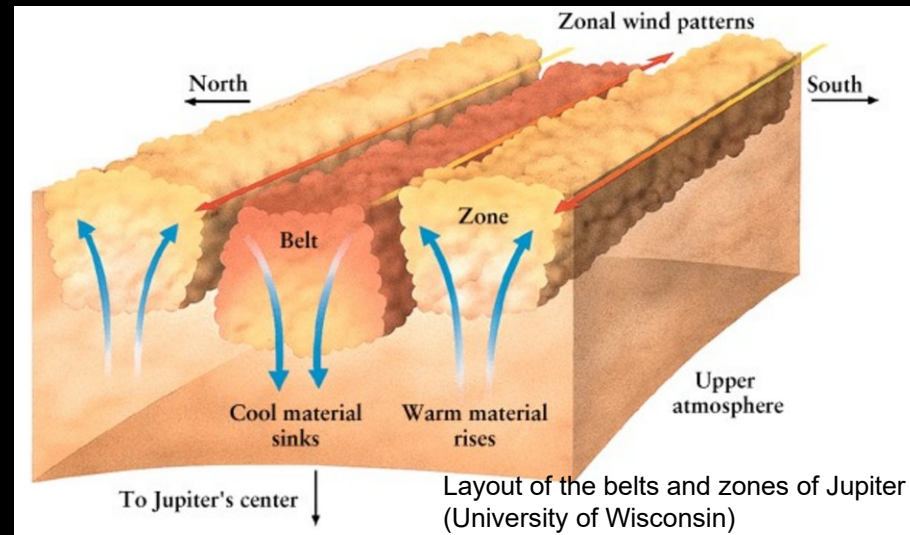
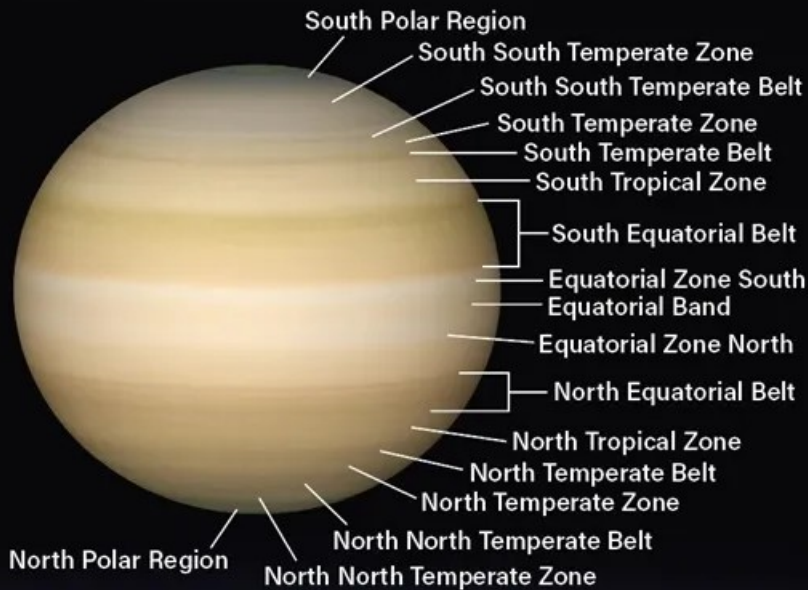
As bandas claras (**zonas**) correspondem ao topo de regiões convectivas. Provavelmente são formadas por nuvens de cristais de NH_3 .

Os **cintos** são regiões onde a atmosfera afunda para completar o ciclo convectivo.

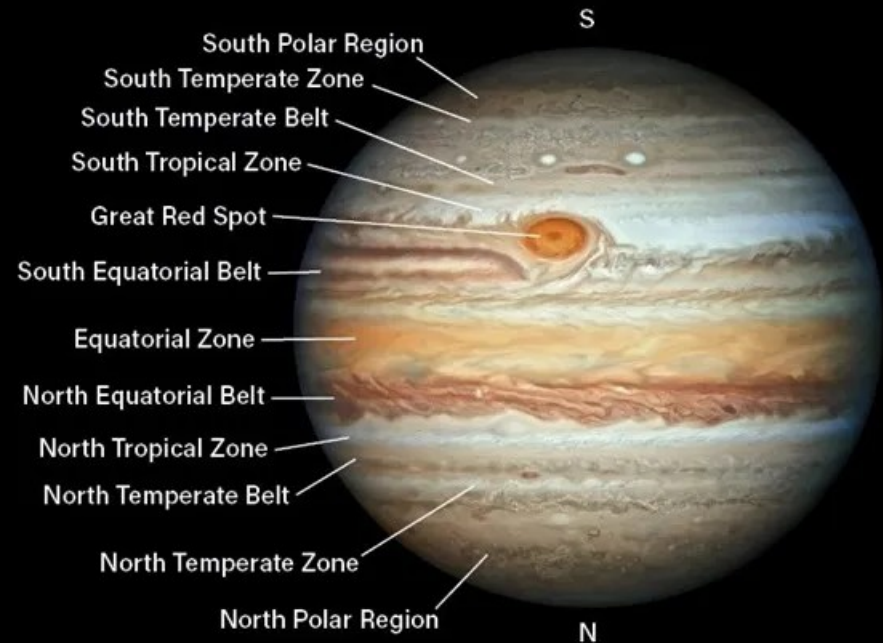
Figure 11.2 An explanation of the belts and zones of Jupiter and Saturn.



SATURN CLOUD FEATURES

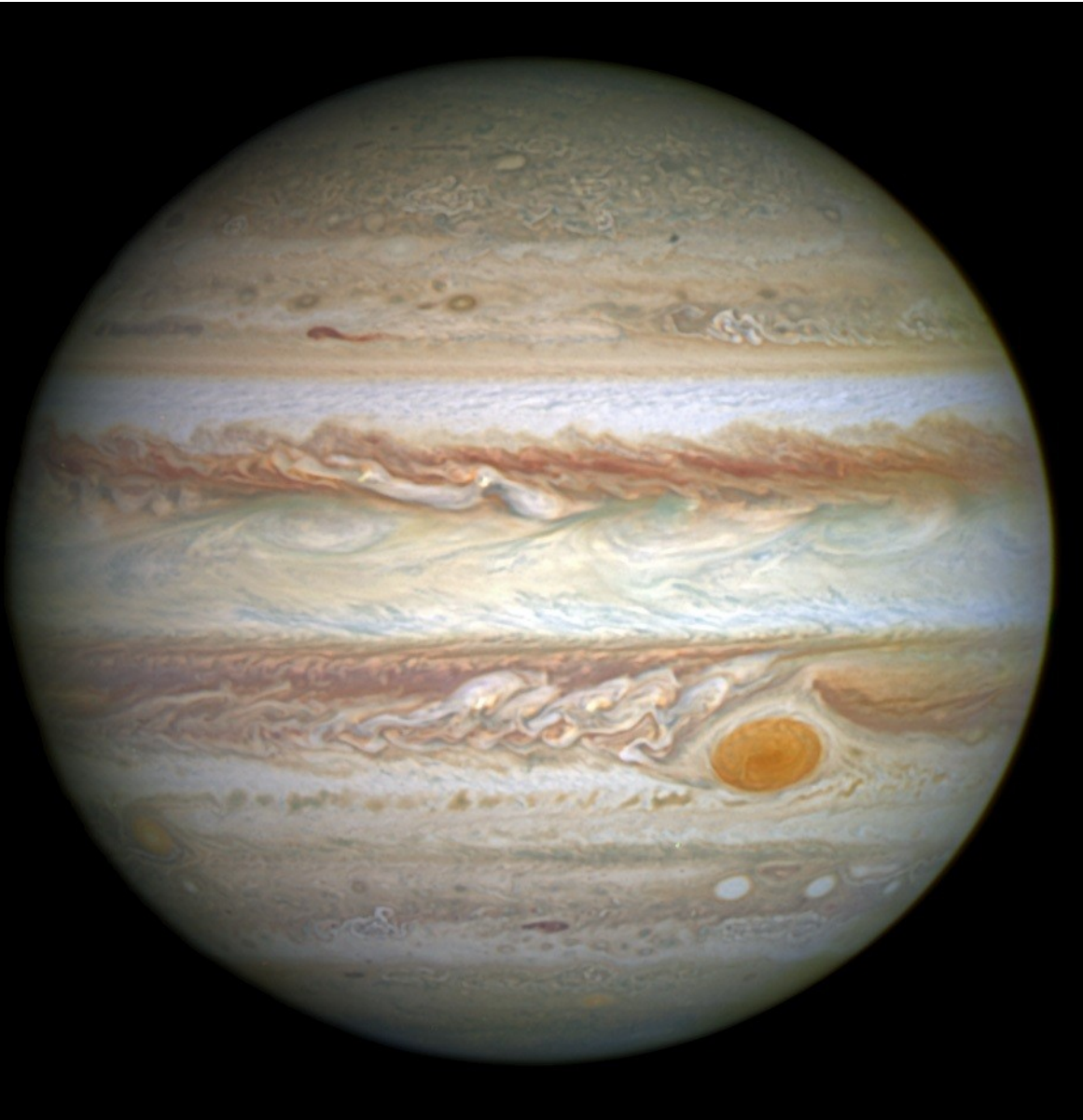


JUPITER CLOUD FEATURES

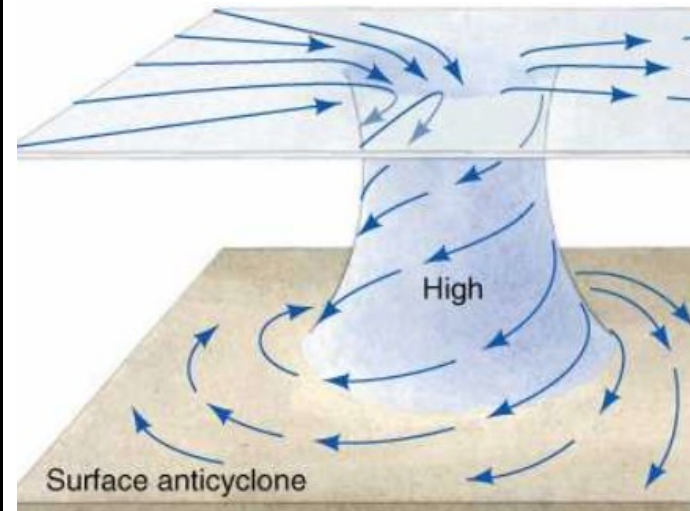


A combination of wind speed, wind direction, atmospheric jets, and cloud composition causes Jupiter's banded appearance. NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Planetas gigantes apresentam tempestades em formato de grandes ovais vermelhos, brancos ou marrons.

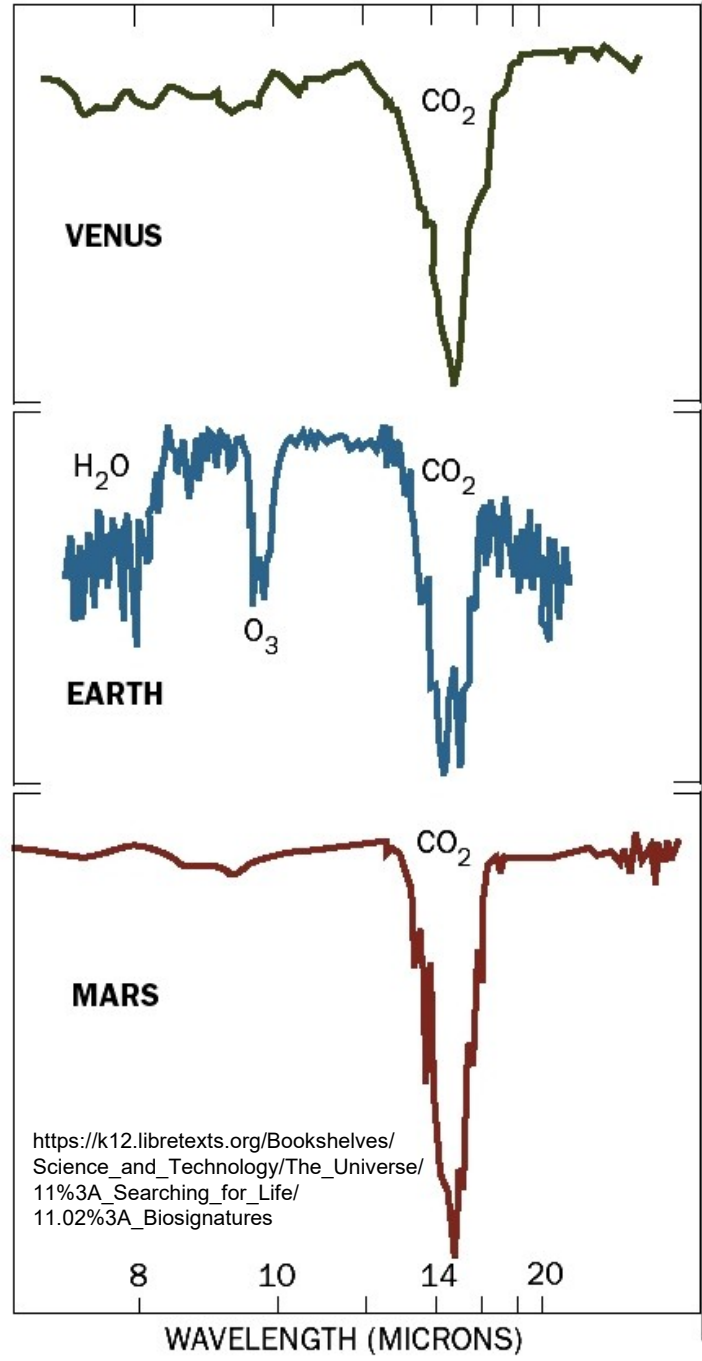
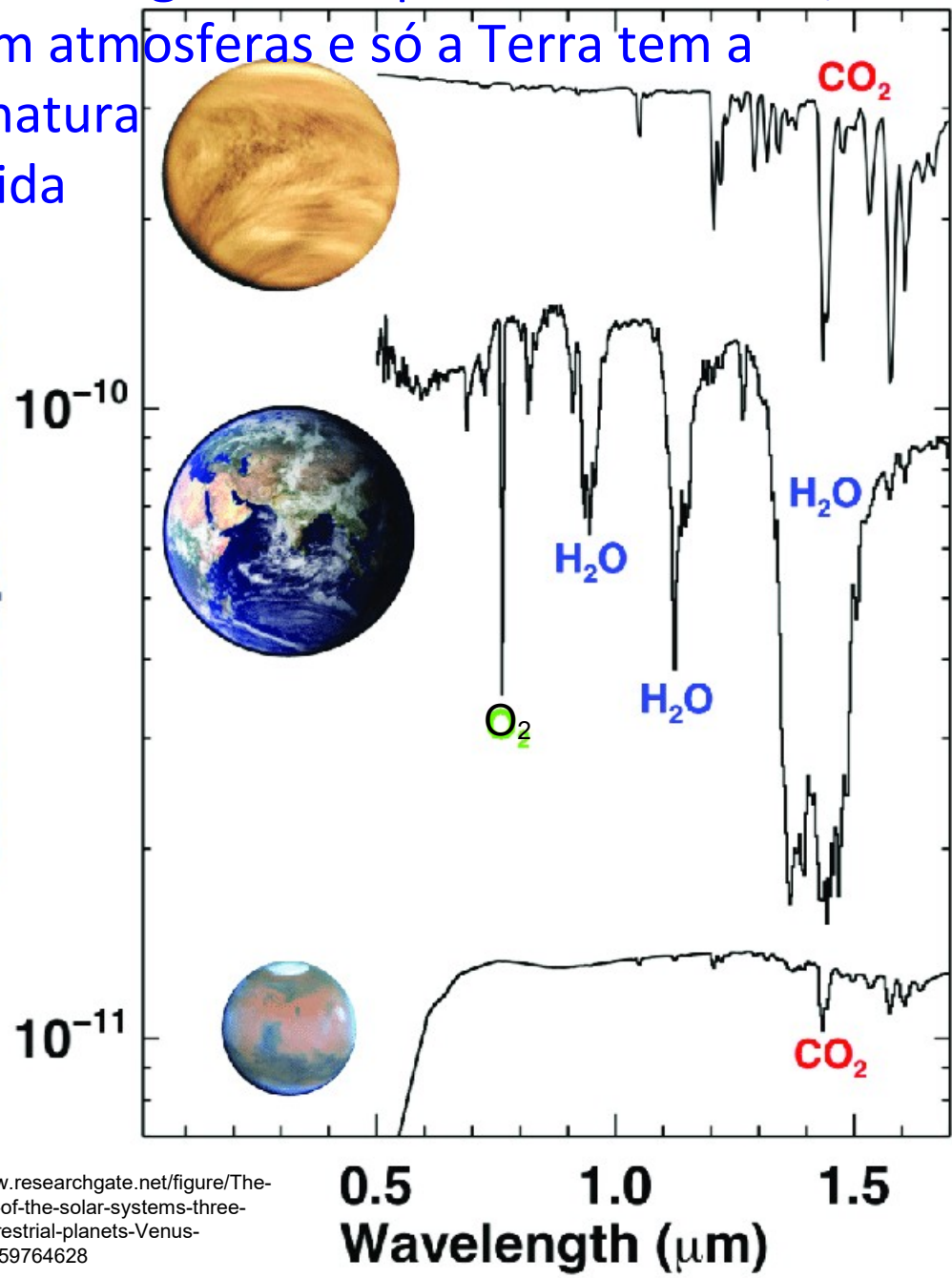


O maior oval conhecido é a grande mancha vermelha de Júpiter, que é um enorme anticiclone (circulação em grande escala de ventos ao redor de região de alta pressão).



Astrobiologia. Dos 4 planetas rochosos,
3 têm atmosferas e só a Terra tem a
assinatura da vida

Relative spectral flux

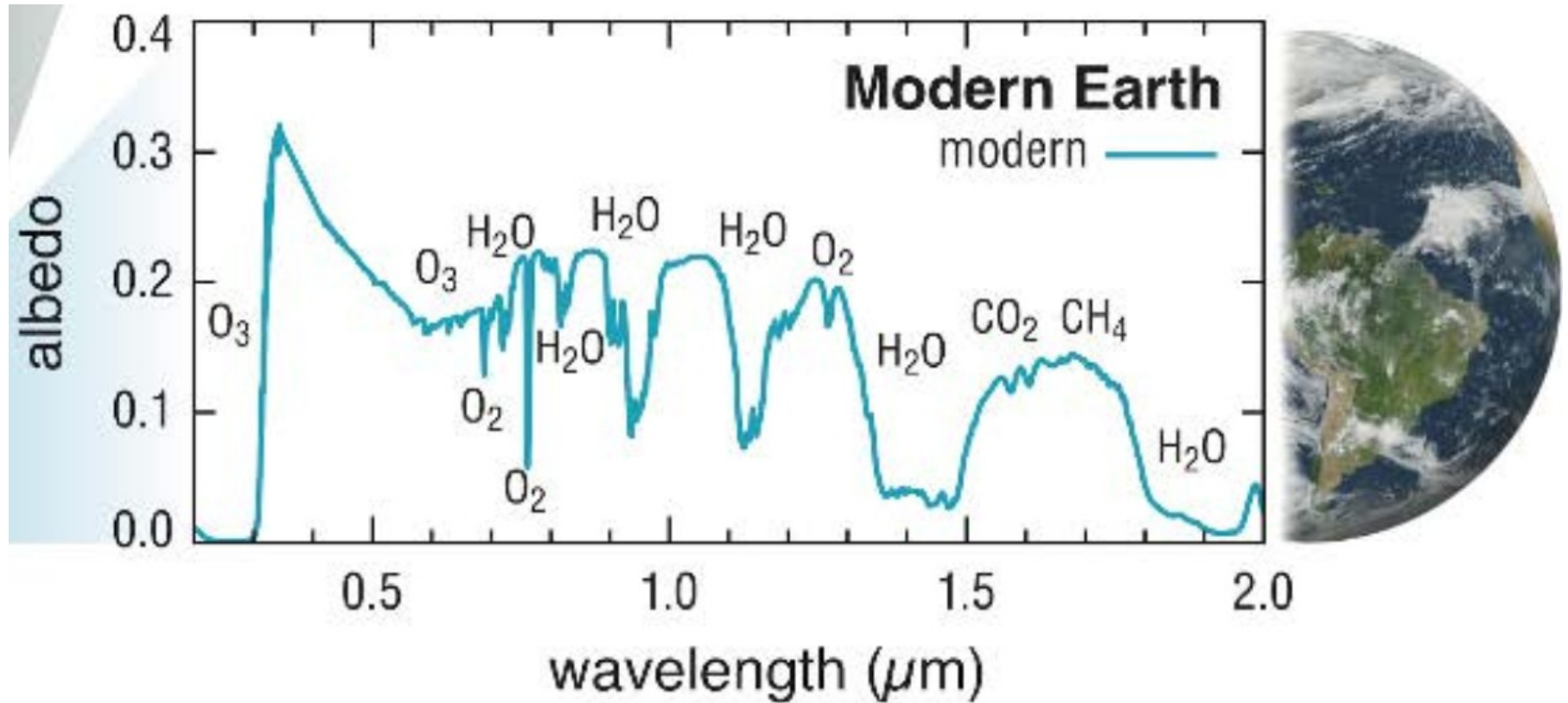


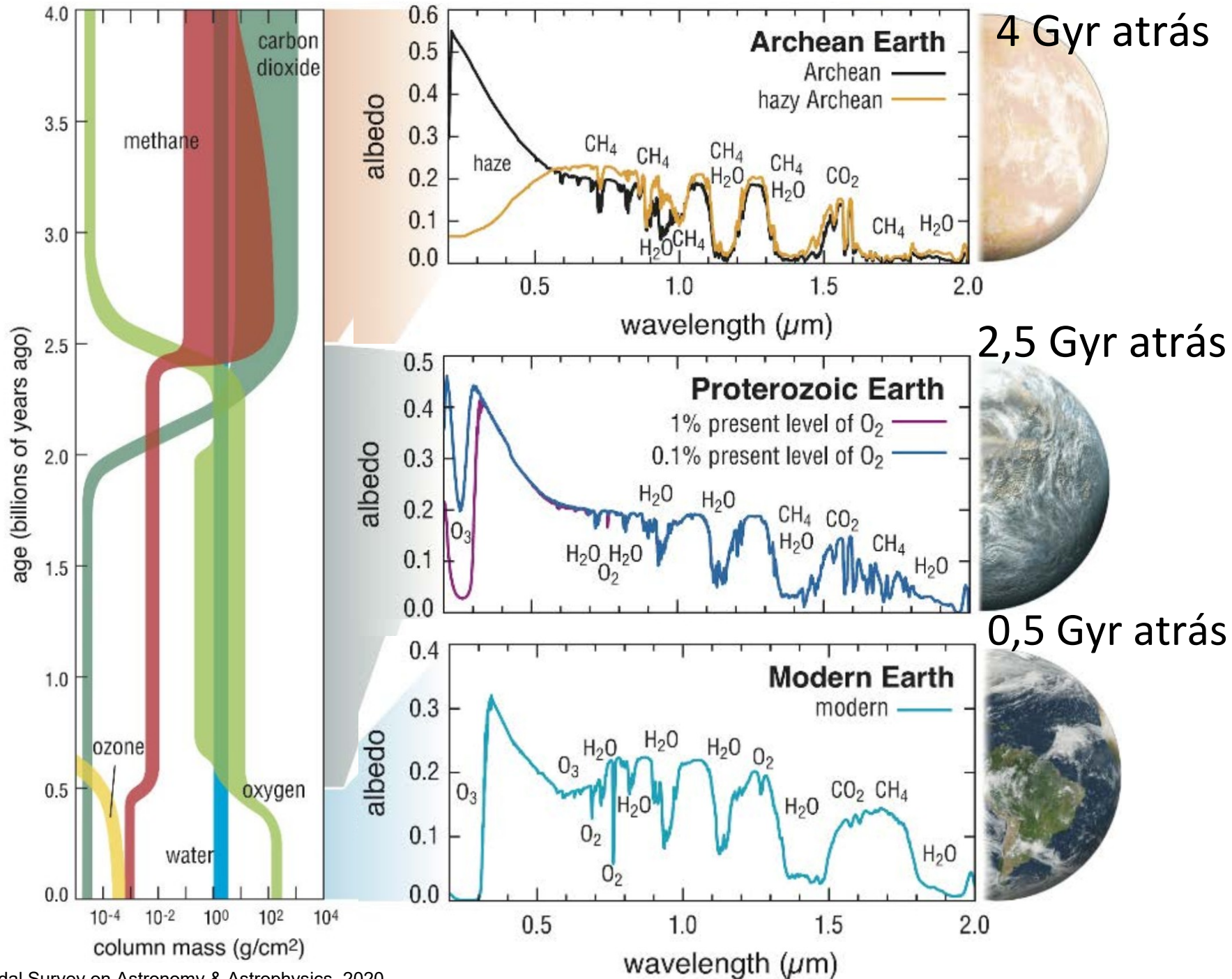
https://www.researchgate.net/figure/The-reflectivity-of-the-solar-systems-three-largest-terrestrial-planets-Venus-top_fig8_259764628

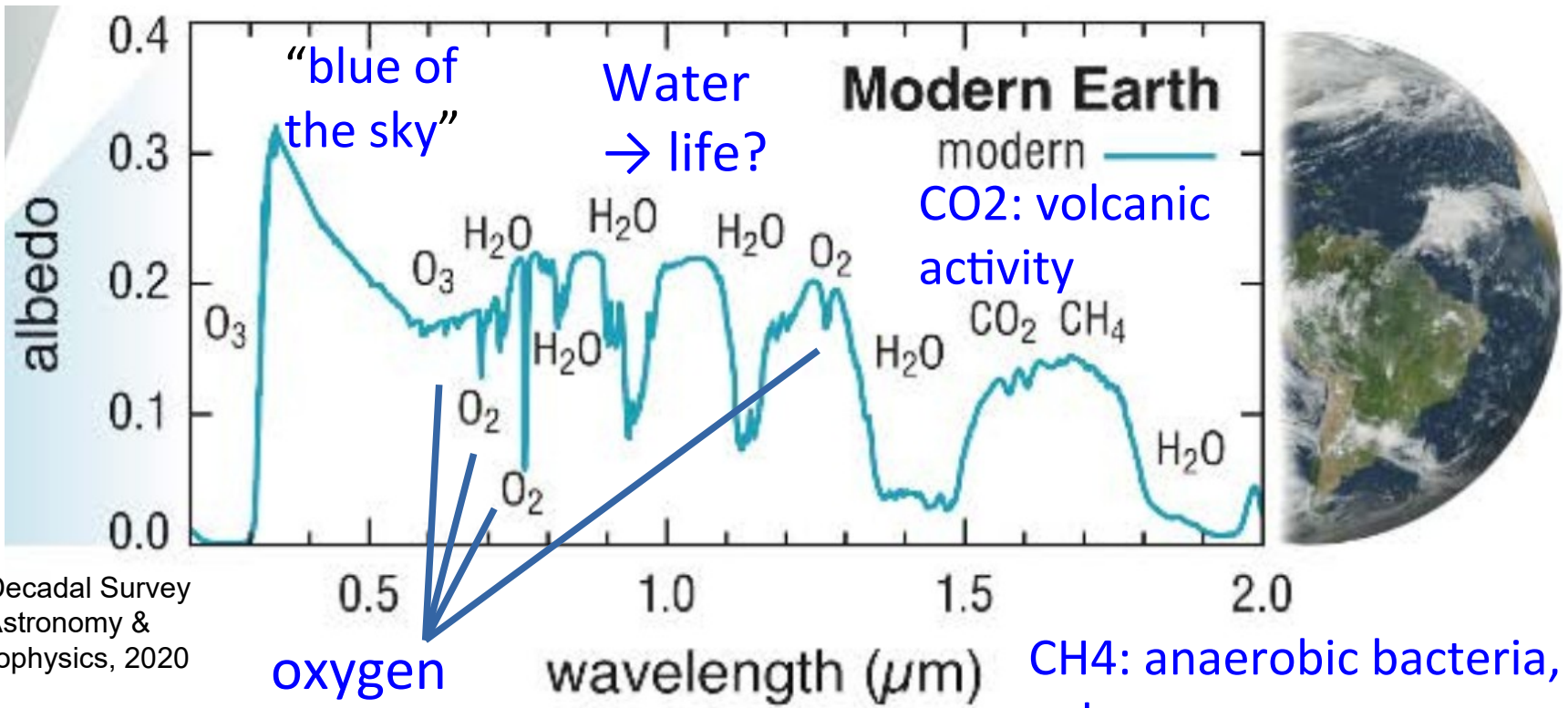
https://k12.libretexts.org/Bookshelves/Science_and_Technology/The_Universe/11%3A_Searching_for_Life/11.02%3A_Biosignatures

A atmosfera da Terra e Astrobiologia

No espectro atual da Terra (idade 4,6 Gyr) é possível observar a assinatura de vida em nosso planeta



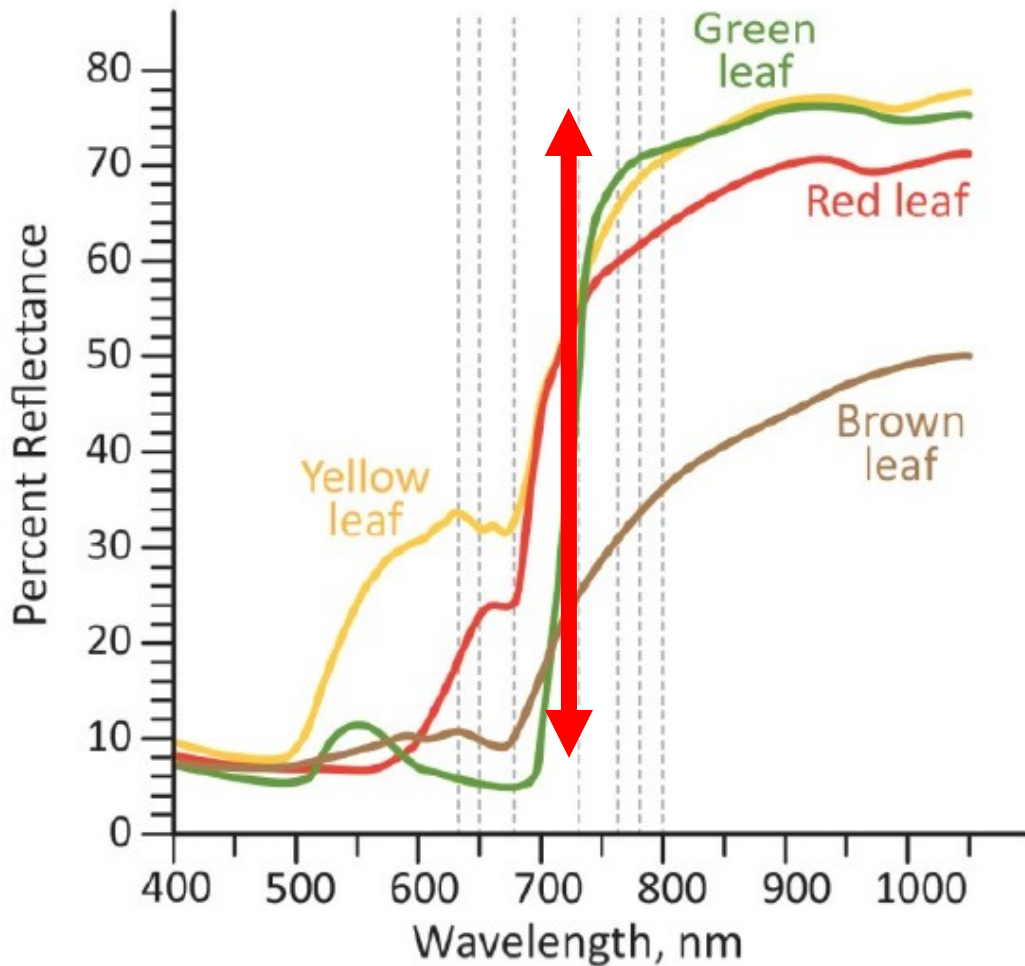


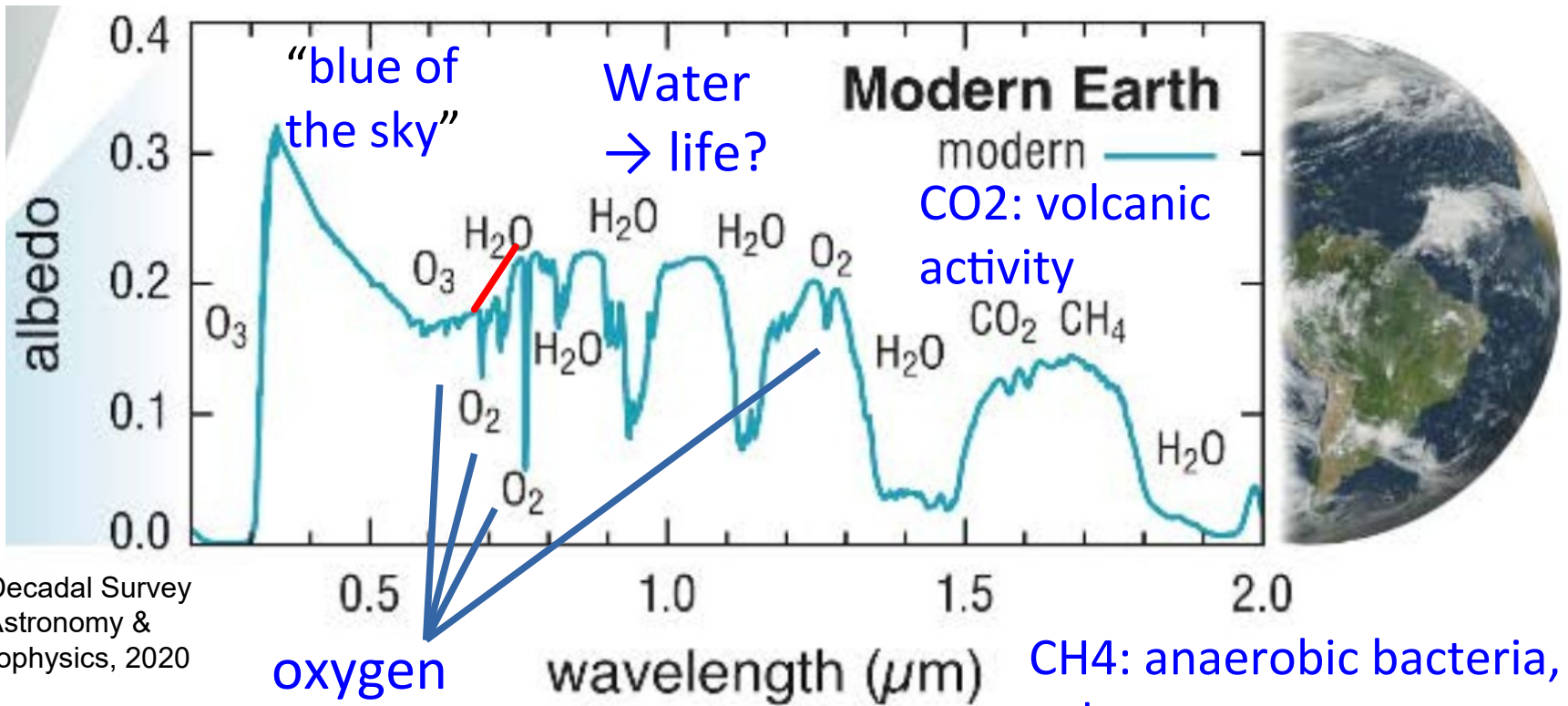


(c) Decadal Survey on Astronomy & Astrophysics, 2020



Assinatura no espectro das plantas: “vegetation jump”





(c) Decadal Survey on Astronomy & Astrophysics, 2020

“vegetation jump” → grande floresta

A assinatura da **amazônia** (se for preservada) poderia ser detectada por uma civilização alienígena!

