

Atmosfera terrestre

Parte 2

Tibério B. Vale

Depto. Astronomia, IF, UFRGS

FIP10104-Técnicas Observacionais e Instrumentais

Sumário

- Emissão Atmosférica
 - Emissão por Fluorescência
 - Emissão Térmica
- Espalhamento de radiação

Emissão Atmosférica

- Saber discriminar emissões atmosféricas das fontes astronômicas é uma das principais limitações das observações em solo (seja no visível, infravermelho ou regiões milimétricas)
- Precisamos saber não apenas suas dependências de intensidade e comprimentos de onda, mas também suas possíveis flutuações espaciais e temporais.

Emissão Fluorescente

- Durante o dia: reações de foto-dissociação (causadas pela radiação solar).
- A recombinação $e^- + íons \Rightarrow$ emissão de fótons. Durante o dia o espalhamento atmosférico mascara esses fótons, mas à noite este efeito se torna mais importante.
- Só ocorre acima de 100km de altitude (onde a baixa densidade possibilita desexcitação não colisional)
- Principais Emissores: OI , NaI , O_2 , OH e H .
- Intensidade da emissão medida em Rayleigh:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Rayleigh} &= 10^6 \text{ photons cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \\ &= \frac{1.58 \times 10^{-11}}{\lambda[\text{nm}]} \text{ W cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \end{aligned}$$

Emissão Fluorescente

Table 2.2. Atmospheric emission (after B.M. MacCormac, 1971)

λ [nm]	Emitter (state)	Altitude [km]	Intensity [Rayleigh]	Process ^a
102.5	H Ly β	200	10	R
121.6	H Ly α	10 ² -10 ⁵	2 000	R
260-380	O ₂ A ³ Σ_u^+	90	600	C
500-650	NO ₂	90	1 R \AA^{-1}	C
557.7	O ¹ S	90-300	250	C, I
589.3	Na ² P	90	20-150	C
630	O ¹ D	300	10-500	I
761.9	O ₂	80	6 000	C

^a R: resonant scattering. C or I: chemical or ionic reaction. \AA denotes the old *Angstrom* unit, 1 \AA =0.1 nm.

- Emissões do céu variam pouco com a latitude
- Presença de linhas de emissão de *H* causadas por espalhamento ressonante da luz solar em maiores altitudes. No infravermelho, *OH* se torna mais importante.

Emissão Fluorescente

- O Telescópio Hubble (600km altitude) detecta emissão do céu:
 - emissão geocoronal $Ly \alpha$ (1216Å) 3 – 20kR, atrapalhando as observações do Hubble.
 - emissão do OI (somente durante o dia) 5kR.
 - emissão contínua devido a espalhamento zodiacal (poeira do sistema solar).
- Limite de observação de objetos tênues é demarcado pela emissão intrínseca do céu noturno.
- É claro que temos vantagens ao se fazer observações direto do espaço mas ainda assim existe uma radiação de fundo devida a poeira no sistema solar (para observações em solo, ótica adaptativa é uma possível saída).

Emissão Fluorescente

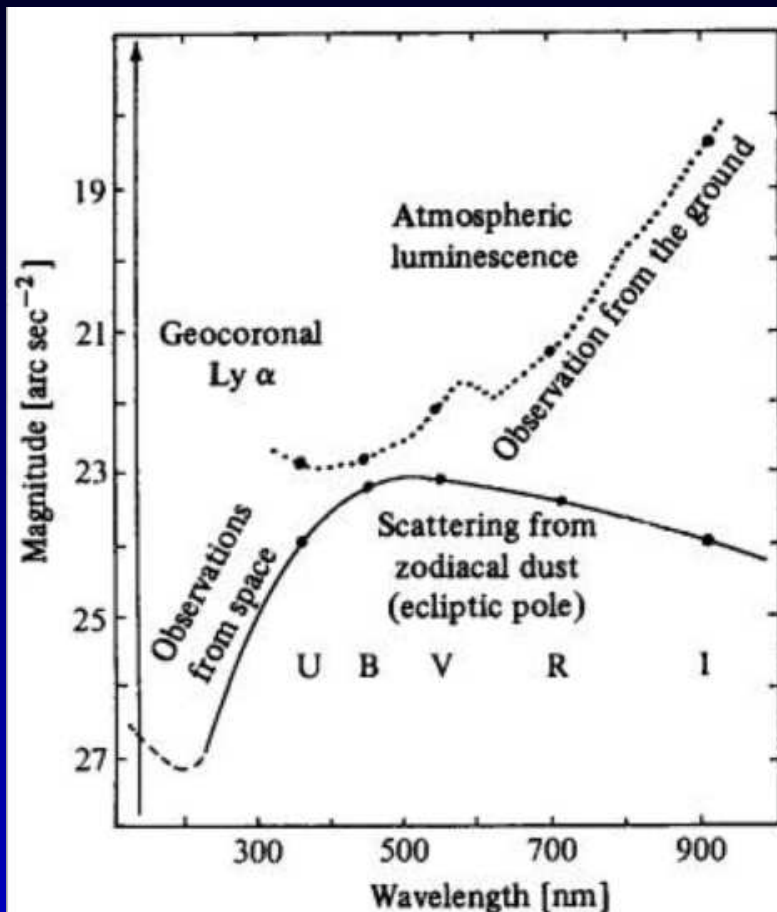


Fig. 2.8. Visible and ultraviolet magnitudes of the sky background per square arc second, for observations from the ground and from space near the Earth. Letters denote the spectral bands of the photometric system (cf. 3.3), corresponding to the points (•). [After Courtès G., personal communication; Smith H.E., Burbidge E.M., *Ap. J.* **210**, 629, 1979; Leinert C., *Sp. Sci. Rev.* **18**, 281, 1975; Machetto F. et al, *ESA-SP 1028*, 1980, European Space Agency]

- Na ótica adaptativa, reduz-se a área de céu coletada com objeto, aumentando o contraste e melhorando a detecção.

Emissão Térmica

- Atmosfera até:
 - 40-60km: pode ser considerada um gás em Equilíbrio Termodinâmico Local (devido a sua densidade)
 - acima de 60km: baixa densidade, poucas colisões entre constituintes.

- Aproximação da Intensidade de radiação a altitude z e distância zenital θ quando a profundidade ótica é fina ($\tau_\lambda \ll 1$):

$$I_\lambda(z) \approx \tau_\lambda B_\lambda(\bar{T}) \frac{1}{\cos \theta}$$

onde $B_\lambda(\bar{T})$ é a função de Planck à temperatura média \bar{T} .

- Comprimentos de onda nos quais $\tau_\lambda \ll 1$ e $B_\lambda(\bar{T})$ não seja desprezível:
 - infravermelho próximo: 1 a 20 μm
 - milímetros: 0.5 a 2 mm

Emissão Térmica

Table 2.3. Mean thermal emission of the atmosphere

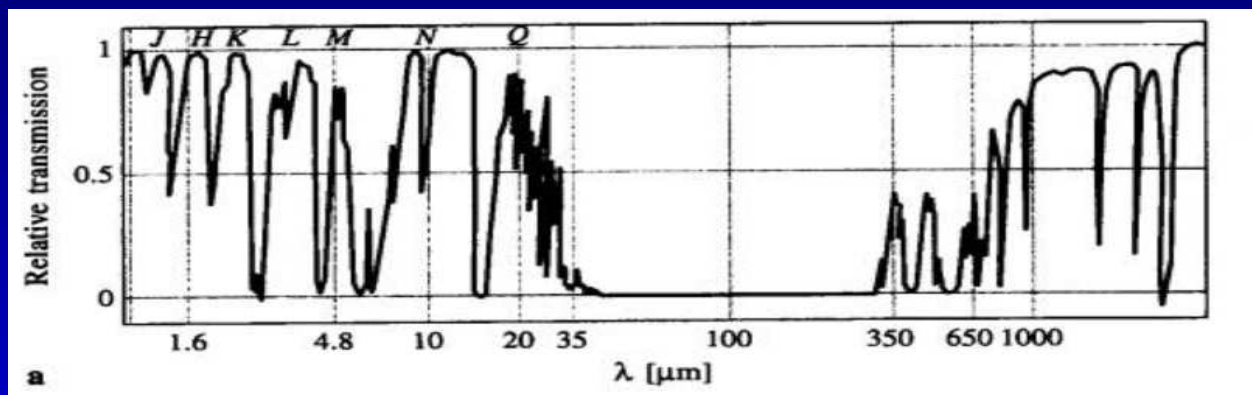
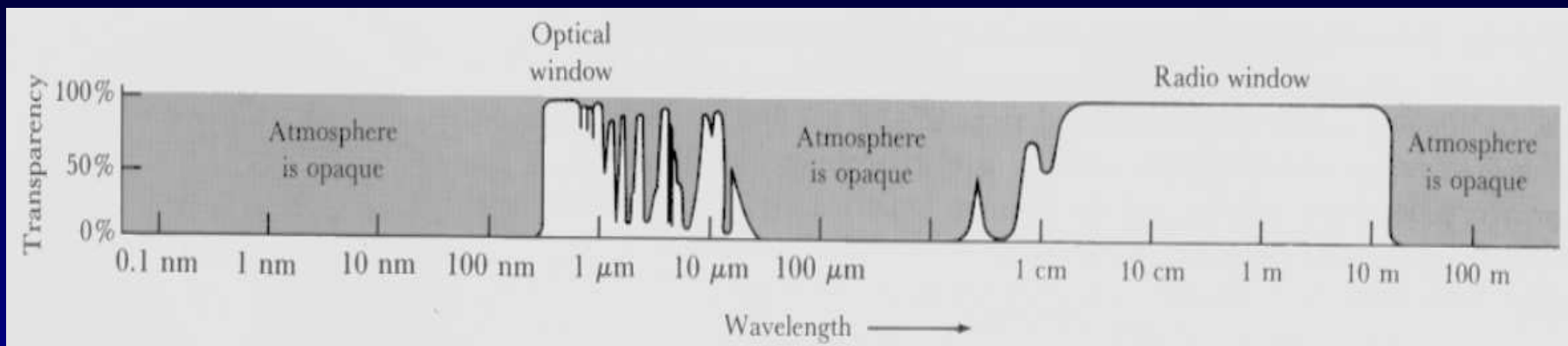
Spectral band (cf. Sect. 3.3)	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>Q</i>
Mean wavelength [μm]	3.4	5.0	10.2	21.0
Mean optical depth τ	0.15	0.3	0.08	0.3
Magnitude [arcsec ⁻²]	8.1	2.0	-2.1	-5.8
Intensity [Jy arcsec ⁻²] ^a	0.16	22.5	250	2 100

^a 1 Jansky = 10^{-26} W m⁻² Hz⁻¹.

- Fontes astronômicas podem ser várias ordens de magnitude mais fracas que esta emissão do céu (problema parecido com a emissão fluorescente do céu).

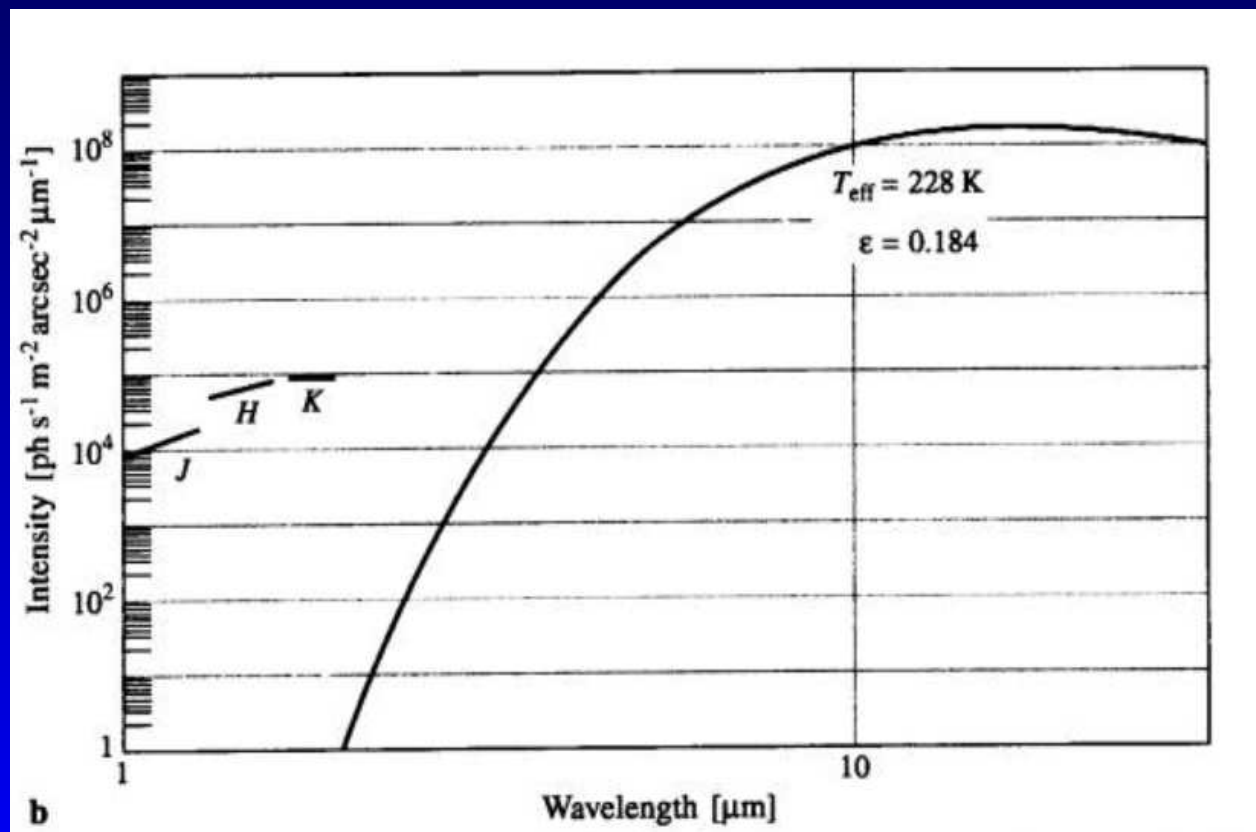
Emissão Térmica

- Janelas fotométricas observadas:



Emissão Térmica

- Crescimento da emissão atmosférica com a função de Planck $B_\lambda(\bar{T})$ levando a uma alta emissão de fundo do céu em $10\mu m$.
- Para menores comprimentos de onda, a emissão térmica é ultrapassada pela emissão fluorescente do radical OH (1.6 a 2 mm).



Brilho de fundo do céu no IR, em altitude do Mauna Kea (4200m).

Emissão Térmica

- Crescimento da emissão atmosférica com a função de Planck $B_\lambda(\bar{T})$ levando a uma alta emissão de fundo do céu em $10\mu m$.
- Para menores comprimentos de onda, a emissão térmica é ultrapassada pela emissão fluorescente do radical OH (1.6 a $2 mm$).
- A emissão térmica varia com o tempo devido ao movimento turbulento de camadas da atmosfera.
- O espectro de potências dessas flutuações é geralmente inversamente proporcional à frequência.
- A emissão também flutua na direção da linha de visada a medida que o fluxo integrado diminui pelas camadas de ar.

Soluções contra Emissões

- Para distinguir as fontes astronômicas das emissões do céu:
 - *offsetting*: apontar o telescópio sucessivamente para a fonte e depois para um ponto vizinho no céu (sem fontes).
- Mas isso induz um *ruído espacial*. Além disto, há variações temporais nas emissões (movimento de vapor d'água, excitação variável da fluorescência, ventos ionosféricos) o que acaba gerando *ruídos de céu*.
 - *sky chopping*: vibração introduzida no espelho secundário (montagens Cassegrain ou Coudé) com frequência semelhante ou maior do que a da variação temporal das condições do céu.

Espalhamento de Radiação

- Causado por: moléculas do próprio ar ou outras substâncias em suspensão - aerossóis.
- A influência das partículas do ar depende da altitude (e densidade) mas as partículas em suspensão dependem de ventos, clima, estação do ano, atividade vulcânica, poluição industrial e outros fatores.
- Também torna difícil a detecção de fontes astronômicas fracas.
- O espalhamento causado pelas moléculas de ar no visível e infravermelho é o *espalhamento Rayleigh*, cuja secção de choque integrada sobre todas as direções é:

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

onde n é o índice de refração e N é a densidade de moléculas.

Espalhamento de Radiação

- Mas a intensidade do espalhamento Rayleigh depende sim do ângulo de incidência da radiação.

$$j = \sigma_R \frac{3}{4} (1 + \cos^2 \theta) \frac{d\omega}{4\pi} I$$

- O espalhamento por aerossóis é um pouco mais complicado pois são partículas maiores que moléculas (Teoria de espalhamento de Mie).

$$\sigma = \pi a^2 (Q_{\text{espalhada}} + Q_{\text{absorvida}})$$

- Se $a \gg \lambda \Rightarrow Q_{\text{espalhada}} = Q_{\text{absorvida}} = 1$ o que implica que a secção de choque efetiva será o dobro da geométrica.
- Se $a > \lambda \Rightarrow Q_{\text{espalhada}}$ e $Q_{\text{absorvida}}$ terão complicada dependência em λ . (Se as partículas forem esferas dielétricas como grãos de poeira - silicatos - então $Q_{\text{espalhada}} \propto \lambda^{-1}$).

Observações em solo durante o dia

- Emissão térmica da atmosfera aumenta exponencialmente com o comprimento de onda. Existe um λ limite a partir do qual a emissão excede o espalhamento e assim o brilho do céu independe do ciclo entre noites e dias.
- Em telescópios com precisão absoluta, seria possível fazer observações durante o dia (em comprimentos de onda acima desse λ). Contudo, existem problemas relacionados ao controle de temperatura de instrumentos.
- Em comprimentos de onda milimétricos as observações mesmo durante o dia tornaram-se comuns.

Slides criados em $\text{L}^{\text{T}}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$.