

Absorção e Espalhamento

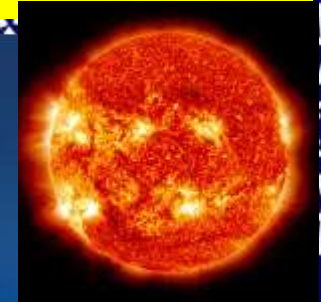
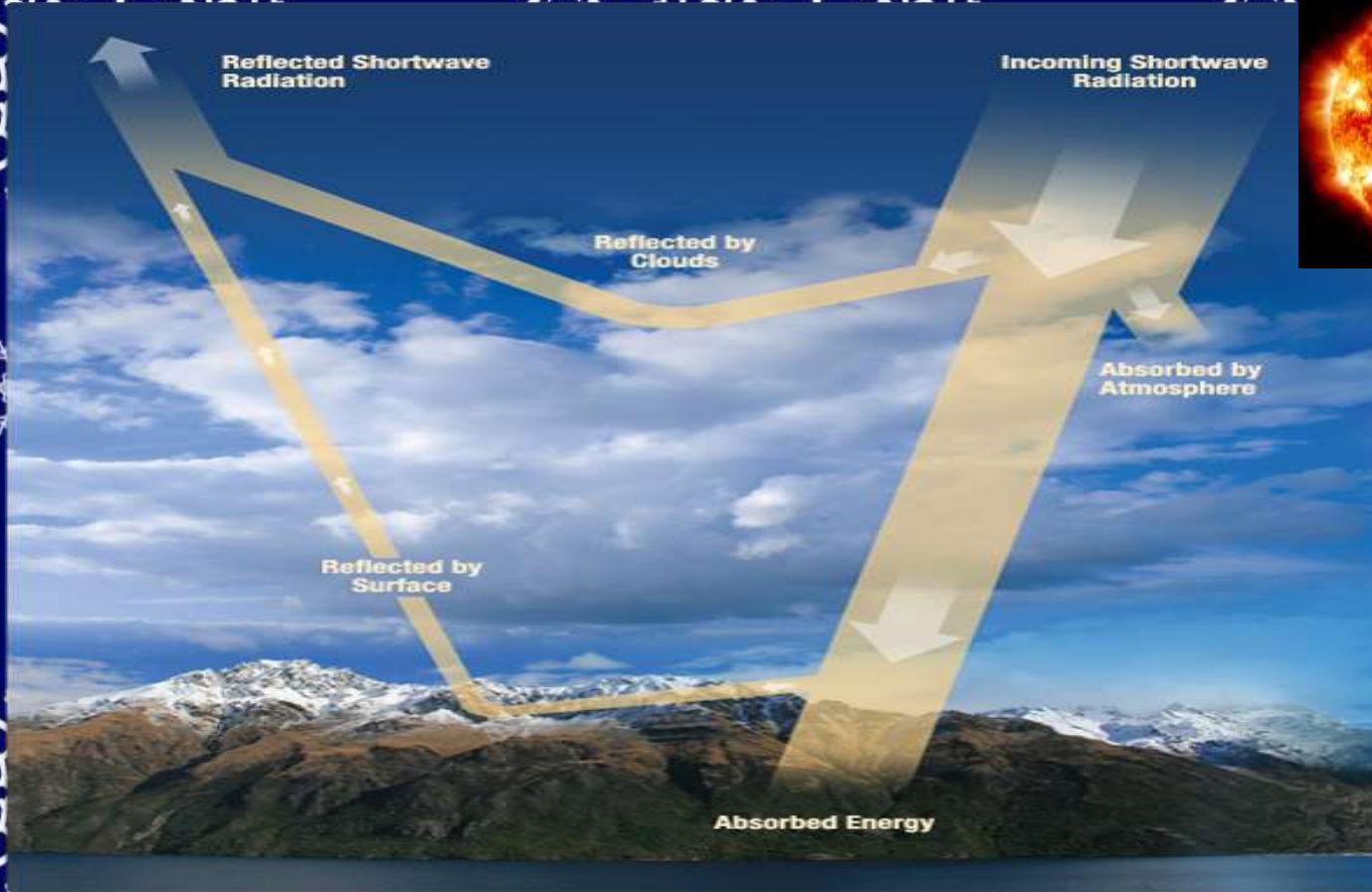
Física Atmosférica
André Araújo Bürger
23/04/2018

Fim de tarde em Mairinque
Por: André Bürger – 15/04/18



http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/1_espec.htm

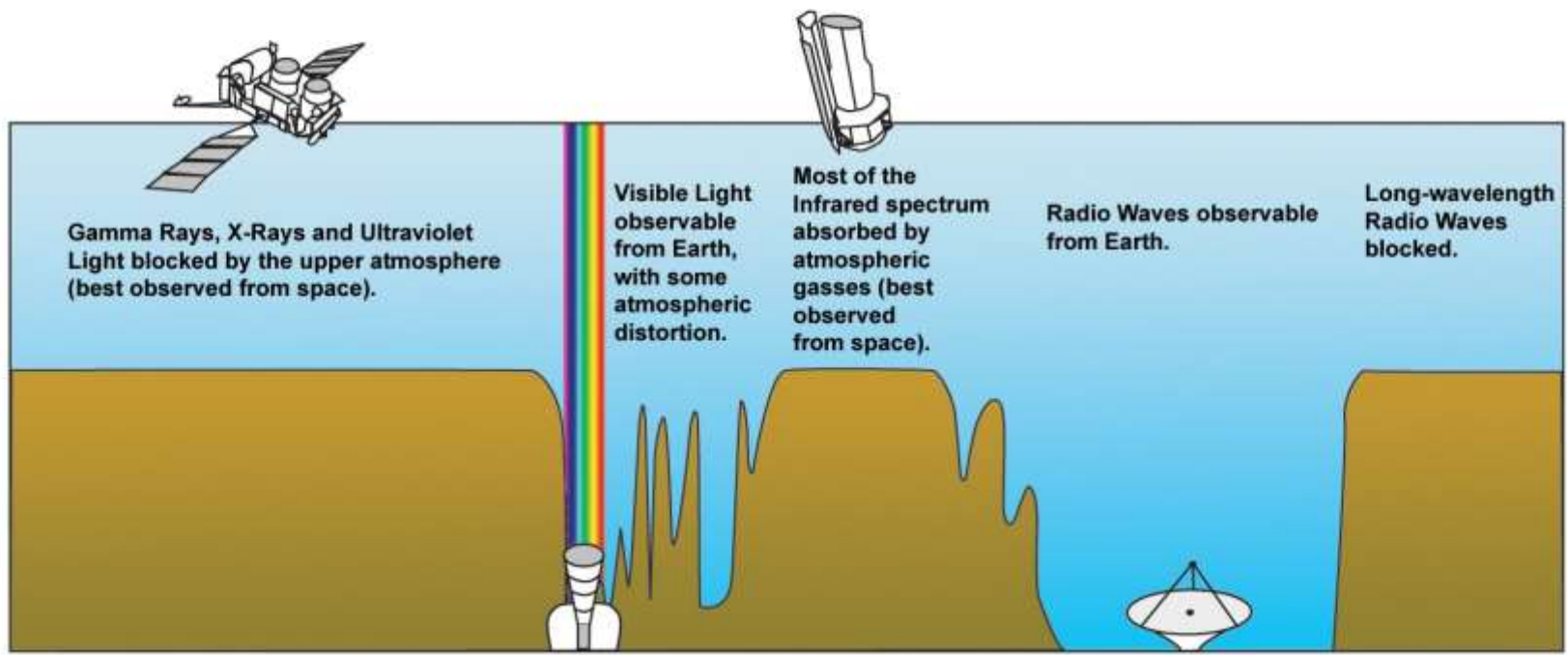
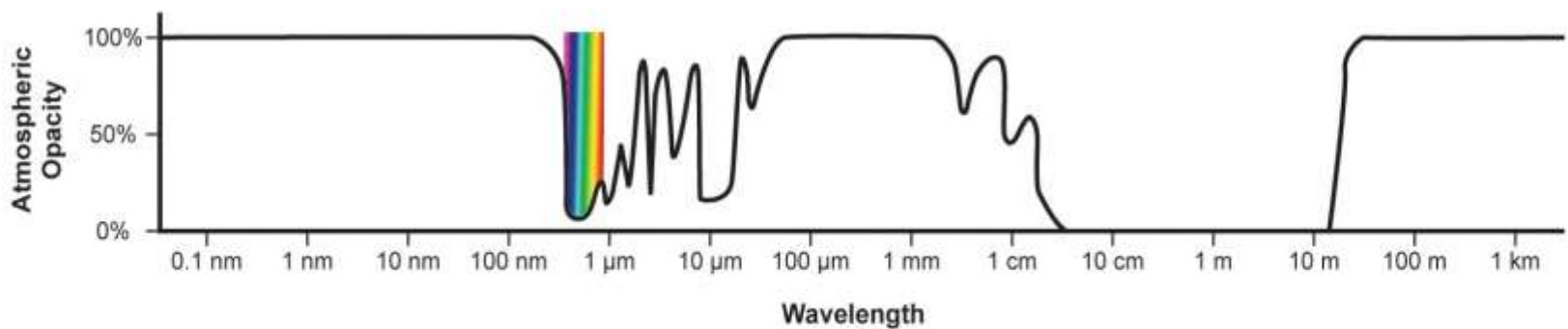
Interação da Radiação com a atmosfera e a superfície



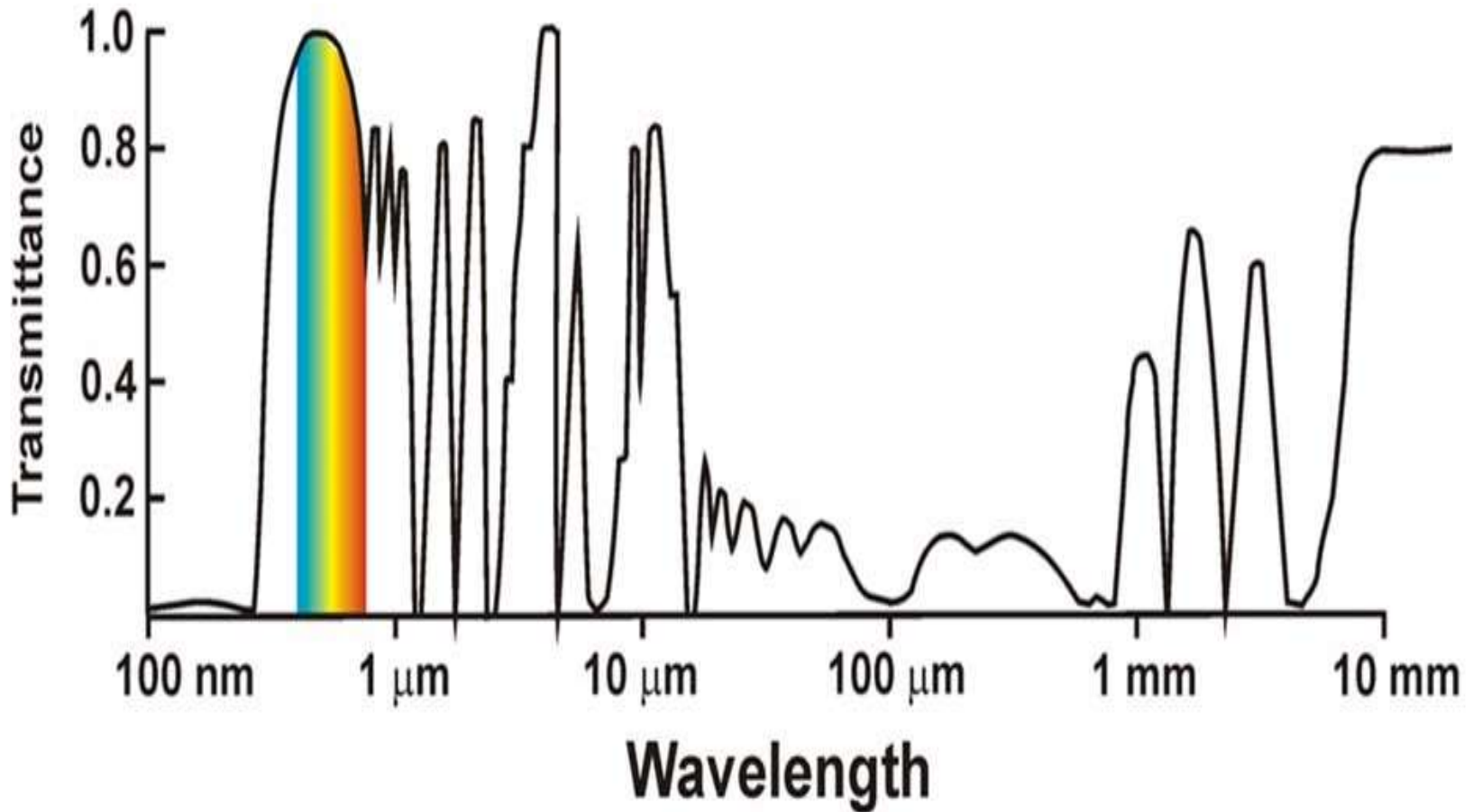
http://gsp.humboldt.edu/olm_2016/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/index.html

De acordo com a teoria quântica de E.M., a radiação consiste de fótons, partículas elementares responsáveis pela interação eletromagnética;

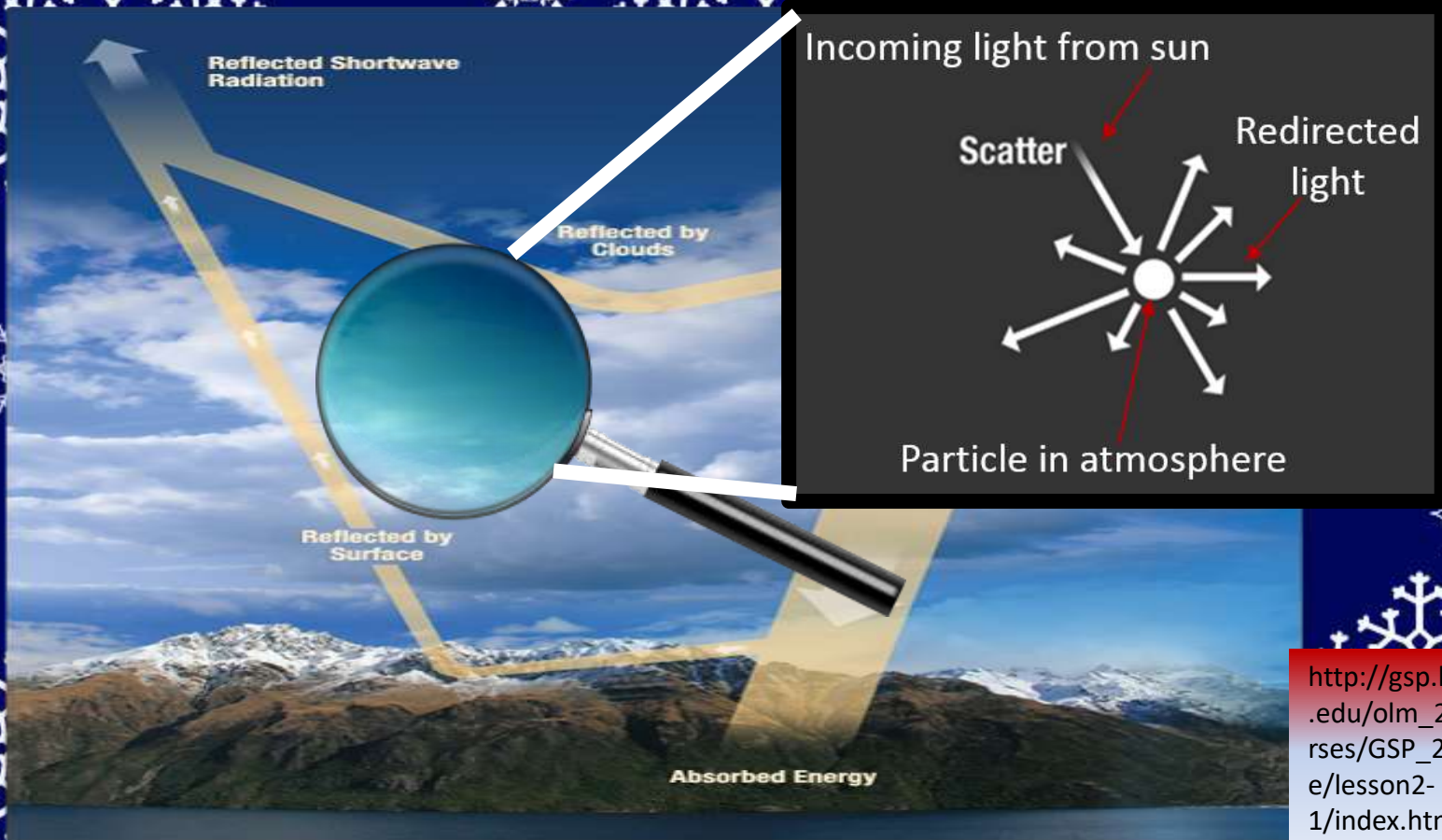
Absorção e Transmissão na Atmosfera



Absorção e Transmissão na Atmosfera



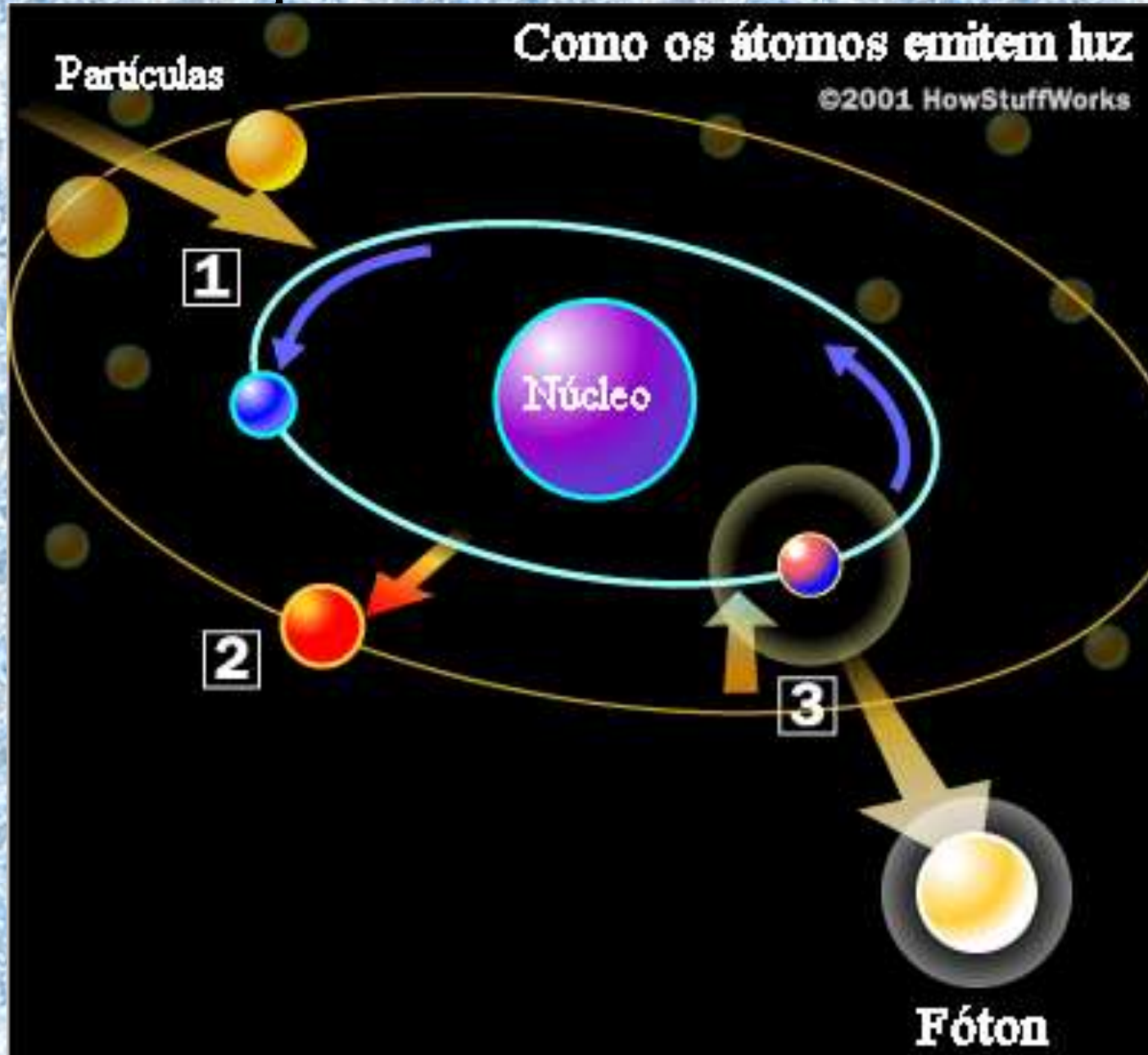
Interação da Radiação com a atmosfera e a superfície



http://gsp.humboldt.edu/olm_2016/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/index.html

De acordo com a teoria quântica de E.M., a radiação consiste de fótons, partículas elementares responsáveis pela interação eletromagnética;

Absorção e Emissão Molecular



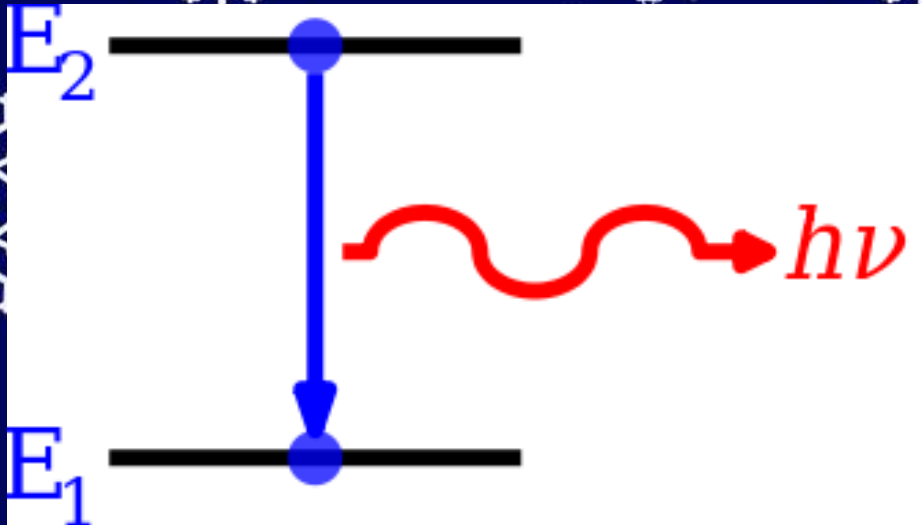
http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm

Algumas considerações sobre átomos

- Basicamente compostos por elétrons, núcleo;
- Elétrons estão ligados ao núcleo pela força eletromagnética com os prótons do núcleo;
- Os elétrons possuem níveis de energia nos átomos, tais níveis são quantizados de forma que:

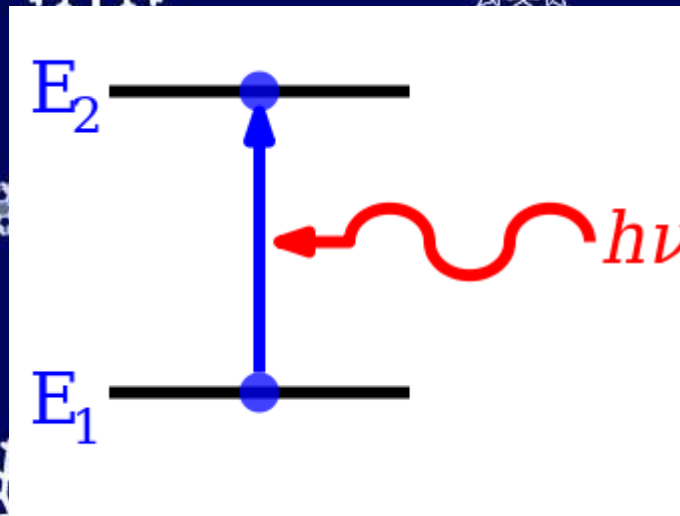
Emissão ocorre:

- A emissão de radiação ocorre quando um elétron do átomo sofre transição de um estado de maior para outro de menor energia. Como são níveis quantizados, a radiação emitida terá um comprimento de onda bem definido.

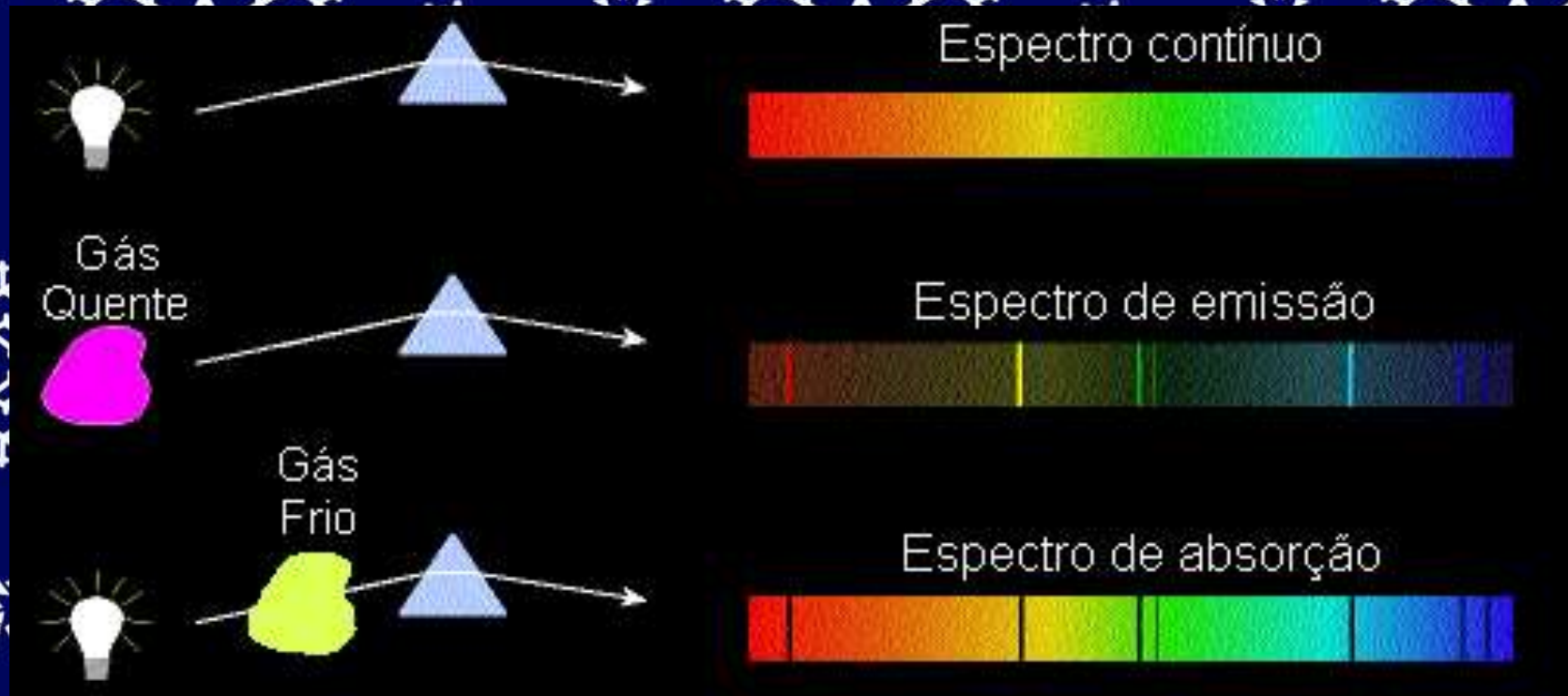


Absorção ocorre:

- A absorção de radiação ocorre quando um fóton tem energia suficiente para levar o elétron do átomo de um nível n para outro $m > n$.

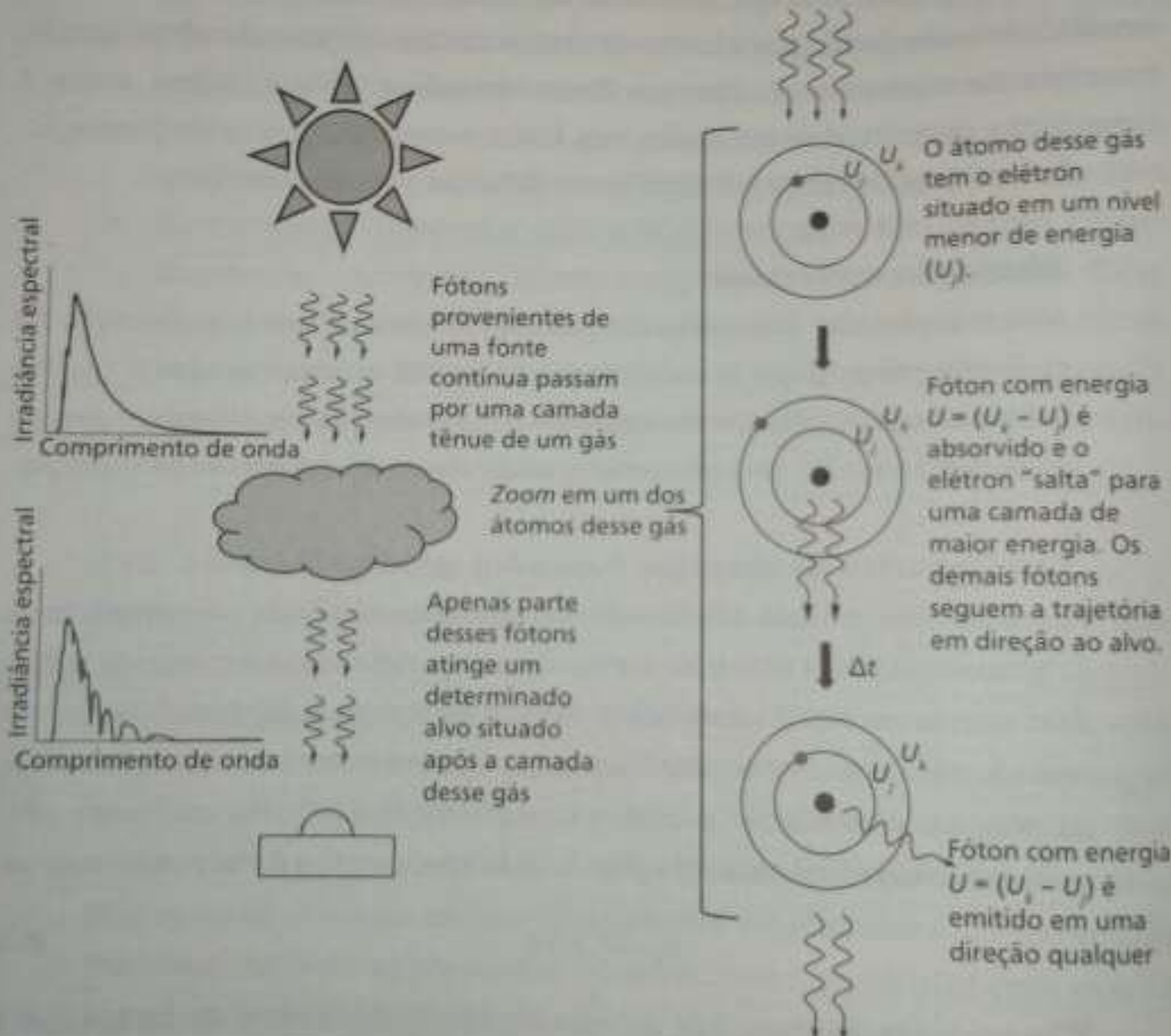


Emissão e Absorção



<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>

Algumas considerações sobre átomos



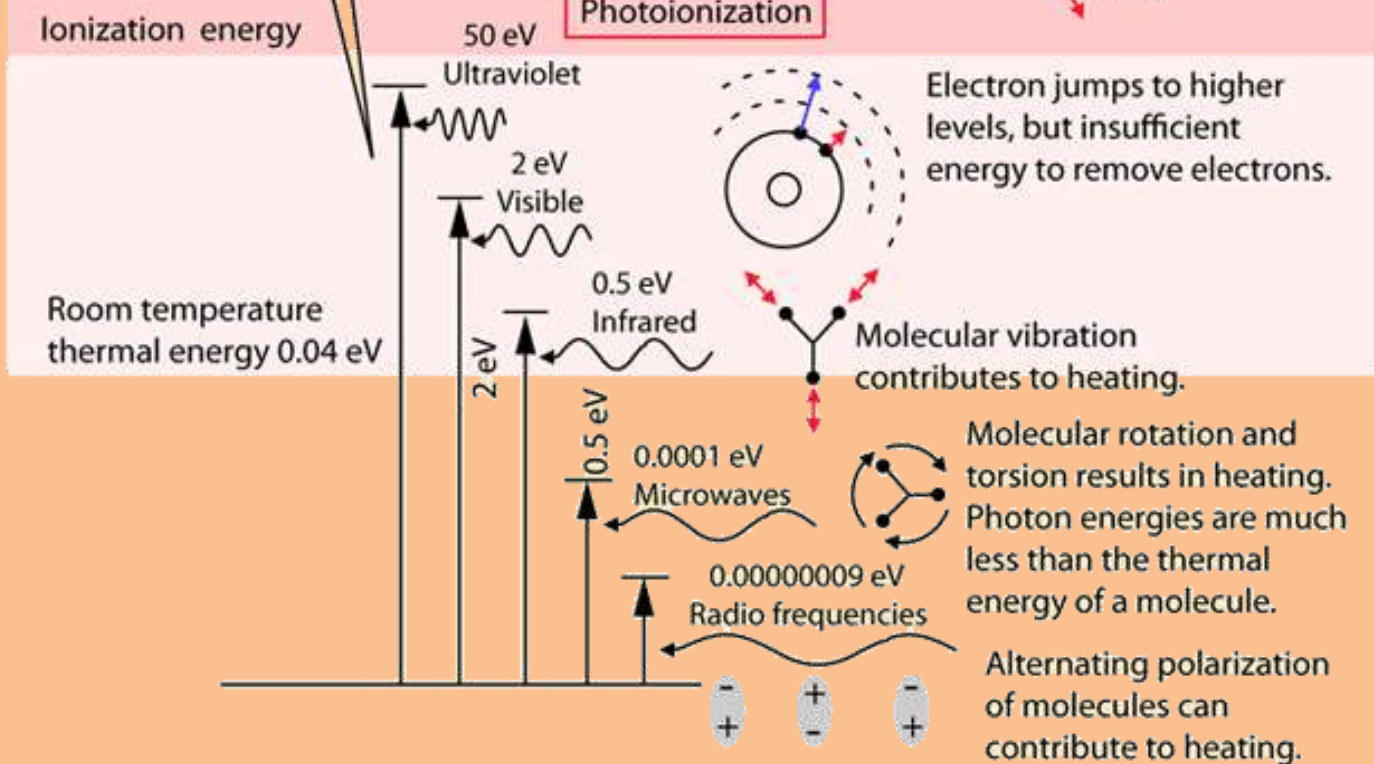
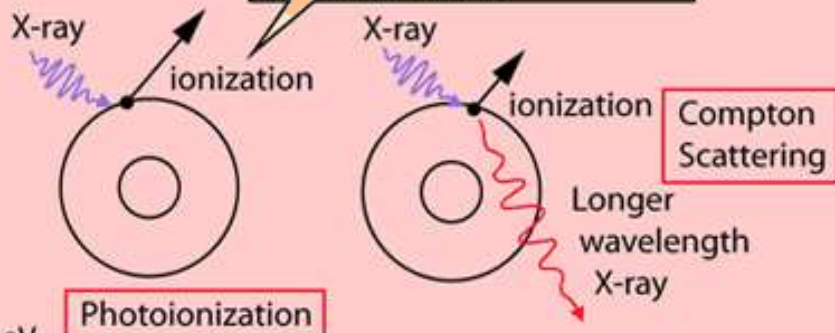
Sobre moléculas

- Por possuírem diferentes formatos e estrutura mais complexa que a do átomo, as moléculas possuem várias formas de energia interna:
 - $U = U_{\text{rot}} + U_{\text{vib}} + U_{\text{el}} + U_{\text{tr}}$;
 - U_{rot} : energia cinética de rotação. Encontra-se na região espectral do infravermelho longínquo e das microondas;
 - U_{vib} : energia cinética de vibração. Os átomos das moléculas oscilam sobre suas posições de equilíbrio ao sofrer perturbação. Encontra-se na região do infravermelho;
 - U_{el} : energia potencial de ligação dos elétrons. Interage com radiação na região do visível e do ultravioleta;
 - U_{tr} : energia cinética de translação. Para as temperaturas da atmosfera ($\sim 300\text{K}$), a troca de energia cinética entre as moléculas envolve valores de energia equivalentes à região do infravermelho térmico;

• Po
co
vá
•

The changes that are produced by non-ionizing radiation leave the atom or molecule intact. It will then tend to settle back to its lowest energy or "ground" state in microseconds or less, leaving no permanent changes in the molecule. Particularly the effects below room temperature thermal energy will tend to be quickly erased by the thermal agitation of the molecules.

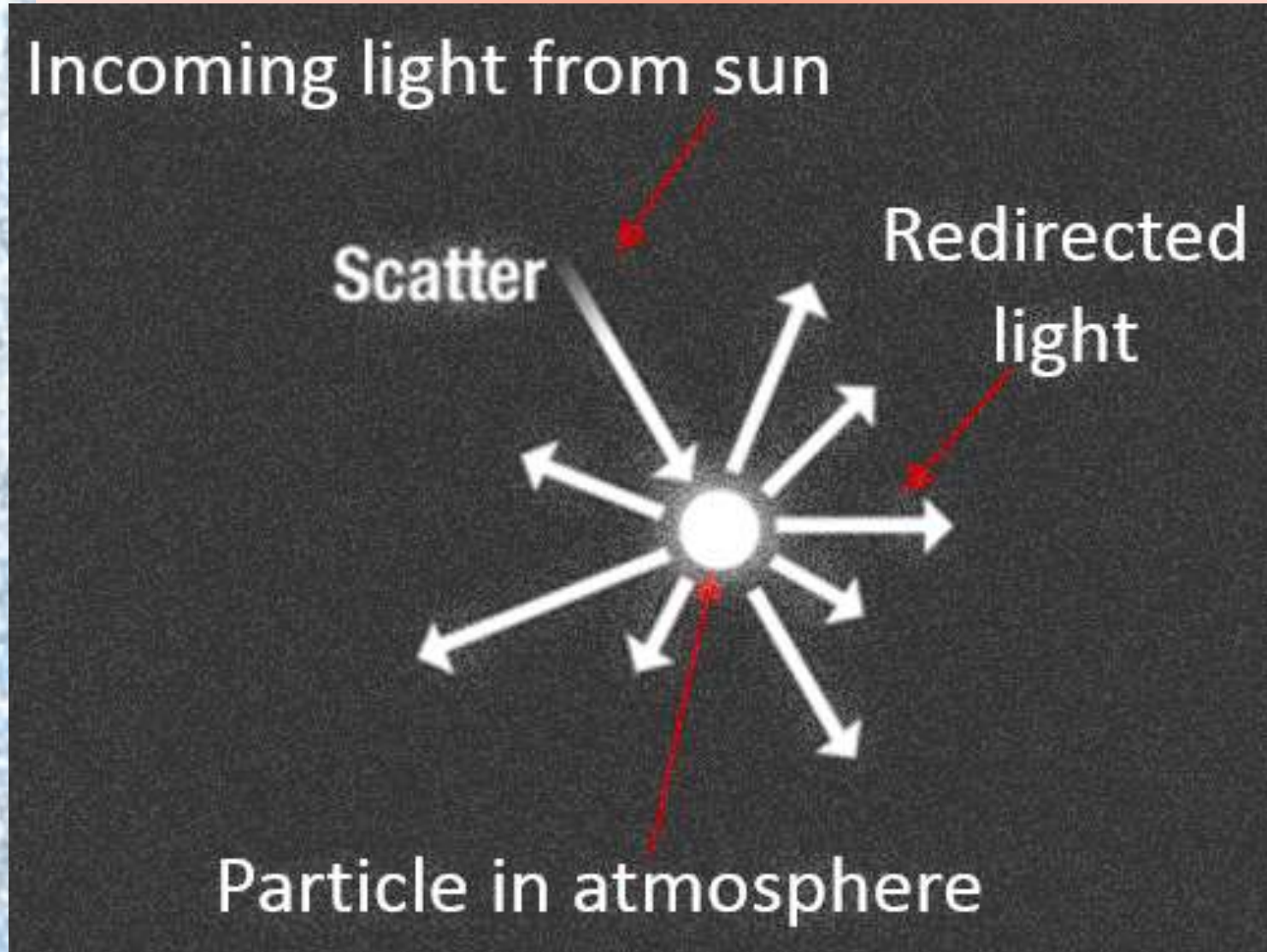
Ionization disrupts an atom and makes it a chemically active ion. It may disrupt the molecule in which the atom resides, and that could damage some process that depends upon the integrity of this molecule.



is

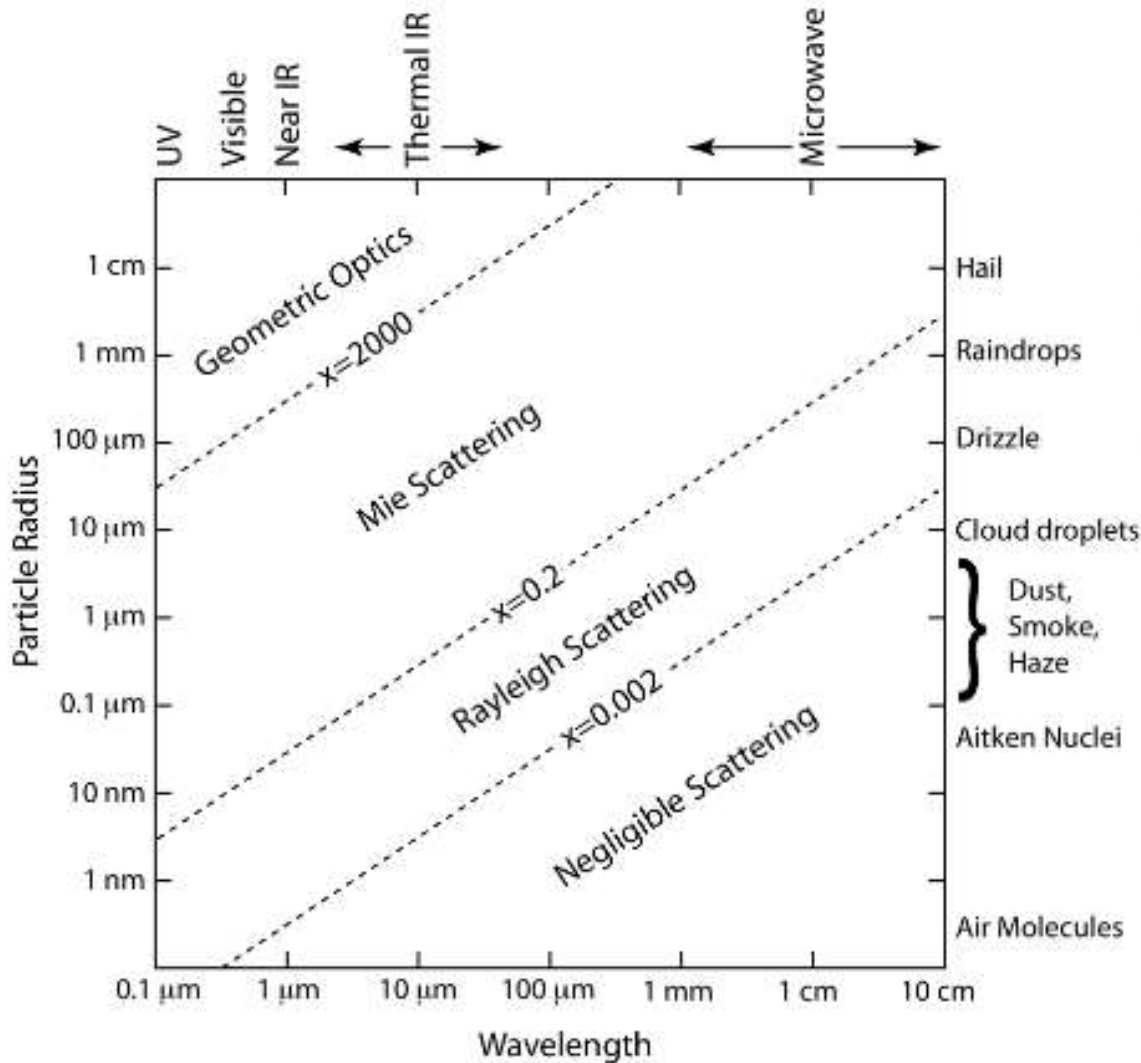
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/>

Espalhamento Atmosférico



http://gsp.humboldt.edu/olm_2016/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/scatter.html

Light scattering regimes



There are many regimes of particle scattering, depending on the particle size, the light wave-length, and the refractive index.

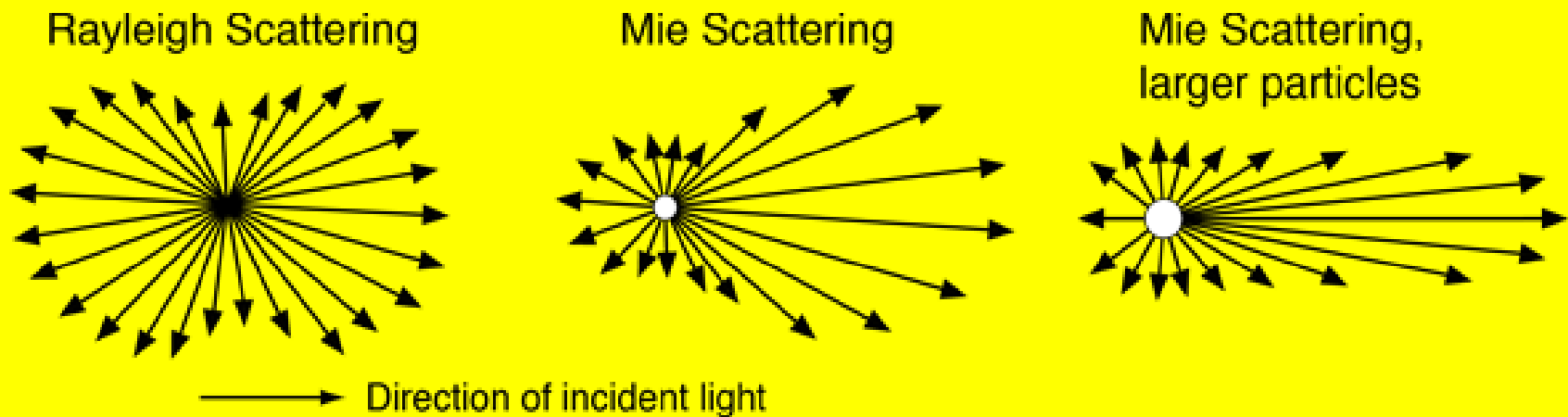
$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

This plot considers only single scattering by spheres. Multiple scattering and scattering by non-spherical objects can get really complex!

Espalhamento

- Grande parte da radiação que se percebe com os olhos não vem diretamente de suas fontes, mas indiretamente, pelo processo de espalhamento;
- O processo consiste em desviar ou espalhar a radiação da orientação original da propagação para outra orientação qualquer;
- O padrão de espalhamento não ocorre de forma aleatória, uma vez que a distribuição da radiação emergente em diferentes orientações depende de algumas características das partículas que constituem o meio no qual a radiação se propaga como, por exemplo, a razão entre o tamanho da partícula espalhadora e o comprimento de onda da radiação incidente.

O padrão de espalhamento

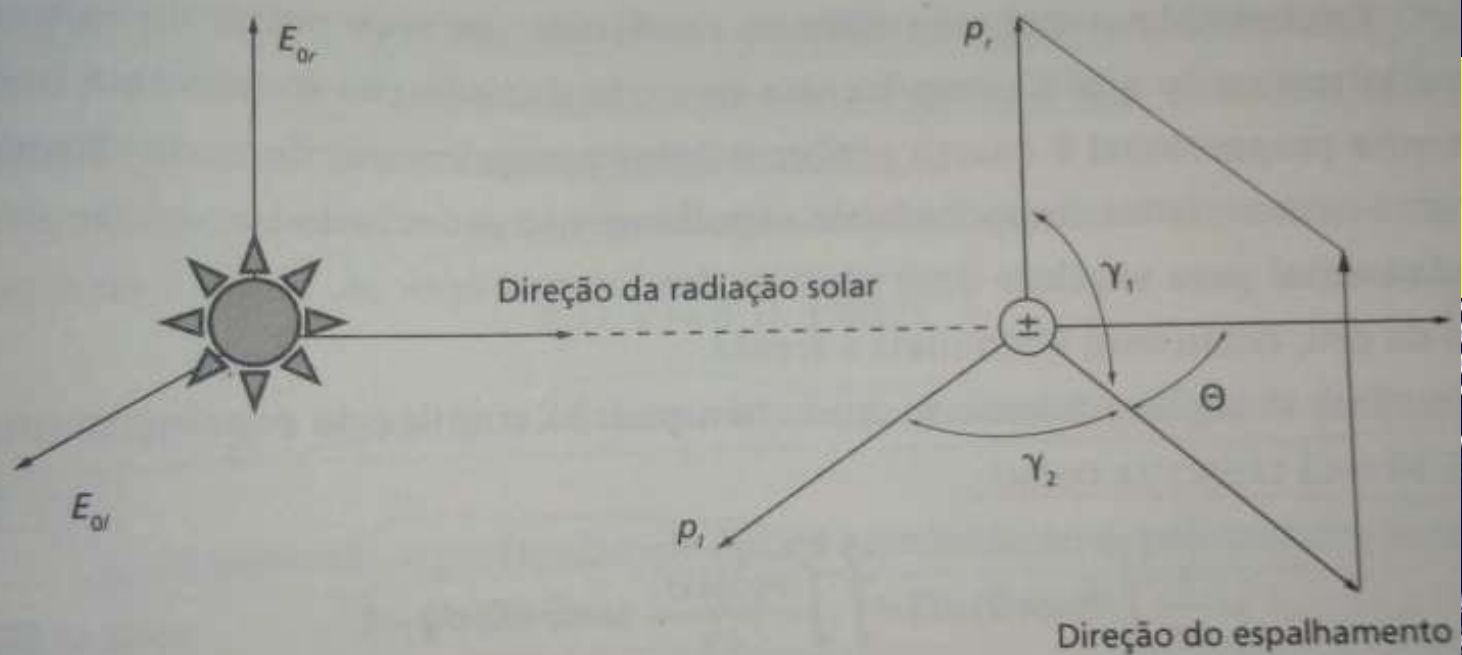


Os passos seguintes dependem da razão entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda da radiação incidente:

- Espalhamento Rayleigh: o comprimento de onda da radiação incidente é muito maior que o tamanho das partículas;
- Mie: o comprimento de onda tem tamanho comparável ou é menor que o tamanho das partículas;

Espalhamento Rayleigh

- Descreve a interação da radiação com as moléculas;
- Partículas muito menores que o comprimento de onda incidente ($R_p \ll \lambda$);
- Parte-se da equação do campo elétrico: $E' = E_0 + E_p$
 - E_p é o campo elétrico da molécula e E_0 o campo elétrico da radiação incidente;
- O campo aplicado gera oscilação do dipolo numa determinada direção e o dipolo oscilante produz uma onda eletromagnética plano-polarizada que é justamente a onda espalhada;



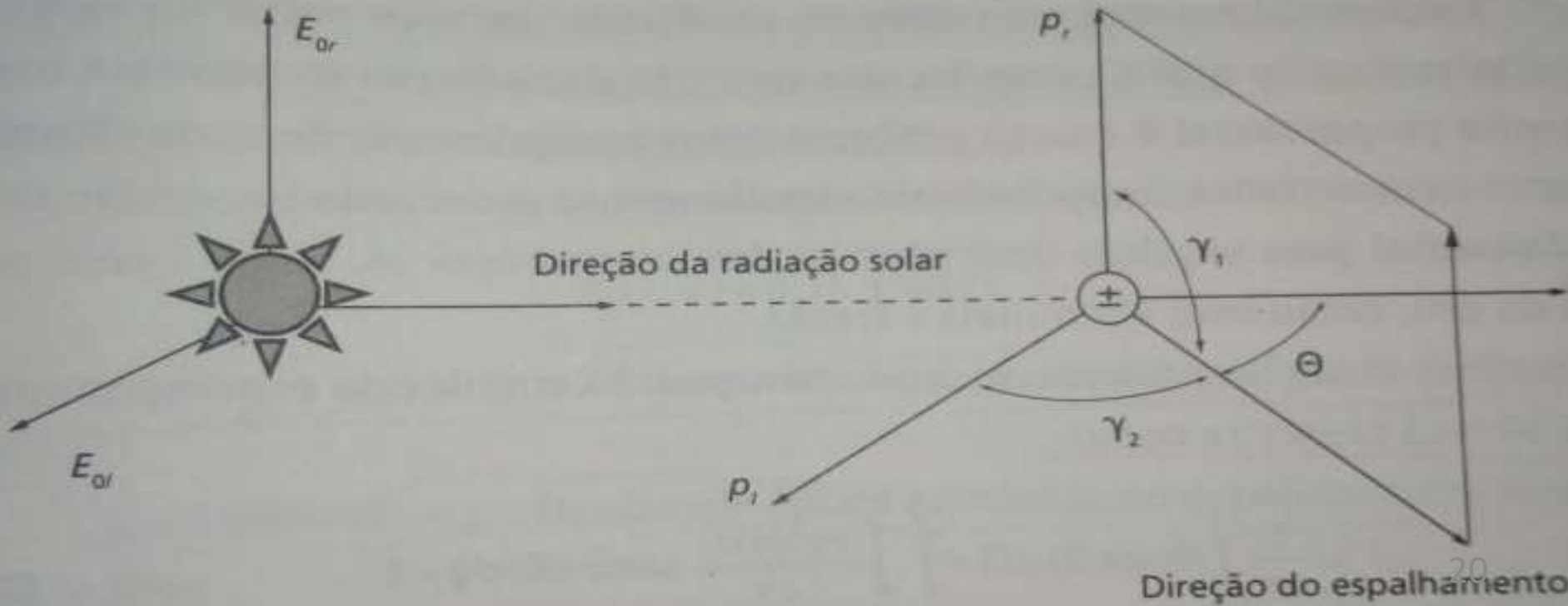
- O campo resultante será do tipo
- $E = \frac{1}{c^2 r} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \text{sen}(\gamma)$ com γ sendo o ângulo de espalhamento;
- Assumindo um dipolo induzido oscilante:
- $E = -E_0 \frac{e^{-im(r-ct)} m^2}{r} \text{asen}(\gamma)$
- Como a radiação do sol é não polarizada, é necessário considerar dois componentes para o espalhamento:
- E_r e E_i , campos perpendicular e paralelo ao plano que contém a radiação incidente e espalhada, respectivamente;

Rayleigh - Radiância espalhada

De forma que:

$$E_r = -E_{0r} \frac{e^{-im(r-ct)} m^2}{r} \text{asen}(\gamma_1) \rightarrow \text{perpendicular ao plano de espalhamento}$$

$$E_l = -E_{0l} \frac{e^{-im(r-ct)} m^2}{r} \text{asen}(\gamma_2) \rightarrow \text{paralelo}$$



Rayleigh - Radiância espalhada

De forma que:

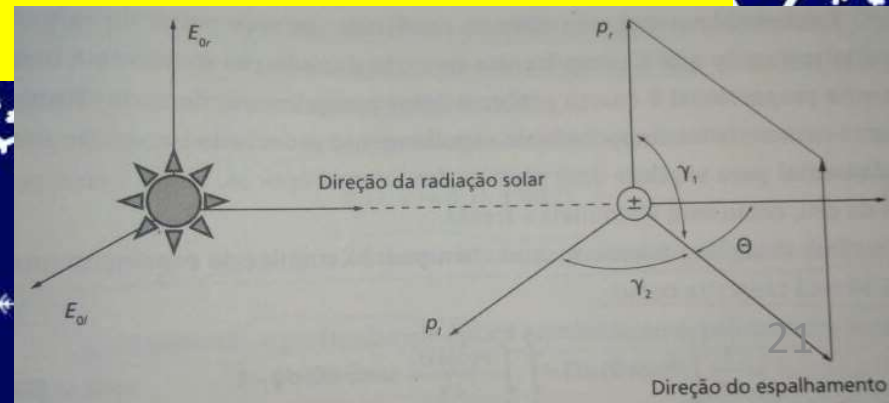
$$E_r = -E_{0r} \frac{e^{-im(r-ct)} m^2}{r} \text{asen}(\gamma_1) \xrightarrow{L=C|E|^2} L_r = L_{0r} m^4 \left(\frac{a}{r}\right)^2 \rightarrow \text{perpendicular ao plano de espalhamento}$$

$$E_l = -E_{0l} \frac{e^{-im(r-ct)} m^2}{r} \text{asen}(\gamma_2) \Rightarrow L_l = L_{0l} m^4 \left(\frac{a}{r}\right)^2 \cos^2 \theta \rightarrow \text{paralelo}$$

Assim, em coordenadas polares, a radiação espalhada na direção θ é

$$L = L_l + L_r = \frac{L_0}{r^2} a^2 \left(\frac{2\pi i}{\lambda}\right)^4 (1 + \cos^2 \theta) / 2$$

Assume-se $L_l = L_r$ para a radiação solar,
Não polarizada.



Rayleigh – Profundidade óptica

A profundidade óptica associada ao espalhamento Rayleigh é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda:

$$\tau_r \propto 1/\lambda^4$$



Figure 7.6. Colors of the sun. At noon, the sun appears white because red, green, and some blue light transmit to a viewer's eye. In the afternoon, sunlight traverses a longer path in the atmosphere, removing more blue. At sunset, most green is removed from the line of sight, leaving a red sun. After sunset, the sky appears red due to refraction between space and the atmosphere.

Espalhamento Mie

- Gustav Mie calculou através das equações de Maxwell em 1908 o espalhamento causado por uma partícula esférica de tamanho arbitrário;
- Tal teoria é utilizada para descrever a interação das partículas de aerossol e gotas de nuvens com a radiação eletromagnética;
- Basicamente seu objetivo é de calcular secção de choque para absorção e espalhamento:
 - $\sigma_e(\lambda, s') = \pi \cdot r^2 Q_e\left(\frac{2\pi r}{\lambda}, n(\lambda, s')\right)$
 - $\sigma_a(\lambda, s') = \pi \cdot r^2 Q_a\left(\frac{2\pi r}{\lambda}, n(\lambda, s')\right)$
 - Com Q_e e Q_a como fatores de eficiência de espalhamento e de absorção obtidos pela teoria de Mie.

Coefficientes para gotículas de água

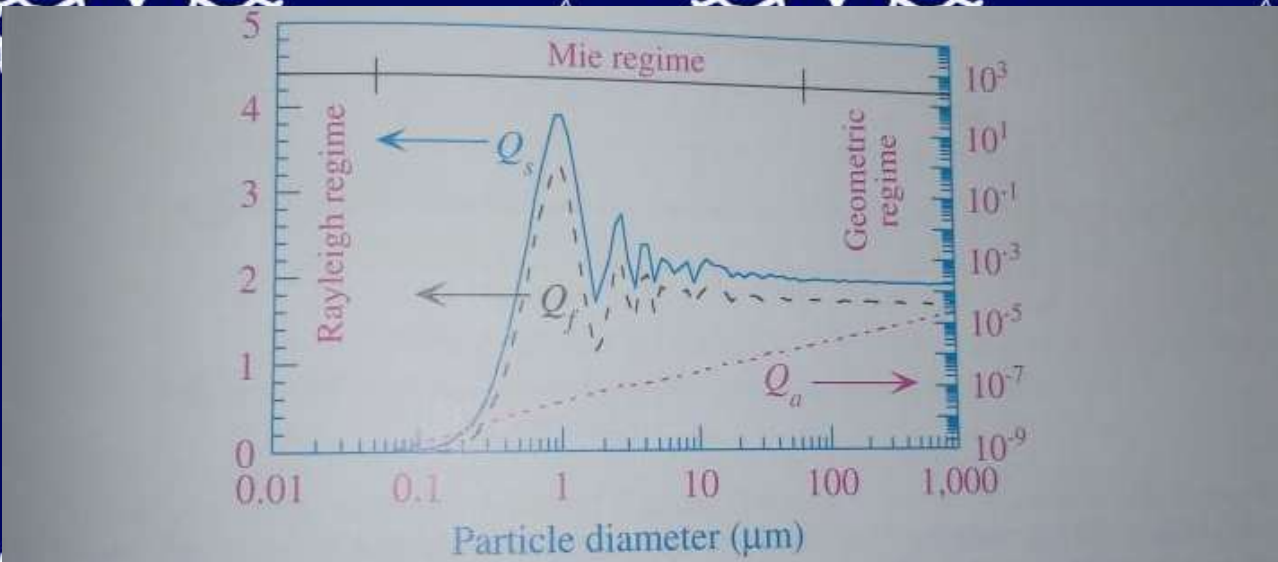


Figure 7.20. Single-particle absorption (Q_a), total scattering (Q_s), and forward scattering (Q_f) efficiencies of liquid water drops of different sizes at $\lambda = 0.50 \mu\text{m}$ ($n = 1.335$, $\kappa = 1.0 \times 10^{-9}$).

Coefficientes para black carbon

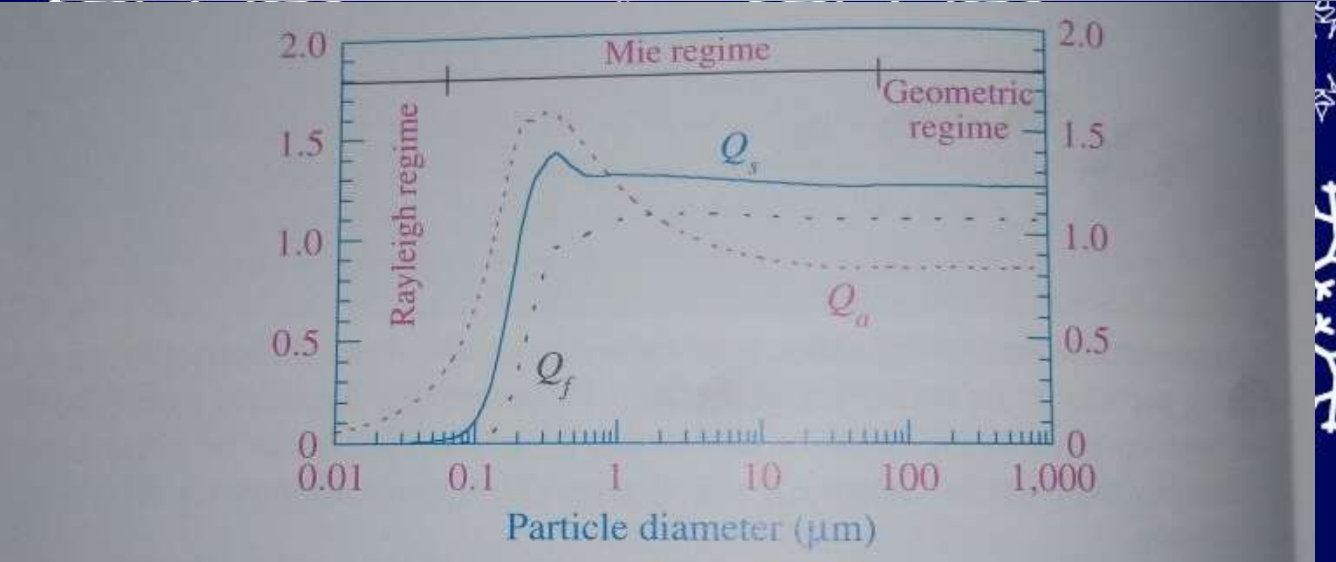
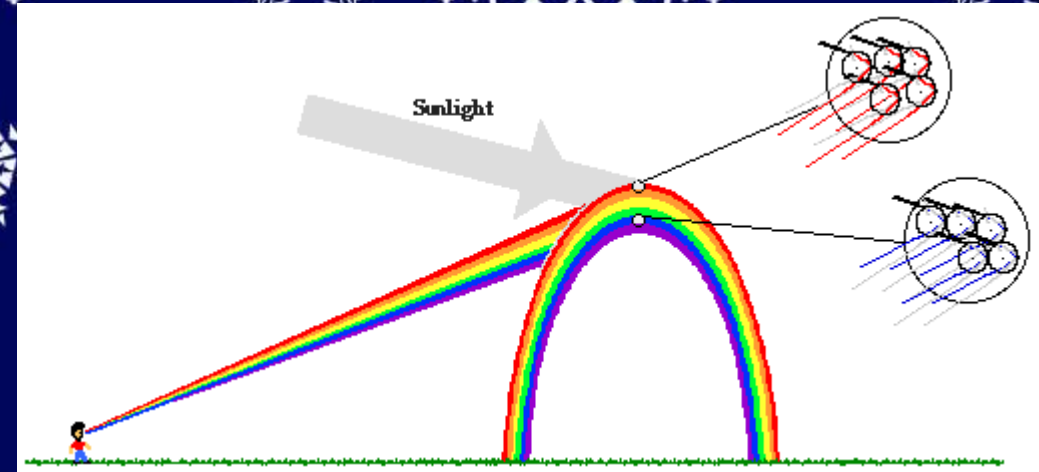
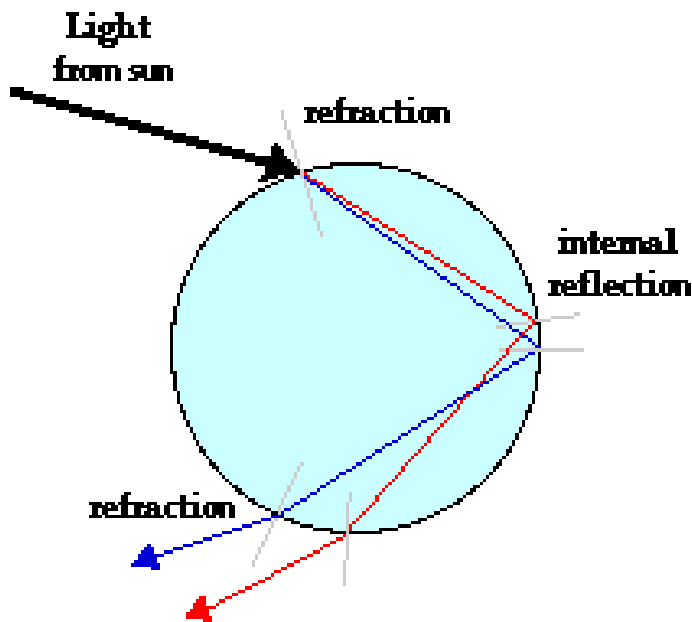


Figure 7.19. Single-particle absorption (Q_a), total scattering (Q_s), and forward scattering (Q_f) efficiencies of black carbon particles of different sizes at $\lambda = 0.50 \mu\text{m}$ ($n = 1.94$, $\kappa = 0.66$).

Arco íris e refração

- Refração ocorre quando um fóton passa de um meio com determinada densidade para outro e sua velocidade é alterada;
- É representado pela parte real do Índice de Refração n
 - $n=c/c_1$ e $c=\lambda.f$, de forma que n apresenta dependência com a frequência da radiação;
- Por outro lado, o arco-íris ocorre quando a radiação interage com gotículas de água de duas maneira: refratando e refletindo.



O Índice de Refração

- O índice de refração n pode ser complexo:
 - $n(\lambda) = n_r(\lambda) - i k_i(\lambda)$
 - O parâmetro k , parte imaginária do índice de refração está associado à absorção de radiação pela partícula

TABLE 15.2 Refractive Indices of Atmospheric Substances at $\lambda = 589 \text{ nm}$ (Unless Otherwise Indicated)

Substance	$m = n + ik$		
	n	k	
Water	1.333	0	(see Table 15.1)
Water (ice)	1.309		
NaCl	1.544	0	
H ₂ SO ₄	1.426 ^a	0	
NH ₄ HSO ₄	1.473 ^b	0	
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.521 ^b	0	
SiO ₂	1.55	0	($\lambda = 550 \text{ nm}$)
Carbon ^c	1.95	-0.79	($\lambda = 550 \text{ nm}$)
Mineral dust ^d	1.56	-0.006	($\lambda = 550 \text{ nm}$)

^aStelson (1990), assuming a 97% pure (by mass) mixture of H₂SO₄ with H₂O.

^bWeast (1987).

^cBond and Bergstrom (2006) report a narrow range of refractive indices of light-absorbing carbon. The value in the table represents the upper limit.

^dTegen et al. (1996).

Bibliografia

- Processos Radiativos na Atmosfera de Marcia Akemi Yamasoe e Marcelo de Paula Corrêa, Oficina de Textos, 2016.
- Atmospheric Pollution – History, Science and Regulamentation de Mark Z. Jacobson, Editora Cambridge, 2002.
- Atmospheric Chemistry And Physics – From Air Pollution to Climate Change de John Seinfeld e Spyros Pandis, 3ªEdição, Editora Wiley, 2016



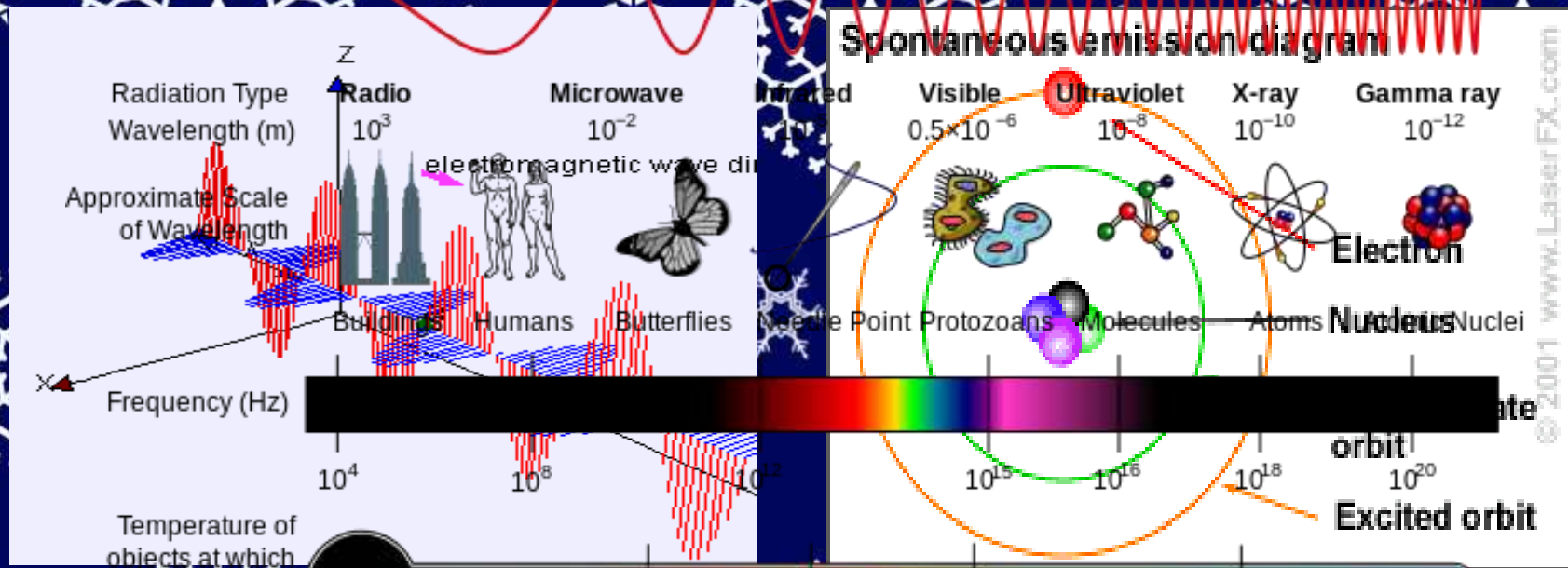
Obrigado!

Espalhamento Geométrico – O Papel das Nuvens

- Nuvens cobrem de 40 a 60% da superfície terrestre e interagem com a atmosfera;
- Nuvens baixas: refletem a radiação solar e as mais altas reduzem a radiação de onda longa emitida para o espaço, visto que absorvem a radiação terrestre e reemitem à sua temperatura.
- As nuvens quentes, com gotas de água líquida e propriedades ópticas que podem ser derivadas da teoria de Mie;
- Com o parâmetro X é grande, o espalhamento independe do comprimento de onda na região do visível; Pouca absorção nas gotas;

Polombando:

Penetrates Earth's Atmosphere?



De acordo com a teoria quântica de E.M. a radiação consiste de fótons, partículas elementares responsáveis pela interação eletromagnética;

O padrão de espalhamento

É importante determinar o padrão angular de espalhamento. Esse padrão pode ser descrito por uma função matemática denominada função de fase, dependente dos ângulos de incidência e espalhamento e do comprimento de onda da radiação incidente, Por exemplo, uma partícula muito pequena espalha radiação nas direções frontal e traseira na mesma proporção

$P(\lambda, \Omega_{in}, \Omega_{out})$ -> função de fase , normalizada de modo que $\int_{4\pi} P(\cos\theta) d\Omega = \pi 4$

Ω_{in} -> coordenadas da orientação de incidência

Ω_{out} -> coordenadas da orientação de espalhamento

Dois principais processos de espalhamento são:

- Espalhamento Rayleigh: o comprimento de onda da radiação incidente é muito maior que o tamanho das partículas;
- Mie: expressão geral para tratar a dispersão de radiação eletromagnética por partículas esféricas;