



Astrofísica Geral

Tema 04: Luz

Alexandre Zabet

Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

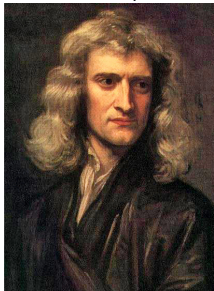
Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Newton × Huygens

Sir Isaac Newton (1642 – 1727)



Defendeu a teoria **corpúscular** da luz.
Publicou *Opticks* em 1709.

Christiaan Huygens (1629 – 1695)

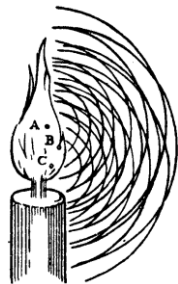


Defendeu a teoria **ondulatória** da luz.
Publicou *Traite de la lumiere* em 1678.



Teoria ondulatória

- ▶ A luz se propaga em ondas esféricas sucessivas
- ▶ Cada pequena região de um corpo luminoso cria suas próprias ondas
- ▶ A luz se propaga no *eter*
- ▶ As ondas não interferem umas nas outras

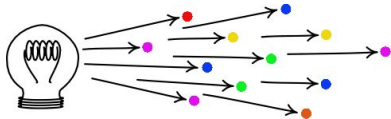


Propagação da luz segundo a teoria ondulatória de Huygens.



Teoria corpuscular

- ▶ A luz é composta de corpúsculos de luz
- ▶ Corpos luminosos emitem os corpúsculos
- ▶ A luz se propaga no *eter*
- ▶ Os corpúsculos têm cores fixas

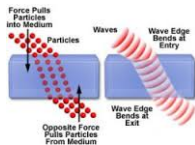


Propagação da luz segundo a teoria corpuscular de Newton.



Onda ou Partícula?

- ▶ Disputa acirrada
- ▶ Grande Prêmio da Academia Francesa de Ciências em 1819
- ▶ Problema: Difração
- ▶ Ganhador: Fresnel, explicação **ondulatória**

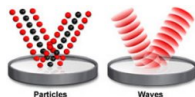


Explicação da refração pelas duas teorias.



Onda ou Partícula?

- ▶ Disputa acirrada
- ▶ Grande Prêmio da Academia Francesa de Ciências em 1819
- ▶ Problema: Difração
- ▶ Ganhador: Fresnel, explicação **ondulatória**

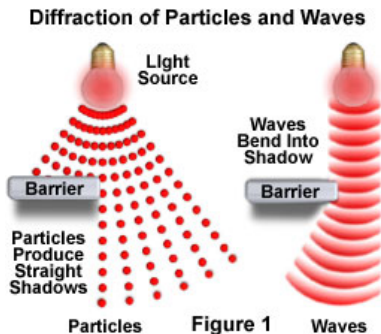


Explicação da reflexão pelas duas teorias.



Onda ou Partícula?

- ▶ Disputa acirrada
- ▶ Grande Prêmio da Academia Francesa de Ciências em 1819
- ▶ Problema: Difração
- ▶ Ganhador: Fresnel, explicação **ondulatória**



Problema da Difração!



Onda ou Partícula?

- ▶ Disputa acirrada
- ▶ Grande Prêmio da Academia Francesa de Ciências em 1819
- ▶ Problema: Difração
- ▶ Ganhador: Fresnel, explicação **ondulatória**

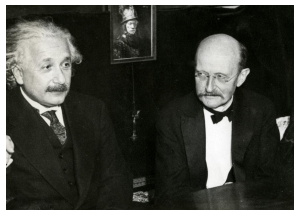


Augustin-Jean Fresnel (1788–1827).



Onda & Partícula

- ▶ 1900: Max Planck publica $E = h\nu$
- ▶ 1905: Albert Einstein explica efeito fotoelétrico.
 - ▶ A luz volta a ser considerada partícula!
- ▶ 1924: Luis de Broglie, bagunça total!



Einstein e Planck em 1931.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

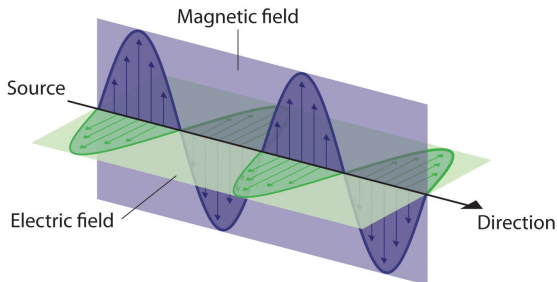
Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Natureza das ondas eletromagnéticas

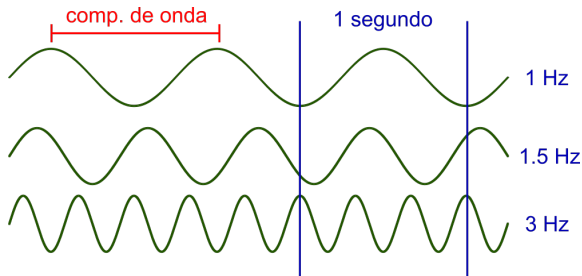
- ▶ Velocidade no vácuo = c (300 mil km/s)
- ▶ $v = \lambda\nu$



Onda eletromagnética



Comprimento de onda e frequência



Definições de comprimento de onda (λ) e frequência (ν).



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

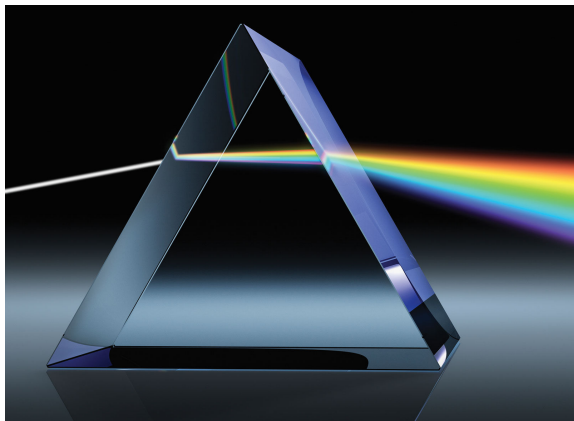
Bibliografia





Arco-íris revela o espectro eletromagnético.





Decomposição da luz por um prisma.
(na próxima aula estudaremos a refração)





Como se forma um arco-íris.

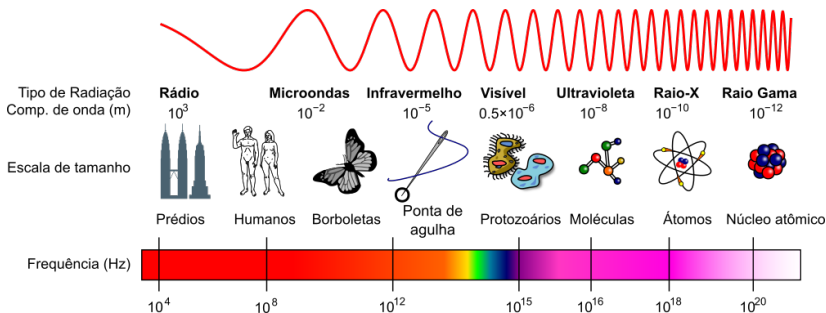




Newton foi o primeiro a explicar as cores. O efeito do prisma já era conhecido antes, mas acreditava-se que as cores eram **geradas** pelo prisma.



Cores



Espectro eletromagnético completo.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



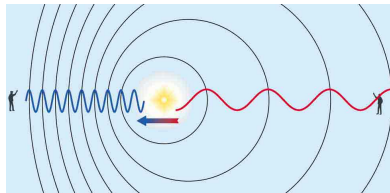
Efeito Doppler

$$\frac{\Delta\nu}{\nu_0} \approx \pm \frac{v_f}{c}$$

Onde:

- c : Velocidade da onda;
- v_f : Velocidade da fonte;
- ν_0 : Frequência original.

Assume-se que $v_f \ll c$; o observador está em repouso e que v_f é medida em relação ao meio de propagação.



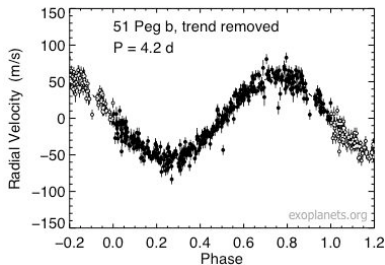
Efeito Doppler para a luz.



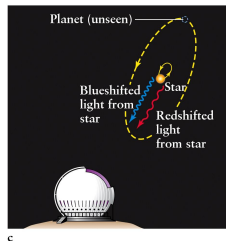
Exercício: 51 Peg b

Exercício 4.1

O primeiro exoplaneta, 51 Peg b, foi descoberto em 1995 por Michel Mayor e Didier Queloz usando Efeito Doppler. Com base no gráfico abaixo, publicado por eles, determine a variação na frequência da estrela devido ao movimento de aproximação do exoplaneta.



Curva de Velocidade Radial para 51 Peg.



Deteção de um movimento da estrela por causa do planeta.



Exercício: 51 Peg b

- ▶ Na aproximação a frequência aumenta, logo $\Delta\nu/\nu_o = v_f/c$.
- ▶ Pelo gráfico vemos que $v_{azul} \approx 50$ m/s.
- ▶ Assim, $\Delta\nu/\nu_o = 50/3 \times 10^8 = 1.7 \times 10^{-7}$
- ▶ Ou seja, uma variação ínfima!



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

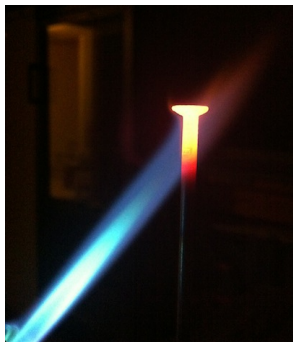
Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Um problema difícil

- ▶ Não se podia explicar a absorção e irradiação de corpos aquecidos;
- ▶ Max Planck propôs uma teoria revolucionária
- ▶ A energia absorvida/emitada, era quantizada: $E = h\nu$



O problema da absorção e irradiação de corpos aquecidos revolucionou a Física do séc XXI.



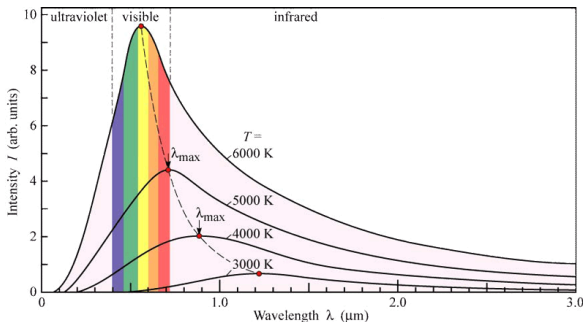
Equação de Corpo Negro

$$B_{\nu}(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Equação de Planck.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

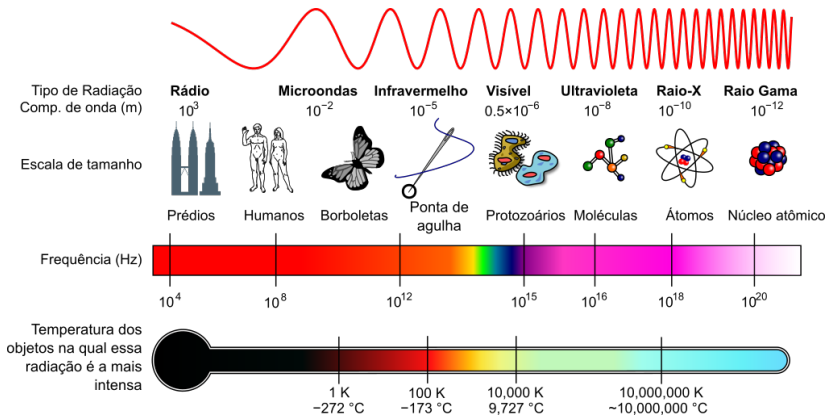
Lei de Wien.



Curvas de radiação segundo a lei de Planck.



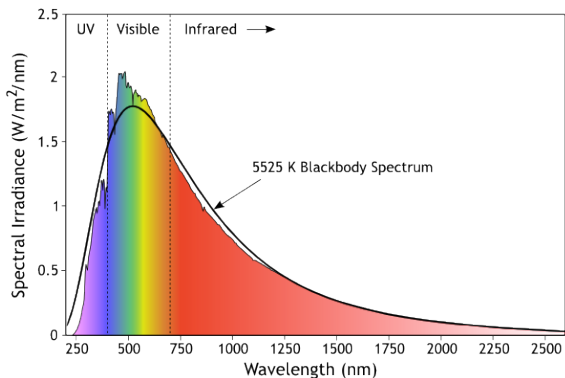
Cores e a lei de Planck



Pela lei de Planck, a cor está relacionada à temperatura da fonte.



Cores e a lei de Planck



Ajuste de corpo negro para o espectro do Sol.

Não faz muito sentido falar em temperatura **exata** do Sol.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

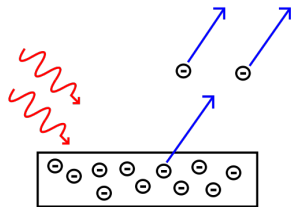
Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Efeito fotoelétrico

- ▶ e^- só são ejetados a partir de uma frequência específica
- ▶ e^- são ejetados imediatamente, ainda que a intensidade luminosa seja muito baixa
- ▶ A energia cinética dos e^- aumenta linearmente com a frequência da luz
- ▶ Conclusão de Einstein:
 - ▶ Aplica-se $E = h\nu$ de Planck
 - ▶ A luz é uma partícula: **fóton**.
- ▶ Revolução na Física!

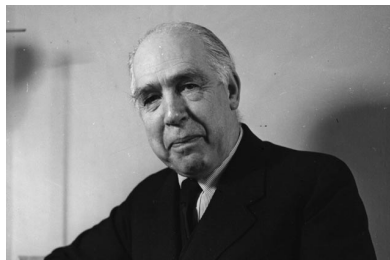


Fótons arrancam elétrons do metal.



Átomo de Bohr

- ▶ Niels Bohr
- ▶ 7/10/1885 – 18/11/1962
- ▶ Modelo atômico quantizado
- ▶ Mecânica quântica
- ▶ Interpretação de Copenhagen
- ▶ Instituto de Física
- ▶ Contribuição extensa mas difusa
- ▶ Bohrium: $Z = 107$

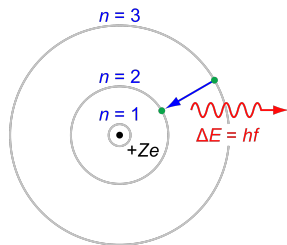


Niels Bohr



Átomo de Bohr

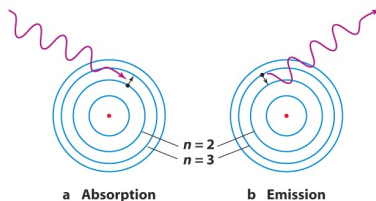
- ▶ Antes de Bohr:
 - ▶ Modelo de Rutherford
 - ▶ Problema com estabilidade da órbita: e^- acelerados irradiam.
- ▶ Postulados de Bohr:
 - ▶ Órbita circular, atração elétrica
 - ▶ Órbita quantizada ($L = n\hbar$)
 - ▶ e^- não irradia energia na órbita
 - ▶ $\Delta E = h\nu$



Modelo atômico de Bohr.



Átomo de Bohr



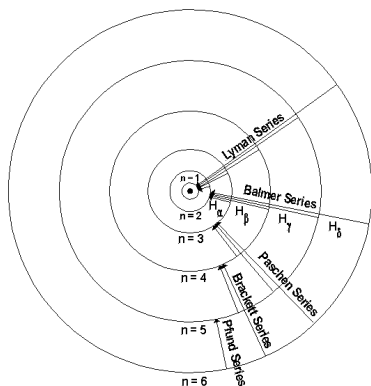
Absorção e emissão de luz segundo o modelo atômico de Bohr.

$$\frac{1}{\lambda} = R_{\infty} Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Equação empírica de Rydberg explicada teoricamente pelo modelo de Bohr.



Átomo de Bohr



Séries de transições para o Átomo de Hidrogênio.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Gustav Kirchhoff

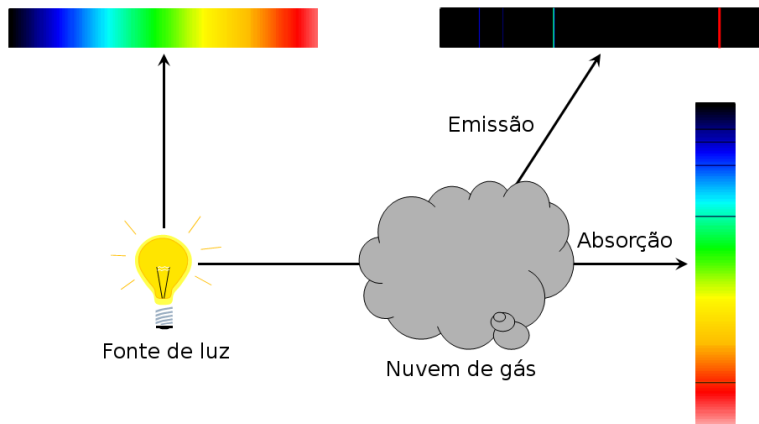
- ▶ Gustav Kirchhoff – Alemão
- ▶ 12/03/1824 – 17/10/1887
- ▶ Leis dos circuitos elétricos
- ▶ Leis da espectroscopia
- ▶ Mecânica dos fluidos
- ▶ Mecânica dos sólidos
- ▶ Óptica (difração)
- ▶ Matemática pura



Gustav Kirchhoff.



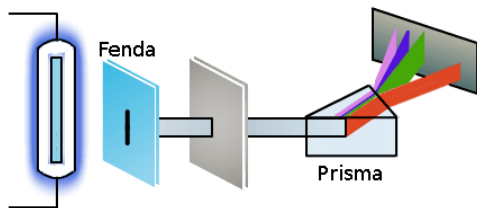
Leis de Kirchhoff para a luz



Leis de Kirchhoff para absorção e emissão de luz.



Espectroscopia



Tubo com H

Espectrógrafo: equipamento para obter um espectro.

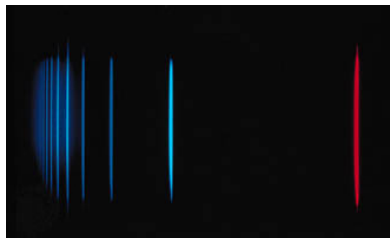
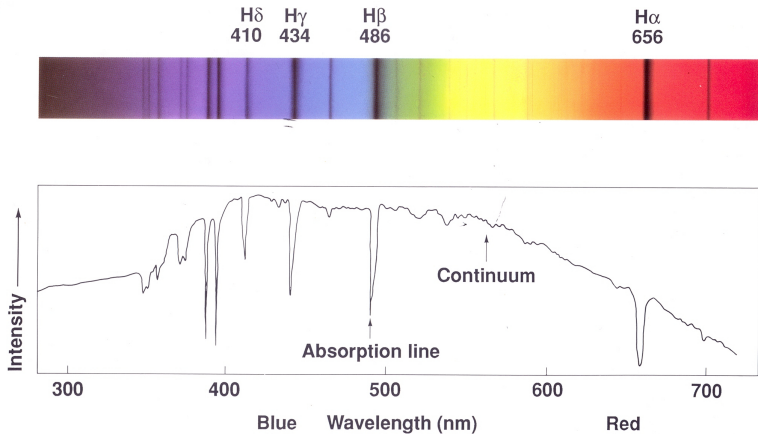


Imagem real da série de Balmer num espectrógrafo.



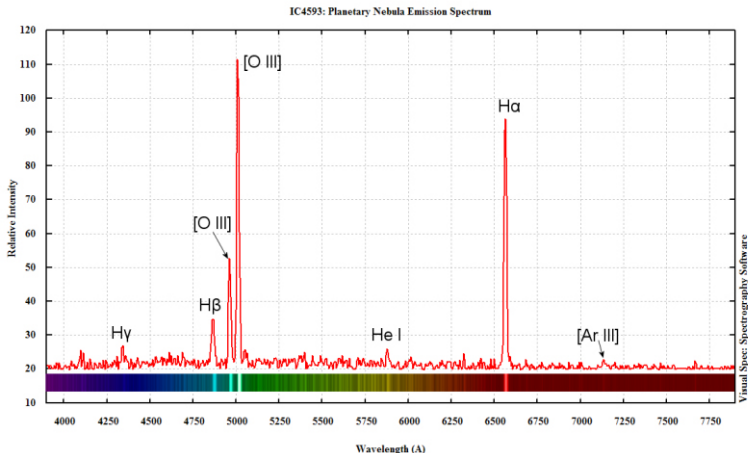
Espectroscopia



Espectro estelar: várias linhas de **absorção**.



Espectroscopia



Espectro de uma nebulosa (nuvem de gás): várias linhas de **emissão**.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

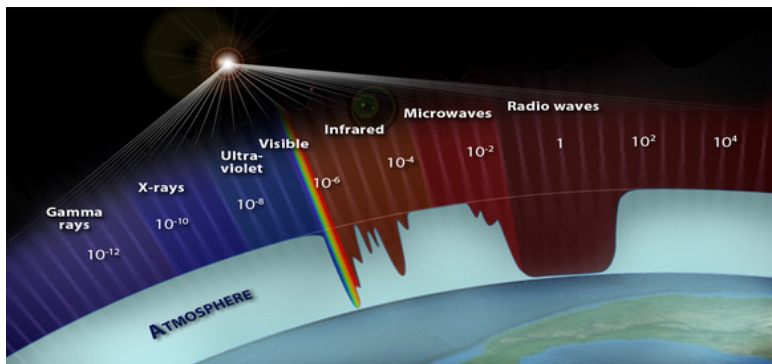
Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



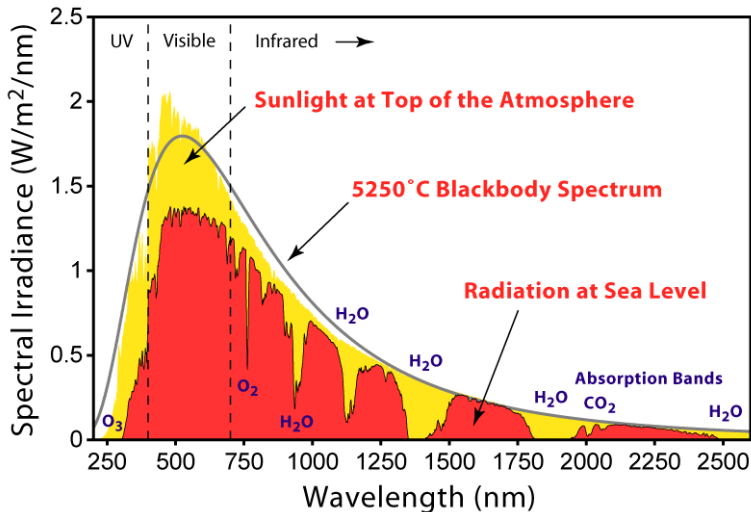
Opacidade da Atmosfera terrestre



Dependendo do comprimento de onda, a atmosfera terrestre pode ser opaca ou transparente.



Opacidade da Atmosfera terrestre



Efeitos da atmosfera terrestre na medição do espectro solar.



Índice

Dualidade onda-partícula

Onda eletromagnética

Espectro eletromagnético

Efeito Doppler

Corpo negro

Átomo de Bohr e a luz

Leis de Kirchhoff para a luz

Efeitos da Atmosfera na luz

Bibliografia



Fontes para estudo

- ▶ O céu que nos envolve, seções 2.2 e 7.2
- ▶ Curso de Astronomia do Prof. Steiner, aulas 6 e 7
- ▶ Várias seções em <http://astro.if.ufrgs.br/>



REALIZAÇÃO

