

# Espalhamento de Luz

Diego de Mattos Candido N° USP:

Guilherme Santana Bergamin N° USP:

Leonardo José Bertelli N° USP: 8539109

Nicolas Jarro Lago de Carlos N° USP:

# Programa

## 1. Lei de Beer

## 2. Espalhamento da Luz

- a) Espalhamento Rayleigh
- b) Espalhamento Mie

## 3. Absorção da Luz

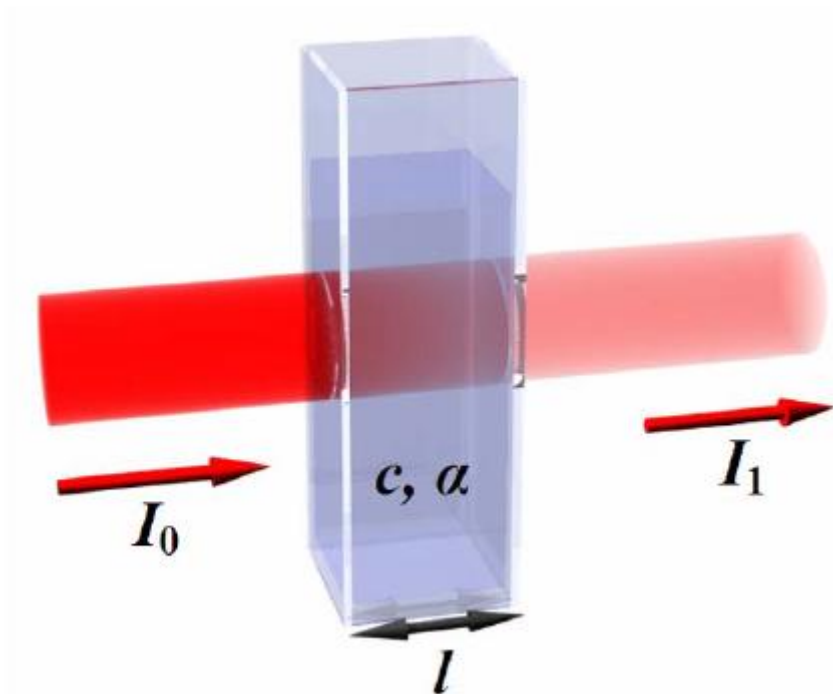
- a) Absorção Contínua
- b) Absorção por Linhas

## 4. Fenômenos de Espalhamento e Absorção

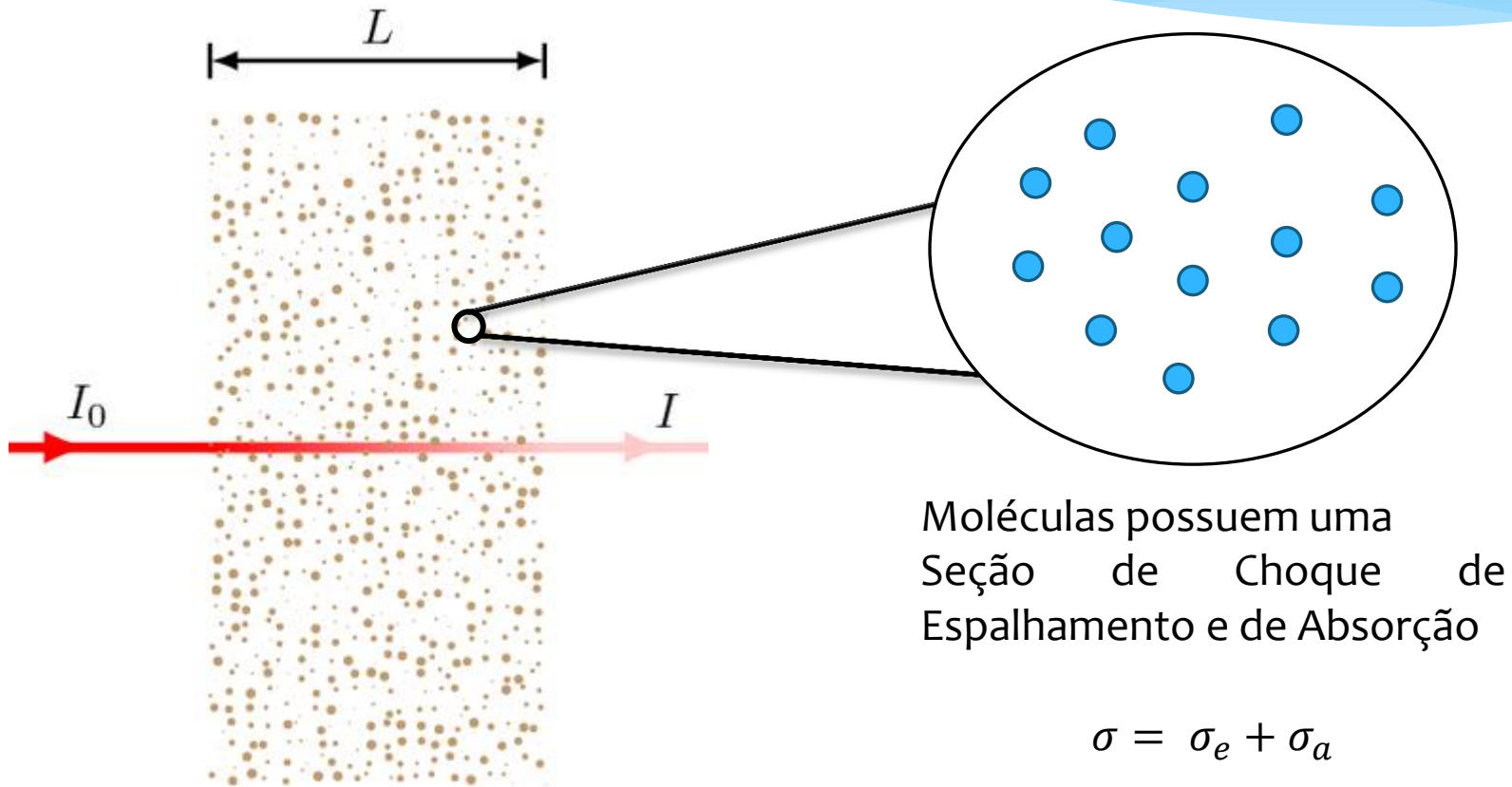
- a) Arco – Íris
- b) Corona
- c) Anéis de cores
- d) Extinção da Luz

# Lei de Beer

- \* Perca de intensidade luminosa devido ao espalhamento e à absorção



# Lei de Beer



Moléculas possuem uma  
Seção de Choque de  
Espalhamento e de Absorção

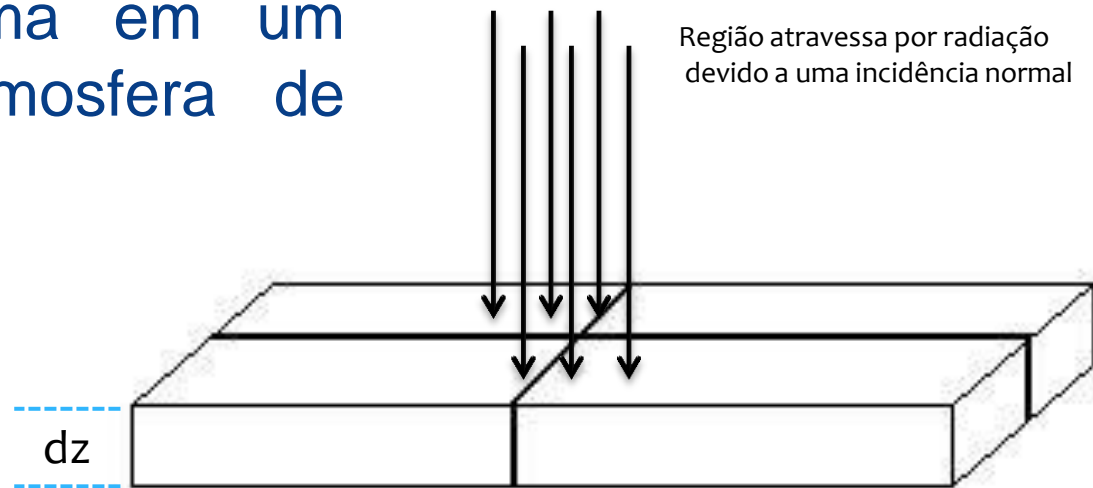
$$\sigma = \sigma_e + \sigma_a$$

# Lei de Beer

- \* Espessura ótica

- \* Definição:  $\tau_\lambda = \int \sigma_\lambda N(z) dz$

- \*  $N(z) \rightarrow$  Densidade de moléculas com seção de choque sigma em um caminho óptico da atmosfera de espessura dz.



# Lei de Beer

- \* taxa de variação de intensidade da radiação deve ser proporcional à própria intensidade de radiação

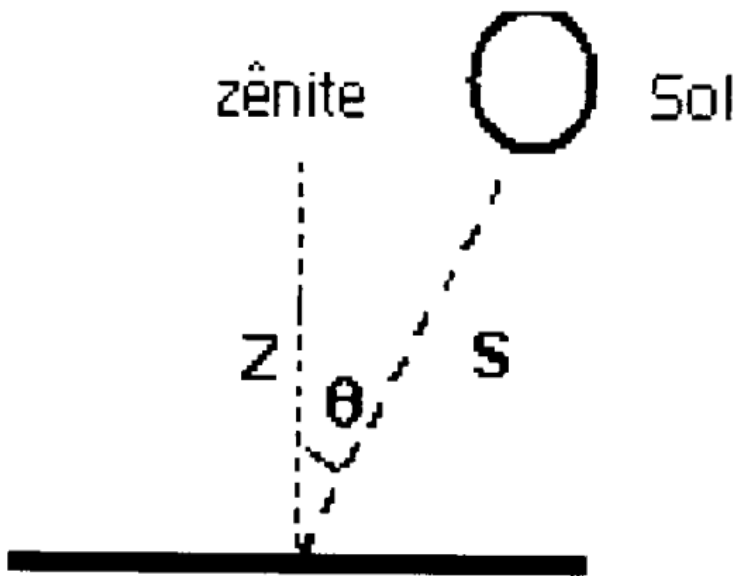
$$\frac{dE}{dz} = -\sigma_{\lambda}NE$$

$$\int_{E_0}^{E_z} \frac{dE}{E} = - \int_0^z \sigma_{\lambda}N(z)dz \quad (*)$$

$$E_z = E_0 e^{-\tau_{\lambda}}$$

$$\ln \left( \frac{E_z}{E_0} \right) = -\tau_{\lambda}$$

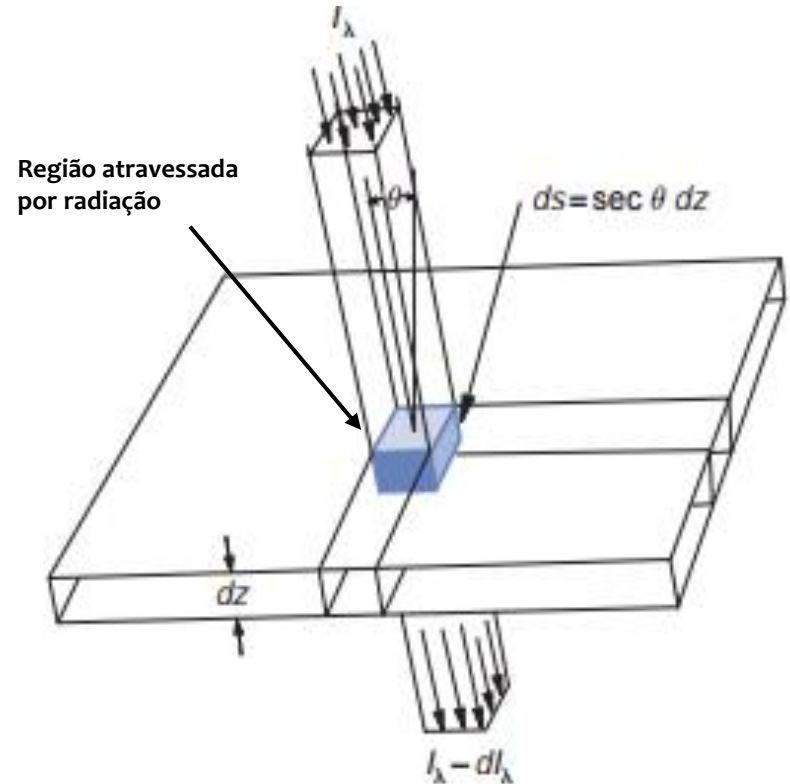
# Lei de Beer



<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v23n3/v23n3a04.pdf>

$$\cos \theta = \frac{dz}{ds}$$

$$ds = dz \sec \theta$$



# Lei de Beer

- \* Substituindo isso na integral em (\*) obtemos esse fator  $\sec\theta$ , que para uma propagação retilínea, é constante ao longo de toda a integração. Assim, esse fator sai da integral, e a Lei de Beer fica:

$$E_z = E_0 e^{-\tau_\lambda \sec\theta}$$



# Espalhamento de Luz

Cores do espectro visível		
Cor	Comprimento de onda	Frequência
Vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
Laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
Amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
Verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
Ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
Azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
Violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

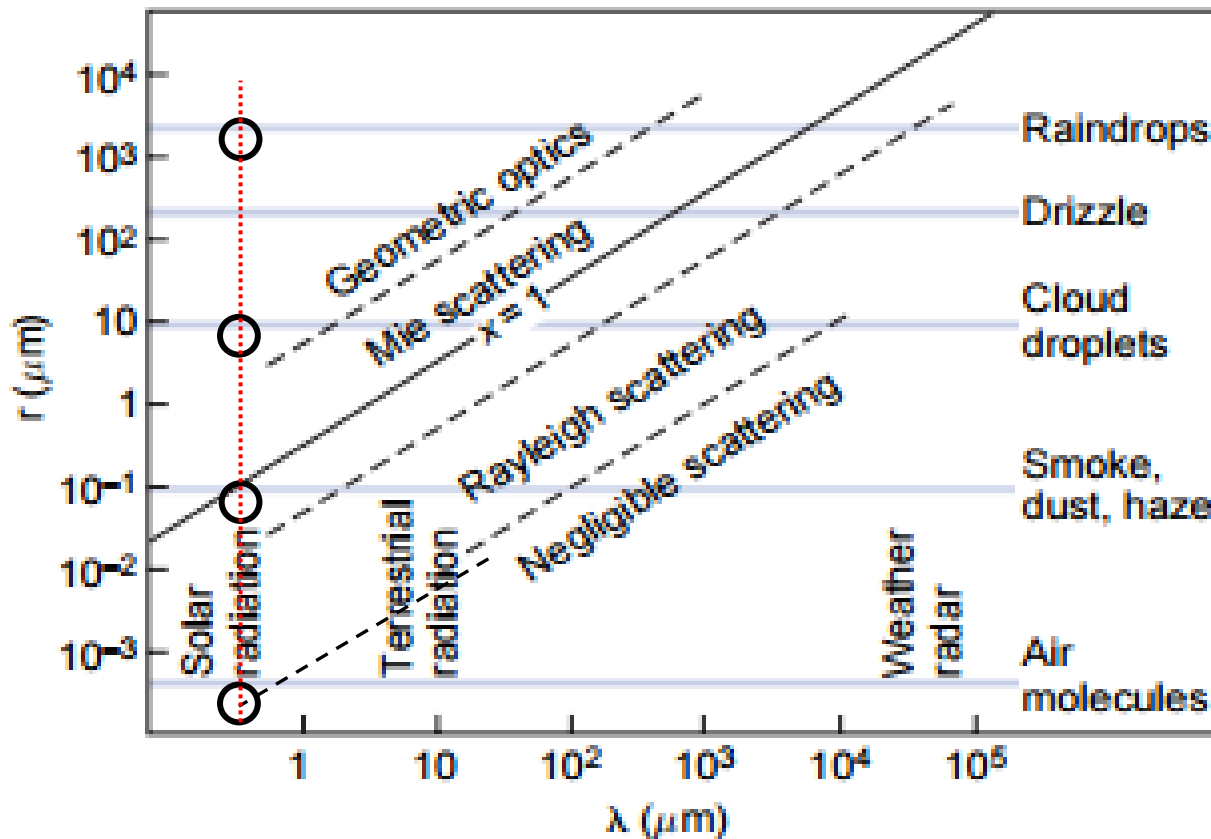
**Comprimento de Onda do Visível:  $0,40 \mu\text{m} < \lambda_{\text{visível}} < 0,75 \mu\text{m}$**

# Espalhamento de Luz

- \* A seção de choque depende do comprimento de onda incidente
- \* Isso define o quão rápido acontece o espalhamento ou a absorção da intensidade da luz

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

# Espalhamento de Luz



Arco Íris

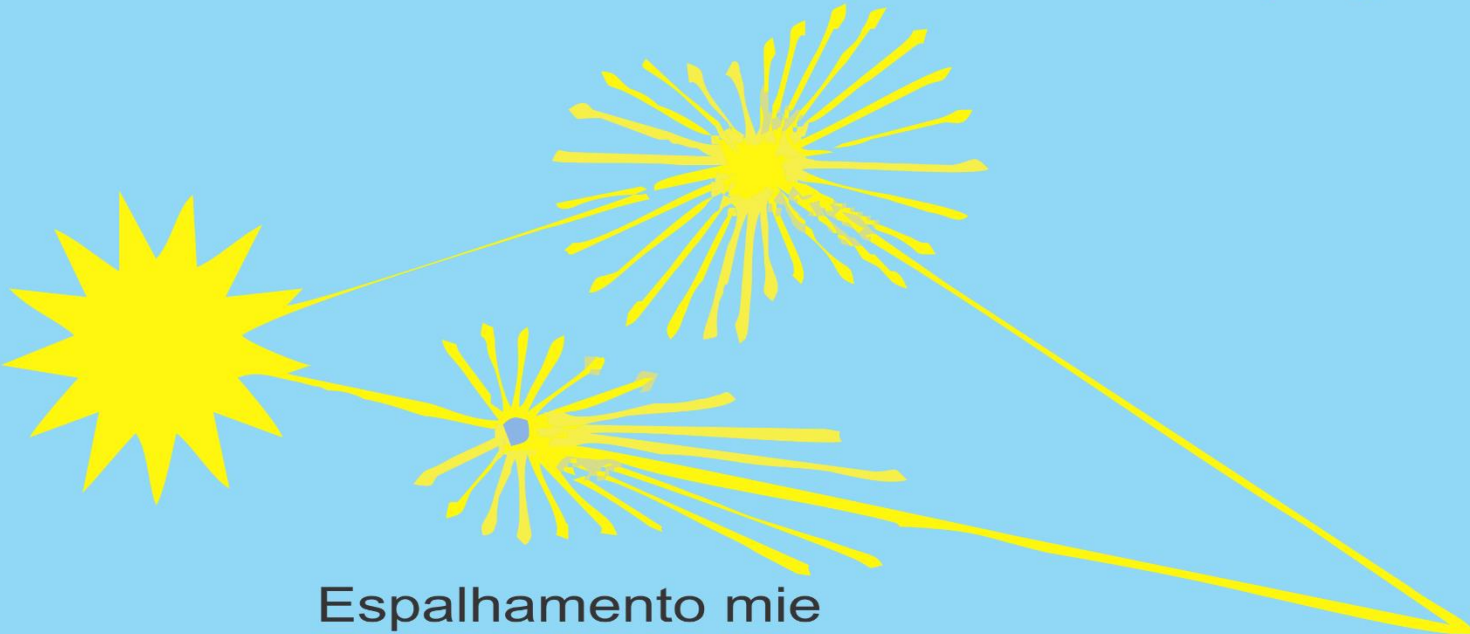
Corona

Céu Nublado ou  
Avermelhado

Céu Azul

**Fig. 4.11** Size parameter  $x$  as a function of wavelength ( $\lambda$ ) of the incident radiation and particle radius  $r$ .

# Espalhamento Rayleigh



Espalhamento mie



Observador

# Espalhamento de Luz

$$\frac{I_{\theta}}{I_0} = \frac{1}{2} \frac{1}{r^2} \left[ \frac{2\pi}{\lambda} \right]^4 \left[ \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right]^2 a^6 N_p (1 + \cos^2 \theta)$$

- distance
- wavelength
- optical constants
- particle size
- concentration
- polarisation















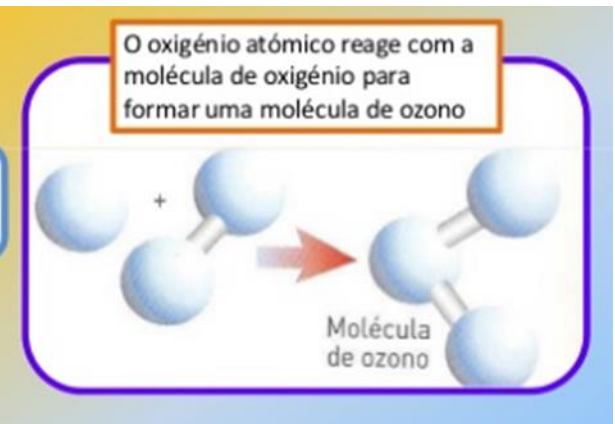
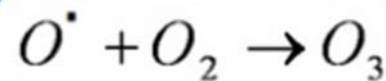
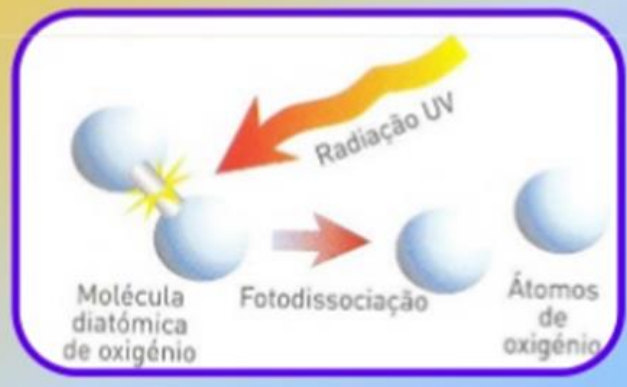
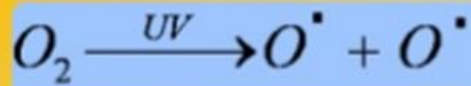


# Absorção da Luz

- \* Considera-se o caráter corpuscular da luz, composta de fótons, cada um com energia  $E = h\nu$ 
  1. **Absorção Contínua:** Ciclo Gás Oxigênio – Ozônio
  2. **Absorção Discreta:** Acontece pra altos comprimentos de onda, e portanto baixas energias de radiação. Acontece apenas quando a energia é exatamente igual à necessária para excitar elétrons dos átomos

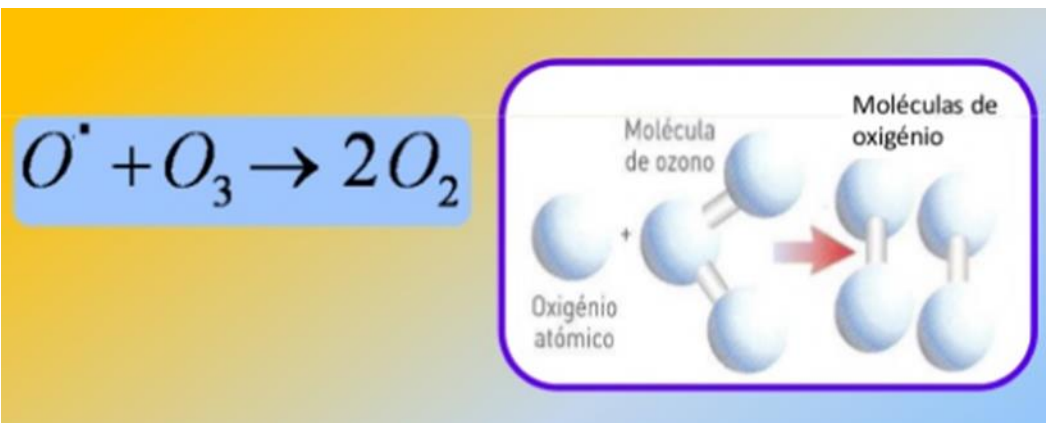
# Absorção da Luz

Formação do Ozônio na estratosfera



# Absorção da Luz

Dissociação do Ozônio formado



# Absorção da Luz

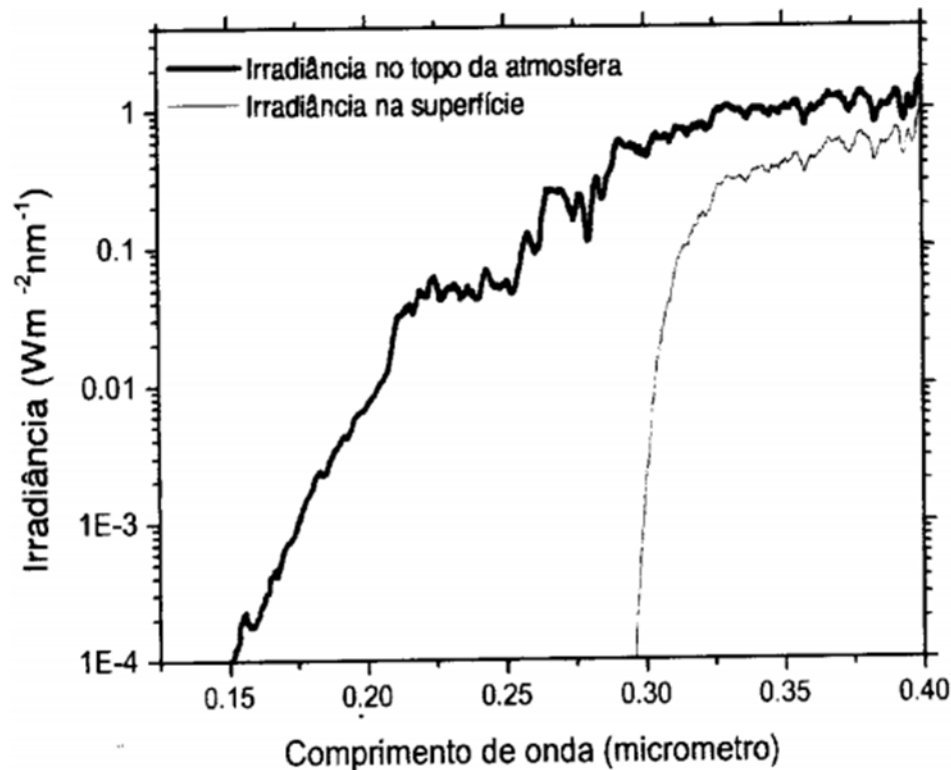
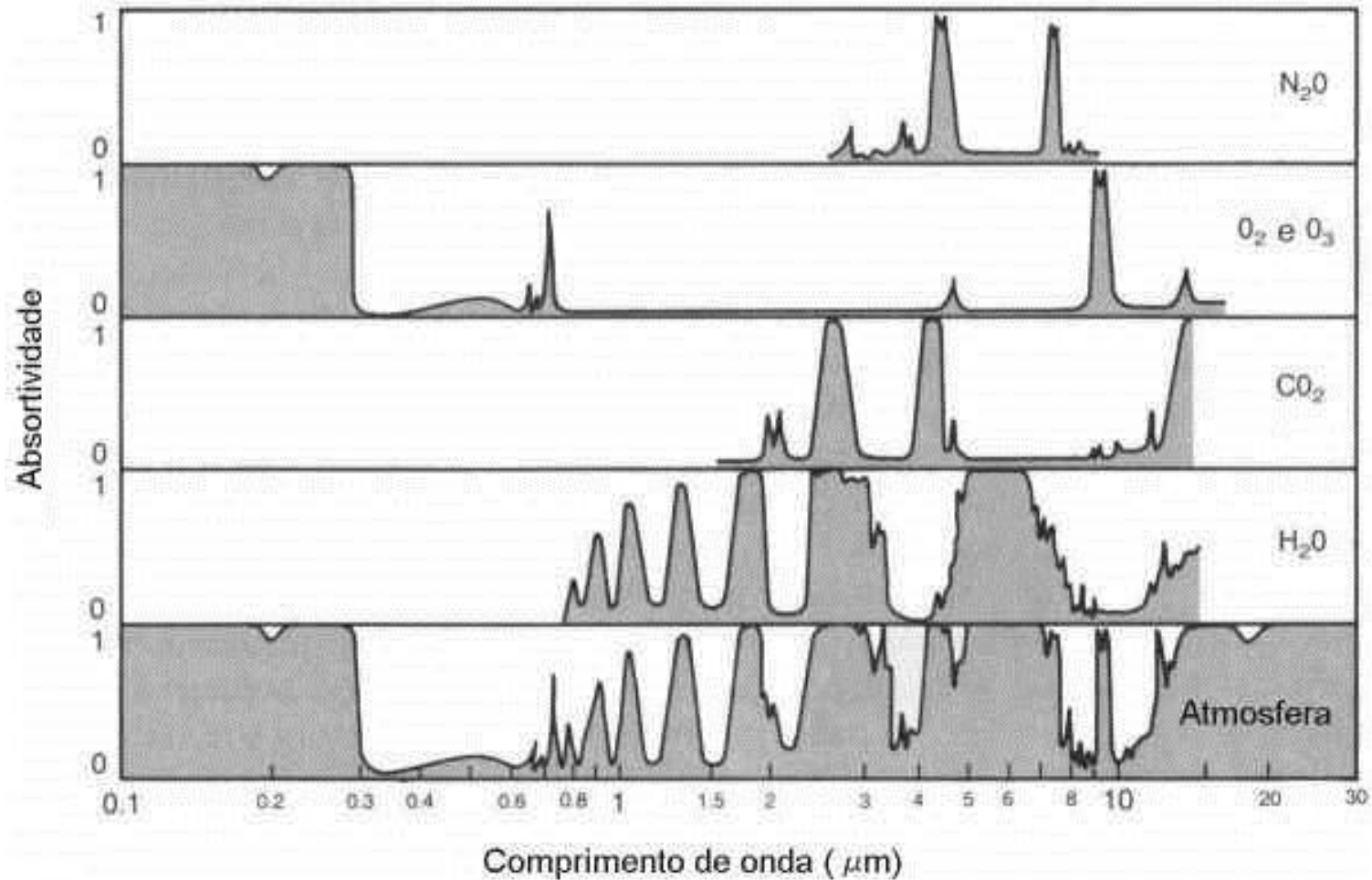


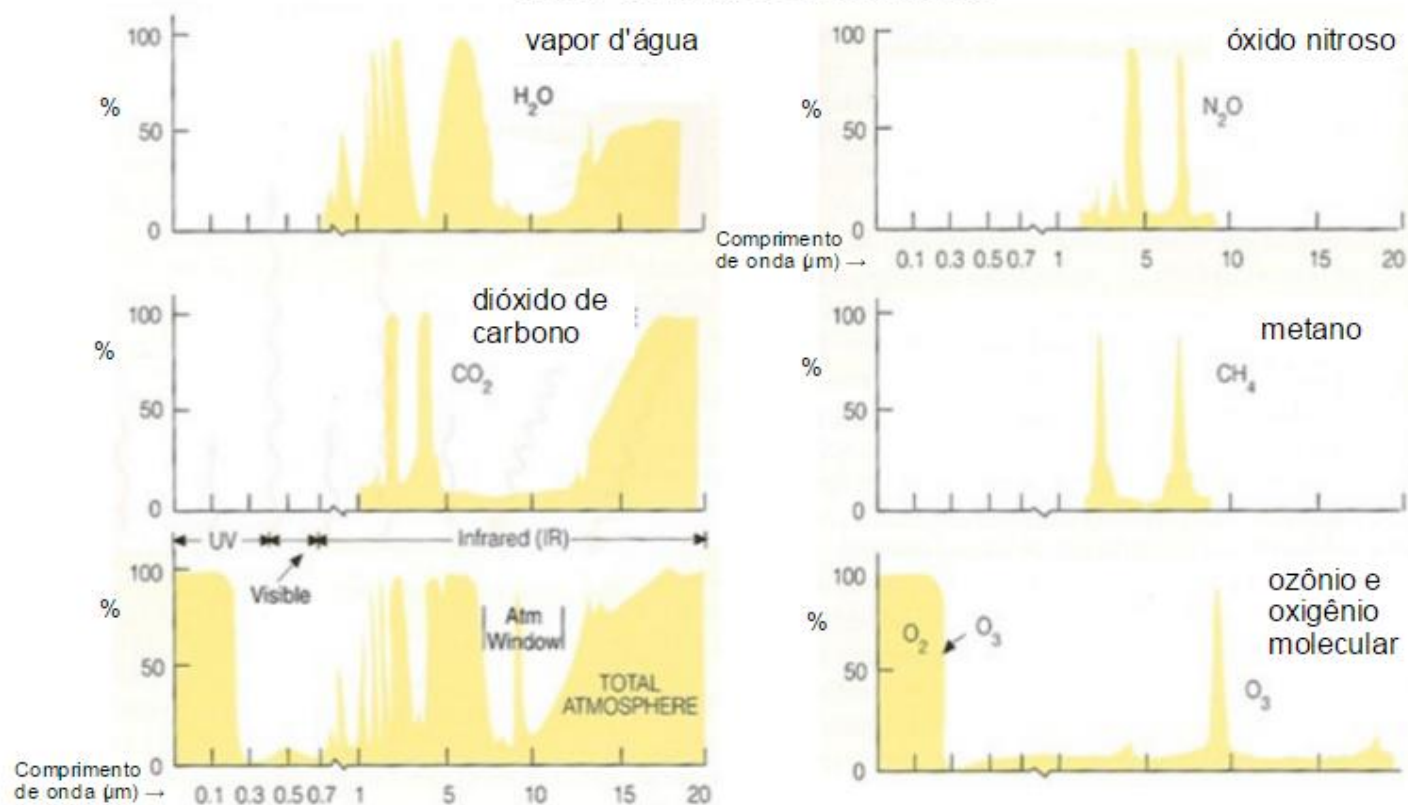
Figura 4. Espectro solar no UV no topo da atmosfera  $E_{\lambda}^o$  (linha grossa), medido pelo experimento ATLAS3-SUSIM em 13 de novembro de 1994, e espectro solar na superfície terrestre  $E_{\lambda}$  (linha fina) calculado utilizando a lei de Beer, e considerando a atenuação por espalhamento Rayleigh e absorção molecular por  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$  e  $NO_2$ .

# Absorção da Luz



# Absorção da Luz

## Absorção de radiação pelos gases da atmosfera

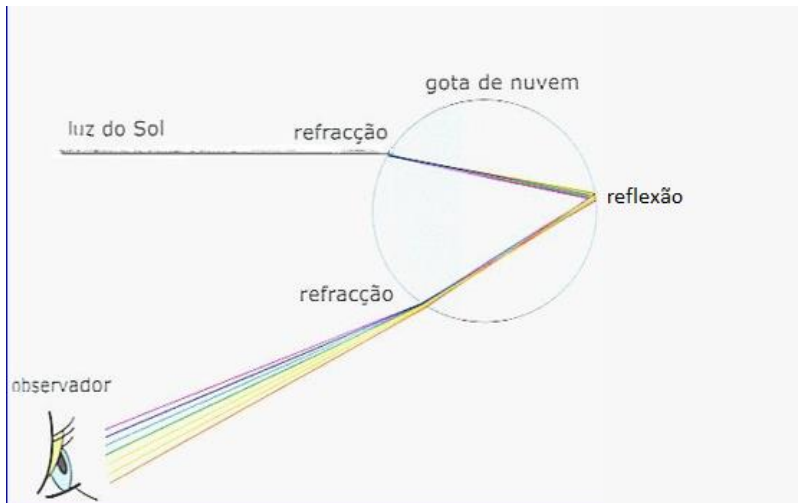




# Fenômenos de Espalhamento e Absorção

- \* **Arco-Íris:** Gotinhas de água possuem raio maior que o comprimento de onda da luz visível. A água é um meio dispersivo, isto é, o índice de refração depende do comprimento de onda ( $n_{(\lambda)}$ ), o que faz com que as cores que definem a faixa do visível se separem quando a luz refrata. Dentro da gota, a luz sofre reflexões, e refrata para fora da gota novamente. É um espalhamento acompanhado de separação das frequências do visível.

# Fenômenos de Espalhamento Absorção



<http://eduardo99cfq.blogspot.com.br/2013/06/como-se-forma-o-arco-iris.html>



**Fig. 4.15** Primary rainbow with a weaker secondary rainbow above it and supernumerary bows below it. [Photograph courtesy of Joanna Gurstelle.]

# Fenômenos de Espalhamento e Absorção

- \* **Buracos coloridos:** Formados pelo espalhamento da luz devido a cristais de gelo finos na atmosfera.

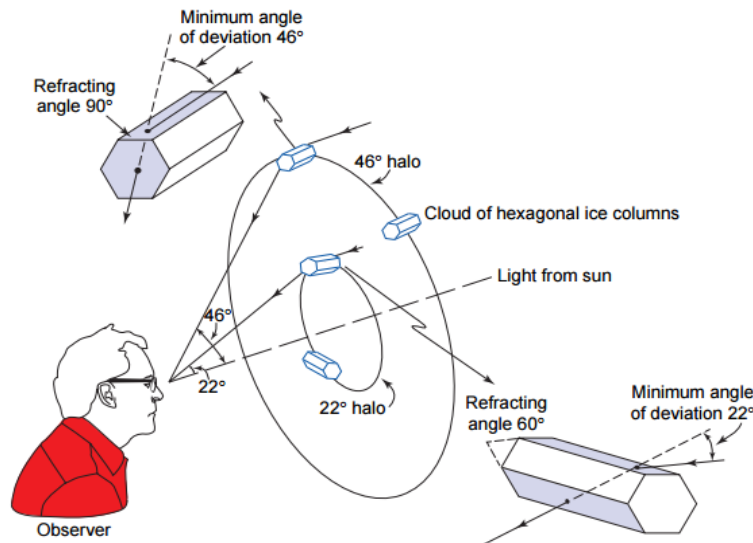


Fig. 4.18 Refraction of light in hexagonal ice crystals to produce the 22° and 46° haloes.

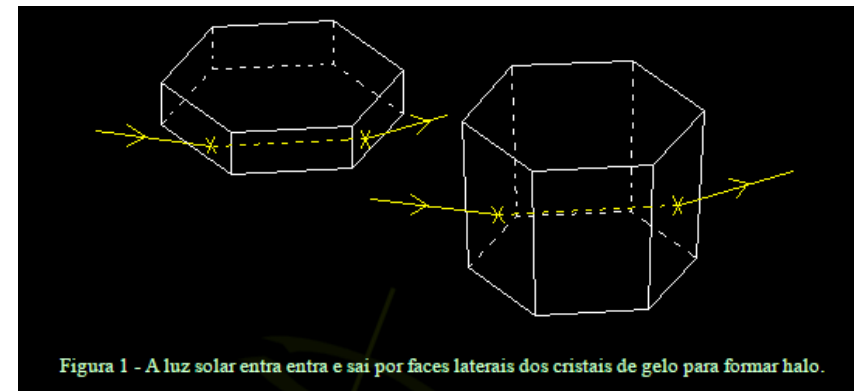


Figura 1 - A luz solar entra e sai por faces laterais dos cristais de gelo para formar halo.

<http://www.astrosurf.com/skyscapes/optica/halo.htm>



Atmospheric Science, Second Edition: An Introductory Survey (International Geophysics) by John M. Wallace Hardcover

**Fig. 4.17** Haloes of  $22^\circ$  and  $46^\circ$  (faint) formed in a thin cloud consisting of ice crystals. [Photograph courtesy of Alistair Fraser.]

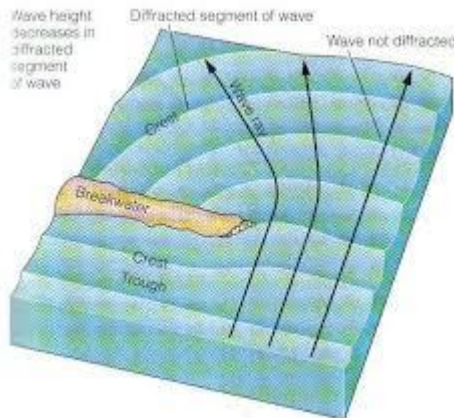






# Fenômenos de Espalhamento e Absorção

- \* **Coronas:** Produzidos quando a luz difrata através de gotículas de água nas nuvens. Forma-se anéis coloridos, inicialmente azuis e terminando em vermelho.



[http://images.slideplayer.com.br/25/8574159/slides/slide\\_2.jpg](http://images.slideplayer.com.br/25/8574159/slides/slide_2.jpg)

# Fenômenos de Espalhamento e Absorção



<http://www.atoptics.co.uk/droplets/corona.htm>



**Fig. 4.19** A corona around the sun produced by the diffraction of light in cloud droplets. [Photograph courtesy of Harald Edens.]







# Fenômenos de Espalhamento e Absorção

- \* **Extinção da Luz:** A combinação de efeitos de espalhamento e absorção da luz. Além disso, podem ocorrer múltiplos espalhamentos, de forma que uma radiação incidente numa direção preferencial pode passar a ter uma propagação isotrópica. Essa extinção da luz, resulta numa perda de visibilidade da paisagem.

