

Bloco 6

Atmosfera

Atualizado: 2012

Bibliografia

- Lêna, Cap. 2
- Walker, Cap. 2 (parte)

AST203

6-1

Para entender o efeito da atmosfera nas observações astronômicas, precisamos conhecer como é a atmosfera.

AST203

6-4

Introdução

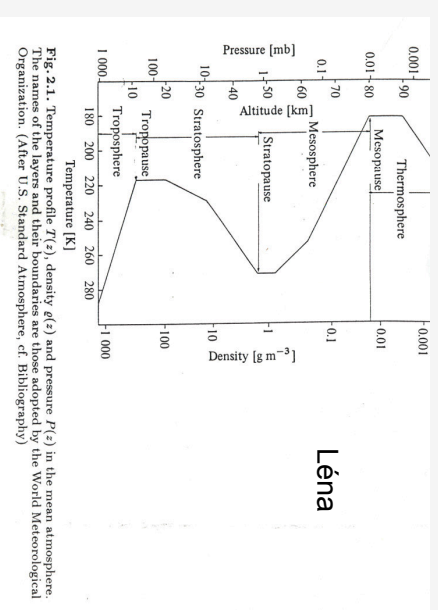
- A atmosfera interfere nas observações astronômicas pelos seguintes mecanismos:
 - ↳ absorção
 - ↳ emissão
 - ↳ espalhamento
 - ↳ degradação da imagem (que é, em última instância, um resultado de espalhamento)

para quantificar os efeitos acima é necessário conhecer a estrutura física e química da atmosfera

AST203

6-3

Estrutura vertical da atmosfera



$$P = P_0 e^{-\frac{Z}{H}},$$

com $H \approx 8 \text{ km}$

- Pressão e densidade diminuem exponencialmente com a altitude
- Temperatura não possui comportamento monótonico

AST203

6-5

Composição química

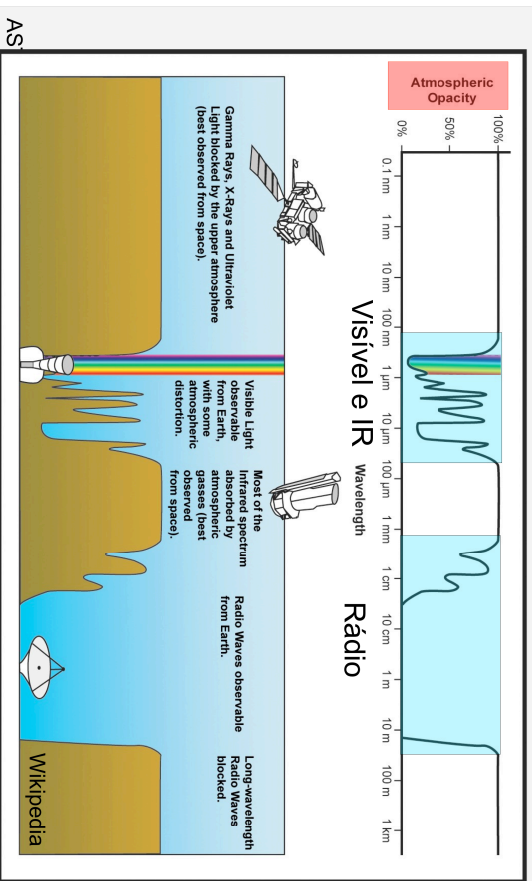
- componentes principais
 - ↳ O₂
 - ↳ N₂
 - ambos com fração relativa aproximadamente constante até 100km de altitude
- outros componentes
 - ↳ O₃ (UV)
 - ↳ H₂O (IR) e CO₂ (IR)
 - a água, por exemplo, pode estar na forma molecular ou em pequenas partículas
- razão de mistura: fração em massa de um dado constituinte por unidade de volume

AST203

6-6

Atenuação atmosférica

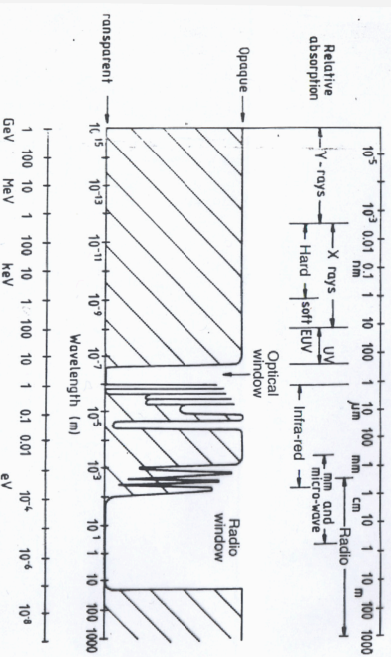
A atmosfera é opaca para a maior parte do espectro eletromagnético



AS

6-7

1.2 Absorption in the Earth's atmosphere



5

Smith

Fig. 1.1. The electromagnetic spectrum, showing the absorption by the Earth's atmosphere. At the Earth's surface only radiation in the radio, infrared and optical windows can be detected. The divisions between the various named wavebands are somewhat arbitrary, and there is some overlap in usage. The wavelength scale is shown at the top of the diagram in the units normally employed in the wavebands shown below them. At the very shortest wavelengths it is more common to describe photons by their energies, shown on the lowermost scale. Even above the atmosphere, the interstellar medium in our Galaxy effectively cuts out radiation in the EUV and soft X-ray region, and is also opaque to the very lowest energy radio waves and the very highest energy gamma-rays.

AST203

6-8

- A atenuação é composta por absorção e espalhamento

↳ extinção = absorção + espalhamento

- Em termos da continuidade em comprimento de onda, a atenuação atmosférica pode ser:

↳ contínua

→ ionização - absorção

→ dissociação molecular – absorção

→ espalhamento Rayleigh ou Mie

↳ discreta

→ transições atômicas e moleculares - absorção

A absorção discreta pode ocorrer mesmo dentro das janelas de pouca absorção contínua que ocorrem no óptico, infravermelho e rádio

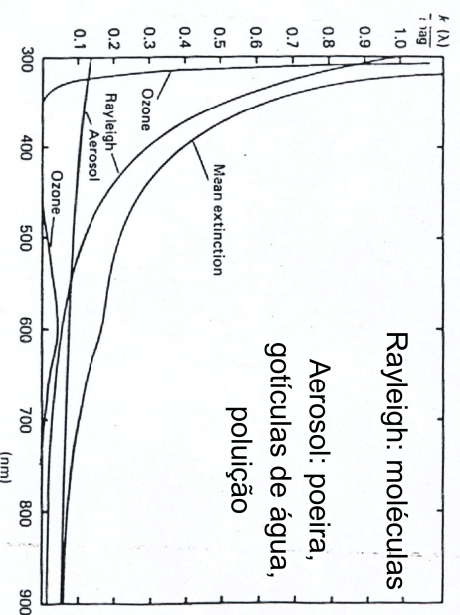
AST203

6-9

Extinção contínua – na região óptica

Walker

Fig. 2.10 The mean vertical extinction in magnitudes at Flagstaff, Arizona, for 1976 May–June. The assumed contributions of ozone, aerosols, and Rayleigh scattering to the extinction are shown separately. (Published with permission from [388].)



se tem espalhamento, a radiação não desaparece, apenas muda de direção

AST203

6-10

Dependência espectral da seção de choque de extinção

- Sendo a o tamanho da partícula
 - ◊ $a \ll \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^{-4}$ – Rayleigh (apenas espalhamento)
 - ◊ $a \approx \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^{-1}$ – extinção (absorção + espalhamento)
 - ◊ $a \gg \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^0$ – espalhamento cinza
- Se existe ou não absorção é também função da composição do material que determina o índice de refração

AST203

6-11

Absorção discreta – região óptica

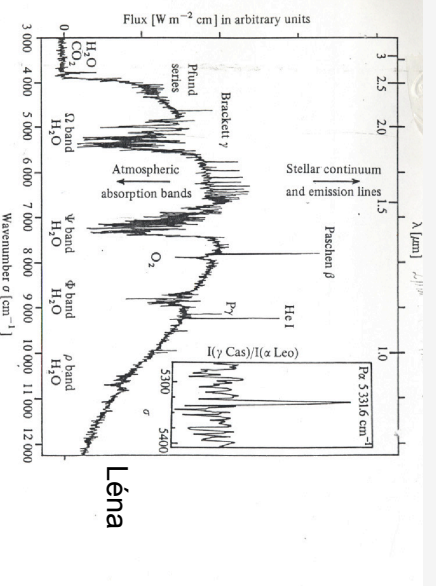


Fig. 2.6. Infrared absorption and spectroscopy: the spectrum of the star γ Cas. The spectrum was obtained using the 3.6 m Canada-France-Hawaii Telescope at the summit of Mauna Kea, Hawaii, U.S.A. (4200 m) with a Fourier transform spectrometer (Sect. 7.2.4), in the near-infrared atmospheric transmission window, with a resolution of $\Delta\sigma = 0.5 \text{ cm}^{-1}$. [A. Chahabov, Thesis Université Paris VII (1984). See Chahabov A., Marillat J.P., Ap. J. 294, 640, 1985]. The atmospheric absorption bands are indicated. The star has both a continuum and emission lines (mainly H recombination lines). The inset shows the 3–4 Paschen α line (5332.6 cm⁻¹) extracted from a heavily absorbed part of the spectrum: the spectrum of γ Cas was divided by the transmission spectrum to minimize the atmospheric bands. As observed directly (see B7) also has bright green lines. The absolute value of F_α is not significant; observation of $P\gamma$ would be impossible from a lower site.

AST203

31



6-12

Quantificando a absorção

- A profundidade óptica produzida por uma dada constituinte i , τ_i , a uma altura z_0 em um dado comprimento de onda λ pode ser escrita como:

$$\tau_i(\lambda, z_0) = \int_{z_0}^{\infty} \tau_i(z) \rho_o(z) k_i(\lambda) dz$$

- onde:
 - ◊ $\rho_o(z)$ é a densidade atmosférica na altura z ;
 - ◊ $k_i(\lambda)$ é o coeficiente de absorção em massa;
 - ◊ $\tau_i(z_0)$ é a razão de mistura do constituinte i na altura z :

$$\tau_i(z) = \frac{\text{massado constituinte } m^{-3}}{\text{massado } m^{-3}}, [g \text{ kg}^{-1}]$$

AST203

6-13

- Definida a profundidade óptica e considerando a aproximação plano-paralela, a atenuação da intensidade de uma fonte astronômica observada na altitude z_0 e por um ângulo θ em relação ao zênite pode ser escrita como:

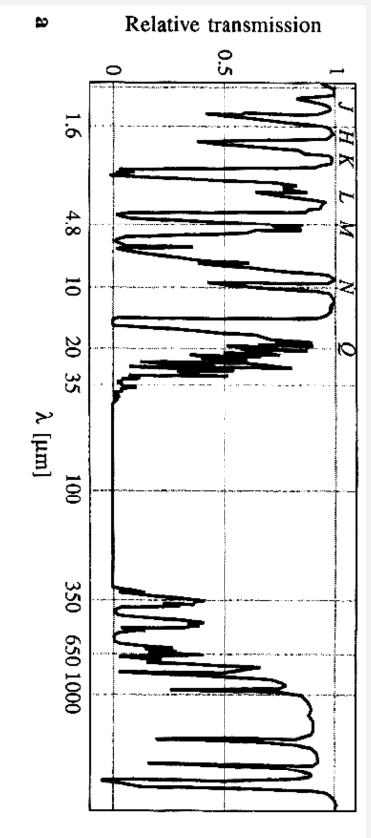
$$\frac{I(z_0)}{I_0(\infty)} = \exp \left[-\frac{1}{\cos\theta} \sum_i \tau_i(\lambda, z_0) \right]$$

onde:

$\diamond I_0(\infty)$ é a intensidade original da fonte;

profundidade óptica total

$\diamond \theta$ é a distância zenital (ângulo entre o zênite e a direção em questão)



Lêna Fig. 2.9: a Transmissão atmosférica, altitude 4.200m

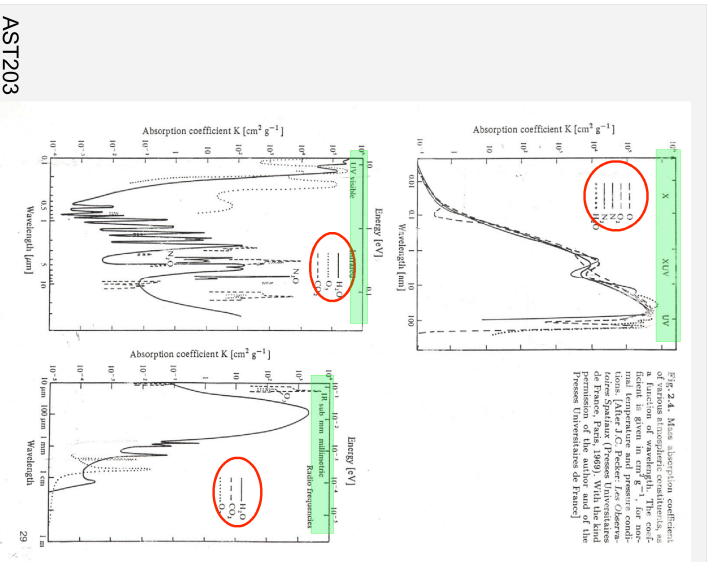


Fig. 2.4. Mass absorption coefficient of various atmospheric constituents, as a function of wavelength. The coefficient is given for a standard sea level, normal temperature and pressure conditions. (After C.C. Packer, *Forme climatiques de France*, Paris, 1969). With the kind permission of the author and of the Press (Universities of France)

Coefficientes de absorção de constituintes da atmosfera por região do espectro eletromagnético

Fig. 2.11 Atmospheric transmission in the infrared between 1 μm and 500 μm for differing amounts of precipitable water above a site. (Published with permission from [259].)

Walker

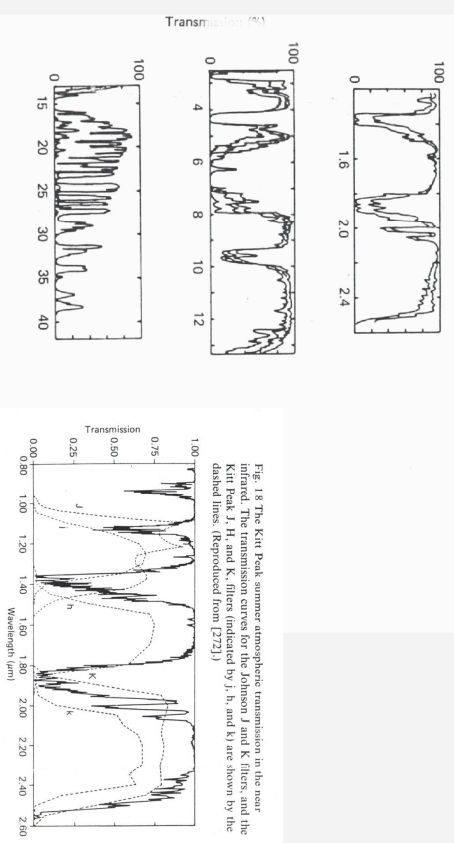


Fig. 1.8 The Kitt Peak summer atmospheric transmission in the near infrared. The transmission curves for the Johnson J and K filters, and the Kitt Peak J, H, and K filters (indicated by j, h, and k) are shown by the dashed lines. (Reproduced from [272].)

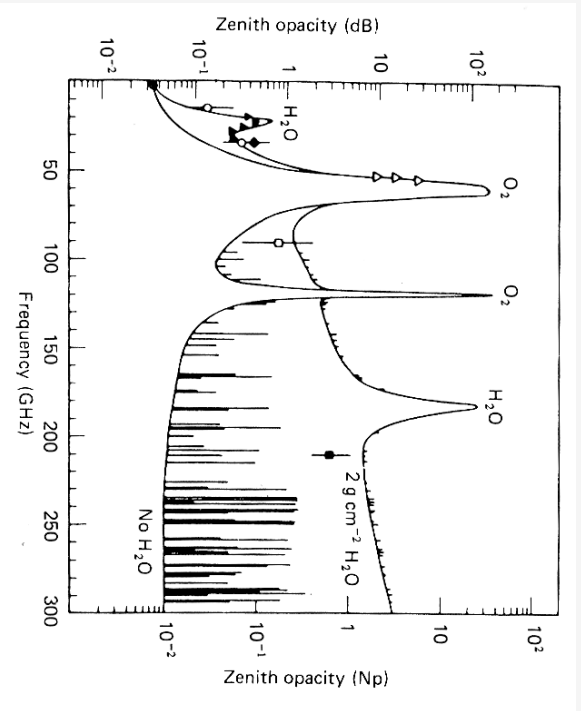
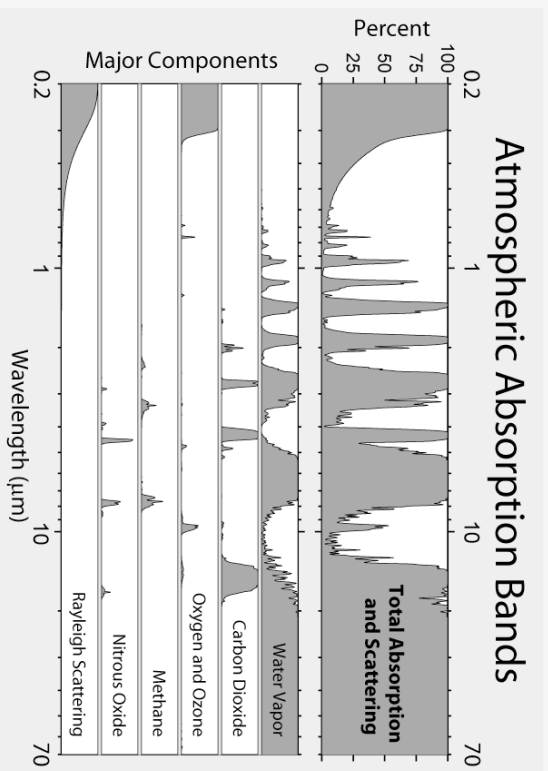


Fig. 2.12 - Walker - Atenuação atmosférica na região milimétrica

AST203

6-19



<http://www.csmnitor.com/Environment/Bright-Green/2009/06/10/a-primer-on-the-science-of-global-warming>

AST203

6-21

Principais absorvedores

H ₂ O	bandas vibracionais no IR bandas rotacionais no mm
O ₂	bandas rotacionais no mm transições eletrônicas no UV próximo ionização no UV - contínuo
CO ₂	bandas rotacionais no sub-mm bandas vibracionais no IR
O ₃	transições eletrônicas no UV
N ₂	ionização no UV distante

AST203

6-20

mm	bandas rotacionais	O ₂
IR e sub-mm	bandas vibracionais e rotacionais	H ₂ O CO ₂
near UV	transições eletrônicas	O ₂
UV	ionização	O ₃ e O ₂ N ₂

AST203

6-22

Table 5.1. Example Atmospheric Extinction Values (Magnitudes)

Altitude	Airmass	3000 Å	3500 Å	4000 Å	4500 Å	5000 Å	5500 Å	6000 Å	6500 Å	7000 Å	8000 Å	9000 Å	10000 Å
90	1.00	1.2	0.65	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
75	1.04	1.2	0.65	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
60	1.15	1.3	0.75	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
45	1.41	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
30	1.99	2.3	1.3	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
20	2.90	3.3	1.55	1.2	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
15	3.82	4.4	2.5	1.6	1.1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
10	5.60	6.4	3.65	2.3	1.6	1.2	1.1	1.0	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3
5	10.21	11.8	6.7	4.2	2.9	2.2	1.9	1.7	1.4	1.1	0.8	0.7	0.6

Altitude: 2200m acima do nível do mar

Howell – Handbook of CCD Astronomy

AST203

6-23

Absorção em baixas frequências

- As camadas mais altas da atmosfera são ionizadas (devido principalmente à radiação solar)
- Esse plasma pode refletir completamente a radiação a baixas frequências

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_p^2}$$

- Assim, para frequências abaixo de um dado limite definido pela densidade eletrônica da camada atmosférica ocorre reflexão total. Essa camada é portanto completamente opaca para essas frequências.

AST203

6-25

Índice de refração de um plasma

O índice de refração de um plasma pode ser definido como:

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_p^2}$$

onde $\omega_p = 2\pi \nu_p = 2\pi c/\lambda_p$ é a frequência de plasma.

$$\nu_p [Hz] = \frac{\omega_p}{2\pi} = \sqrt{\frac{N_e e^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m}} = 8.97 \cdot 10^3 N_e^{1/2}$$

onde N_e [cm⁻³] é a densidade eletrônica

ϵ_0 é a permissividade do vácuo

m é a massa do elétron

e é a carga do elétron

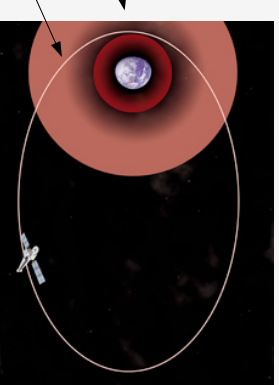
AST203

6-24

Astronomia espacial

- Acima de 12 km (aviões)
 - ◊ IR e sub-mm: observação possível devido a diminuição da coluna de água
- Entre 30 e 40 km (balões)
 - ◊ altas energia e também infravermelho (vide experimentos astronômicos realizados pelo setor de lançamentos de balões da DAS)
- Satélites
 - ◊ Exemplo:
 - Spitzer (100.000 km)
 - Chandra (133.000 km)
 - MIRA-X (550 km)

Cinturões de Van Allen



Site do Chandra

AST203

6-26

Emissão atmosférica Fundo de céu

- O fundo de céu é composto por:
 - ◊ emissão da atmosfera – contínuo e discreto
 - ◊ espalhamento na atmosfera de fontes externas - contínuo
- O fundo de céu afeta a qualidade dos dados (enquanto um ruído aditivo) e coloca um limite no brilho mínimo de um objeto que pode ser observado/detectado
- A emissão pode ser:
 - ◊ térmica (domina no infravermelho) - **contínua**
 - ◊ airglow = fluorescência (**linhas** no espectro do intervalo óptico)
 - decaimento de excitação/ionizada provocada por
 - radiação solar
 - raios cósmicos
 - reações químicas

AST203

6-27

Fluorescência

↓
 radiação solar
 ↓
 ionização das camadas externas da atmosfera
 ↓
 recombinação
 (que pode ocorrer depois de horas da excitação)
 ↓
 densidade baixa ($z > 100$ km) decaimento por linhas de emissão
 ↓
 airglow
 OI, NaI, O₂, OH e H

AST203

6-28

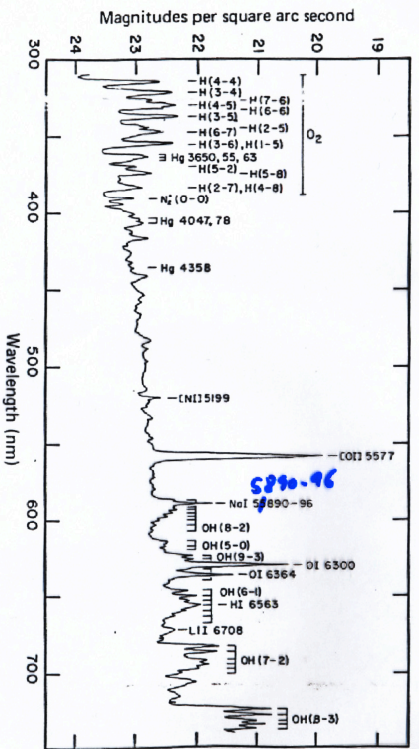


Fig. 2.13 A typical night sky spectrum between 330 nm and 1000 nm from a dark, ground based site. (Published with permission from [79].)

Walker

AST203

6-29

Emissão térmica

- Se $\tau_\lambda < 1$:
 - ◊ onde T é temperatura da atmosfera
- $I_\lambda(z) = \tau_\lambda B_\lambda(T)$ sec θ
- domina o IR e mm, intervalo onde a emissão é máxima
- mede a coluna de água na atmosfera, h
- funciona a partir do registro da emissão em dois comprimentos de onda, λ_1 e λ_2
- ◊ λ_1 , banda H₂O (IR próximo), $\tau < 1$
- ◊ λ_2 , contínuo no IR médio, $\tau \gg 1$

Exercício

$$\frac{I_1}{I_2} = \kappa_{\lambda_1} \rho h$$

AST203

6-30

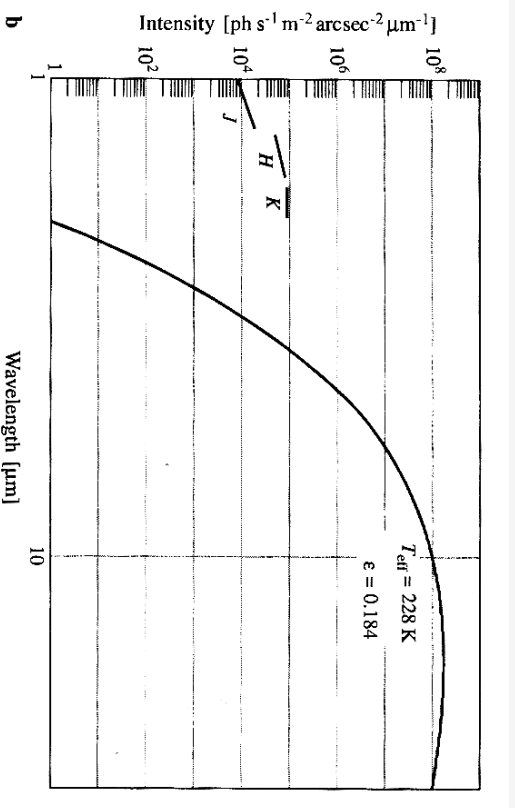
Higrômetro

- Fiz uma pesquisa e aparentemente os higrômetros trabalham de um modo diferente do que aparece no Lêna
- Utilizam uma fonte de fundo (Sol ou Lua) e medem a intensidade em dois comprimentos de onda muito próximos
 - ◊ 1 - em uma janela de transmissão (assim a intensidade é da fonte)
 - ◊ 2 - em uma banda de absorção

AST203

6-31

Lêna - Fig. 2.9: b. Brilho do céu, em Mauna Kea, 4.200m
Limite máximos de emissão do radical OH nas bandas J, H e K.



AST203

6-33

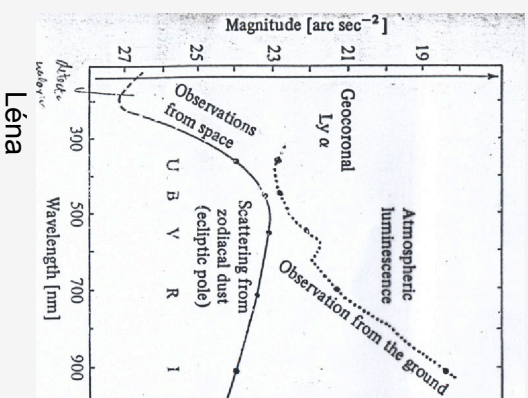


Fig. 2.9
Visible and ultraviolet magnitudes of the sky background per square arc second for observations from the ground and from space near the Earth. Note the intensity of the geocoronal hydrogen Lyman α line ($\lambda=121.6$ nm) ($\sim 7 \times 10^{-3}$ photon $s^{-1} cm^{-2} arcsec^{-2}$). The letters denote the spectral bands of the photometric system (Sect. 3.3) at the points (•). At wavelengths greater than 400 nm a monochromatic illumination of 10^{-7} photon $s^{-1} cm^{-2} nm^{-1} arcsec^{-2}$. [After G. Courtes: *personal communication*; H.E. Smith, E.M. Burlidge: *Ap J*, 210, 629 (1979); C. Leinert: *Sp. Sci. Rev.* 18, 281 (1975); F. Marchetto et al.: in ESA Special Publication 1028 (European Space Agency, Paris 1983)]

AST203

6-32

Espalhamento na atmosfera

- redistribuição angular da radiação incidente
- luz difusa: diurna e noturna
- fontes de radiação
 - ◊ Sol
 - ◊ Lua
 - ◊ luzes “humanas”
- dependência espectral. Sendo a o tamanho da partícula
 - ◊ $a \ll \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^{-4}$ – Rayleigh (apenas espalhamento)
 - ◊ $a \approx \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^{-1}$ – extinção (absorção + espalhamento)
 - ◊ $a \gg \lambda \Rightarrow \sigma \propto \lambda^0$ – espalhamento cinza

AST203

6-34

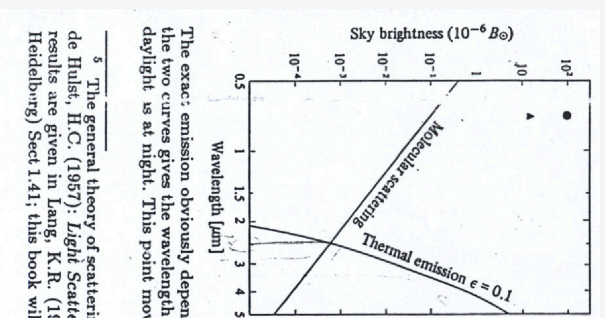


Fig. 2.1.1. Contributions to the sky brightness in the visible and near infrared. The daytime Rayleigh scattered intensity from molecules is given for the altitude $z = 20000$ m, at 90° from the Sun. The wavelength dependence is λ^{-4} , and ignores the correction due to the variation of the refractive index with λ . The sky brightness from a good site (Kit Peak National Observatory, Arizona, U.S.A.) is marked (\blacktriangle) as well as the sky brightness at 0.5 arcmin from the Sun's limb (\bullet) at the same site. The excess sky brightness over the contribution of Rayleigh scattering is due to aerosols (measurements by the author). The thermal emission is derived from the following parameters: average temperature of the atmosphere $T = 300$ K, brightness temperature of the Sun $T_0 = 5770$ K (as the Sun is not a black body — see Aq, p. 172), atmospheric emissivity $\epsilon = 0$

The exact: emission obviously depends on the quantity of precipitable water. The crossing the two curves gives the wavelength above which observations can as easily be carried out daylight as at night. This point moves to the right as the quantity of aerosols increases

The general theory of scattering by small particles can be found in the classic book of Hulst, H.C. (1957): *Light Scattering by Small Particles* (Wiley, New York). Some useful results are given in Lang, K.R. (1980): *Astrophysical Formulae*, 2nd ed (Springer, Berlin Heidelberg) Sect 1.41; this book will be referred to in the following as AF.

Como fugir do fundo de céu?

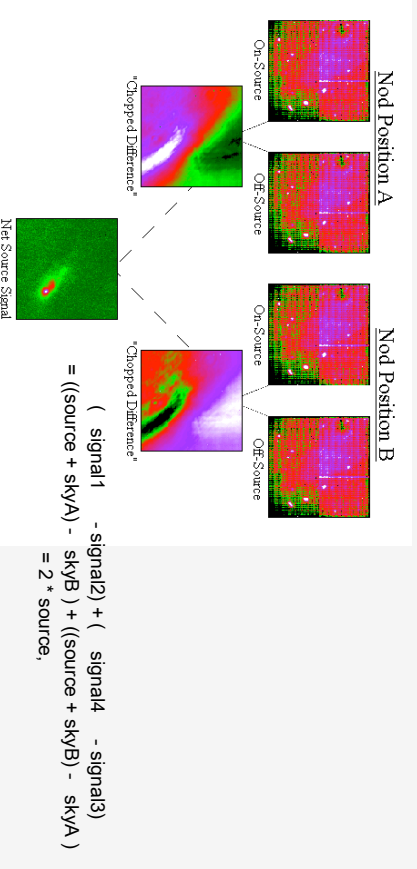
- A idéia básica é estimar o fundo com observações independentes da medida da fonte
- Medidas diferenciais com uma fonte de referência observada simultaneamente (ou quase)
 - ↳ fotometria diferencial
 - ↳ subtração do céu em espectroscopia
- Diminuição do tamanho da imagem (=melhor resolução espacial) da fonte diminui contribuição do fundo de céu (ótica adaptativa, telescópios espaciais)

Sky chopping

- ↳ o fundo do céu no infravermelho domina as contagens. É como se fosse dia 24h!
- O *sky chopping* (*chop* ~ alternar rapidamente) é uma técnica usada por telescópios no infravermelho para eliminar o fundo do céu
 - ↳ O espelho secundário é movido rapidamente (alguns Hz) entre a posição da fonte e uma próxima que não contenha outros objetos, sendo uma imagem obtida em cada posição
 - ↳ A subtração das duas imagens fornece a imagem da fonte

Nodding the telescope

- O *sky chopping* não é o suficiente para descontar corretamente o céu no IR médio, pois o caminho dos dois feixes não é o mesmo. Assim, se faz um "balanço" (nod) do telescópio



<http://www.gemini.edu/sciops/instruments/oscil/oscil/Chop.html>

Turbulência atmosférica

- A distribuição de densidade da atmosfera varia no tempo e no espaço
 - ↳ flutuações espaciais: de km a mm
 - ↳ flutuações temporais: podem ser tão rápidas quanto ms
 - ↳ movimentos de convecção
 - ↳ ventos
- Como resultados temos:
 - ↳ a cintilação e o seeing

AST203

6-39

Cintilação

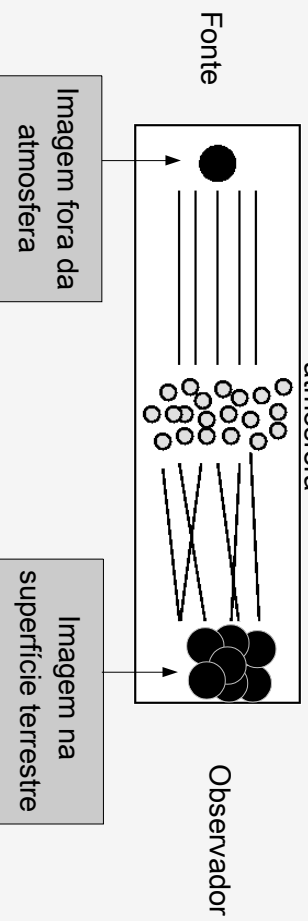
- Variação rápida no tempo do fluxo observado
- Ocorre devido à variação da massa de ar
 - ↳ Se luz do objeto atravessa mais material, maior é a extinção
- Importante tanto em rádio quanto no óptico

AST203

6-40

Seeing

- Variação rápida na direção observada do objeto
 - ↳ atmosfera é composta de células turbulentas de diferentes temperaturas
 - ↳ o índice de refração (e portanto a refração) varia com a temperatura
 - ↳ movimento turbulento (rápido) dessas células leva à variação da imagem do objeto
- Importante no óptico



AST203

6-41



Wikipedia

- Imagens sucessivas da Lua
- a diferença resulta do seeing

AST203

6-43

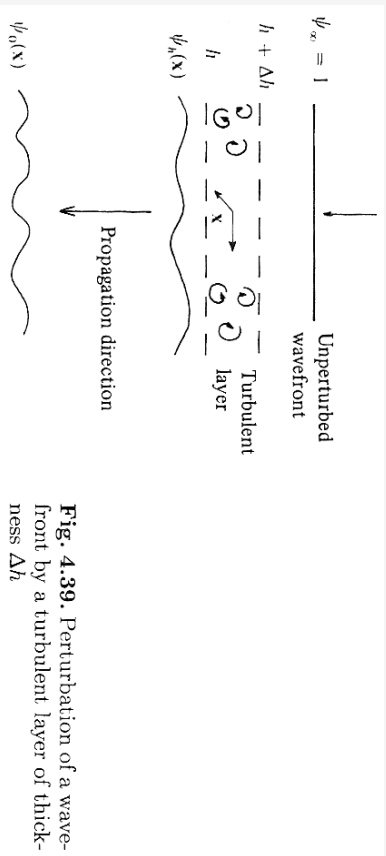


Fig. 4.39. Perturbation of a wavefront by a turbulent layer of thickness Δh

Léna

Óptica adaptativa visa diminuir efeito da distorção da frente de onda - esperem aula sobre telescópios

AST203

6-44

Qualidade dos sítios observacionais

- ausência de nuvens
 - ↳ se sítio está em altitudes altas, acima da camada de inversão
- qualidade fotométrica
 - ↳ estabilidade da imagem (vide figura)
 - relevo em torno do sítio determina turbulência da atmosfera e assim qualidade da imagem
- transparência no IR e mm
 - ↳ umidade relativa baixa
- interferência humana
 - ↳ poluição luminosa
 - ↳ interferência em rádio

AST203

6-45

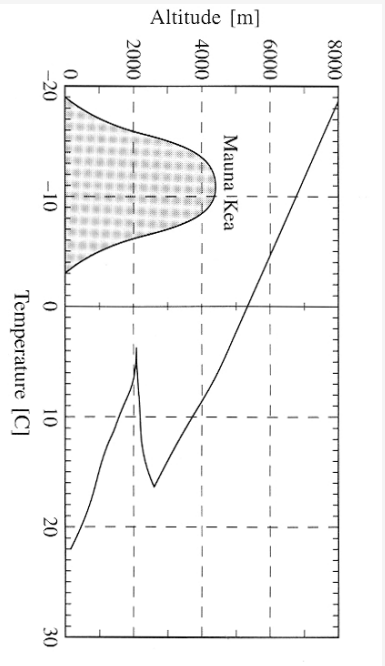
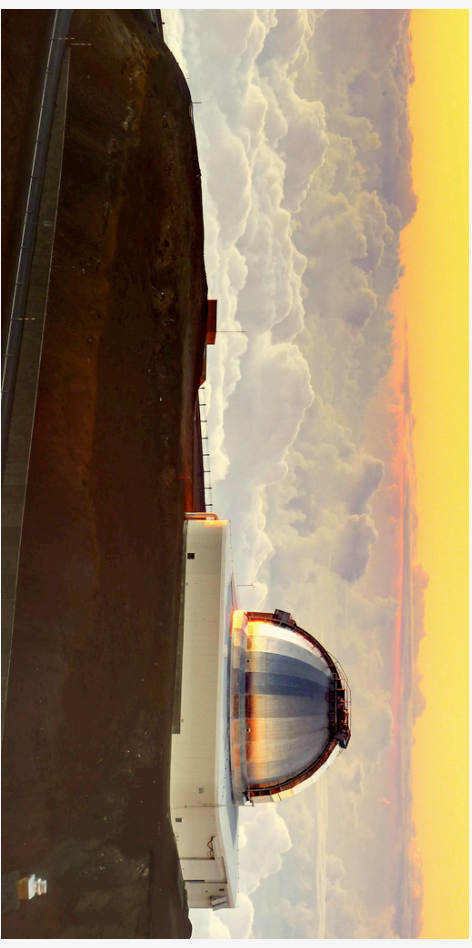


Fig. 2.16 (Léna): Sítio astronômico acima da camada de inversão: nuvens ficam abaixo no observatório.

AST203

6-46



Mauna Kea

<http://apacificview.blogspot.com.br/2010/08/busting-inversion-layer.html>

AST203

6-47

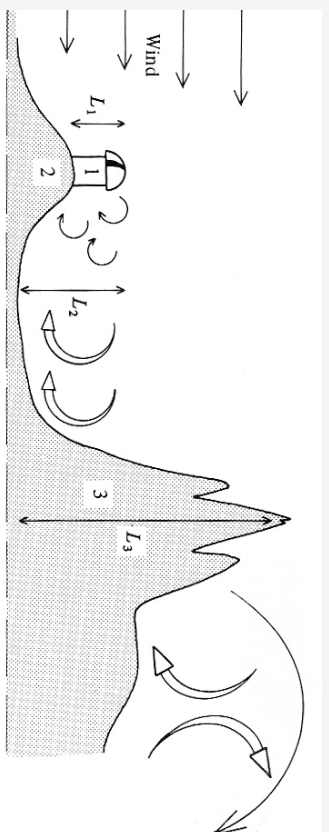


Fig. 2. 13 (Léna): Turbulência atmosférica causada pelo relevo.
Note que pontos de altitude máxima em uma região estão sujeitos a menor turbulência.