

Astrofísica Observacional (FIS-639)

Mestrado e Doutorado em Física e Astronomia



– Aula 2 –

Efeitos do meio nas observações

(atmosfera terrestre, meio interplanetário
e meio interestelar)

Prof. Dr. Sergio Pilling

sergiopilling@yahoo.com.br

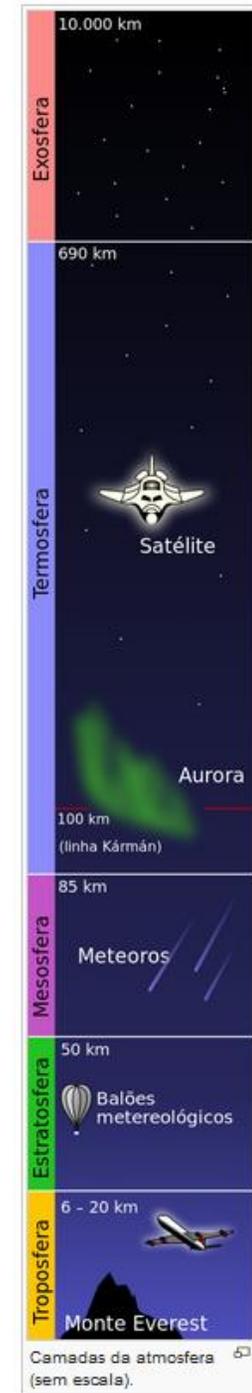
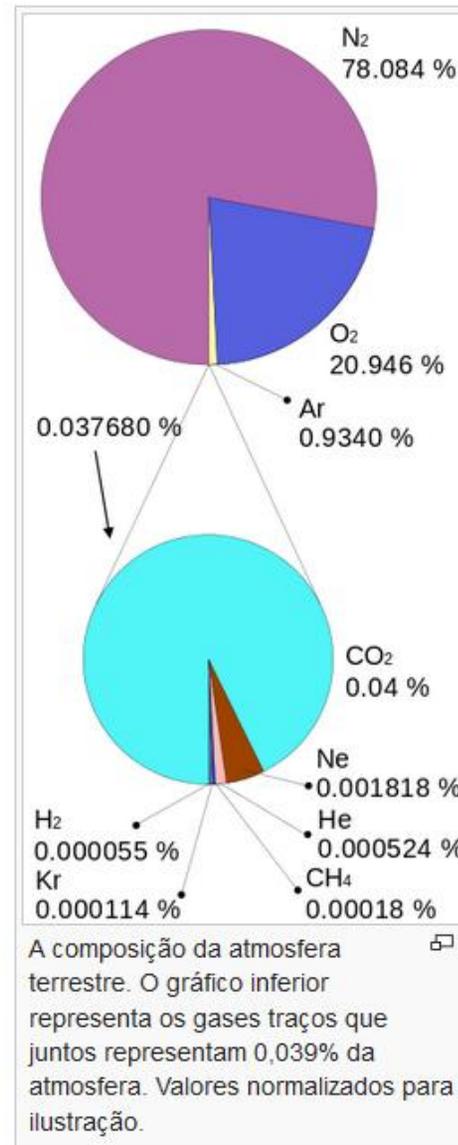
<http://www1.univap.br/spilling>

- A atmosfera terrestre.



Quando visto de uma certa **altitude**, como aqui de um **avião**, o **céu** varia de cor

https://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_terrestre

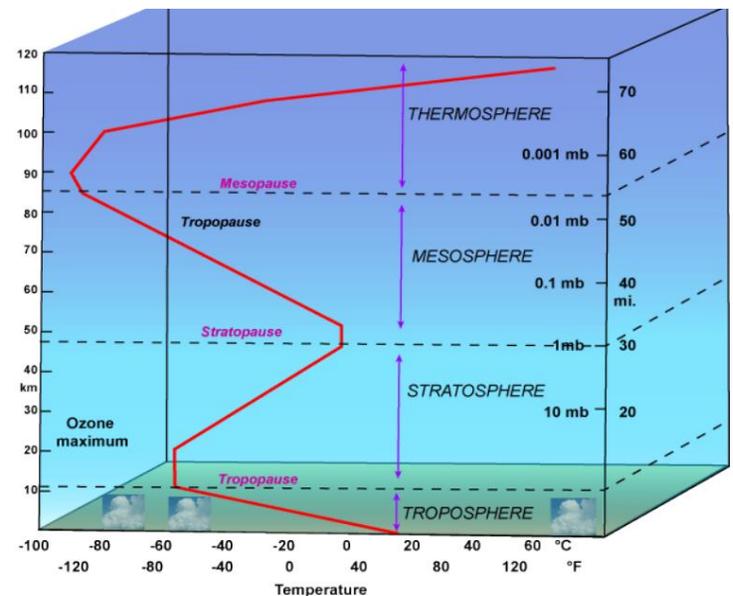


Efeitos da atmosfera sobre a radiação:

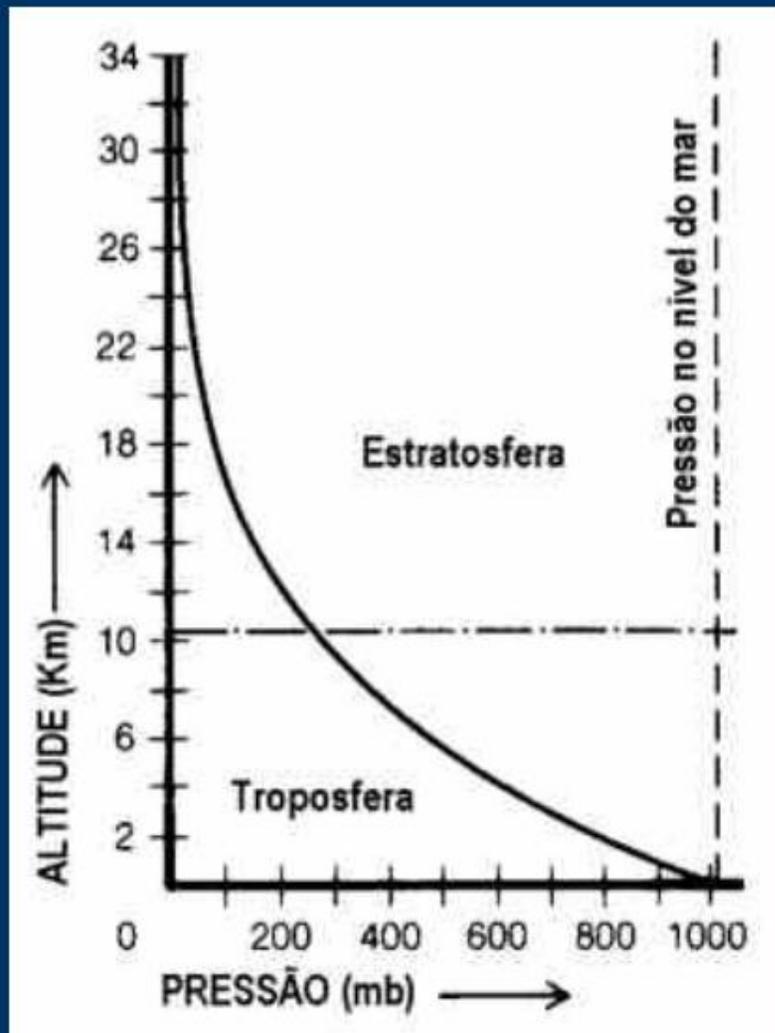
- 1) OPACIDADE: capacidade de absorver a radiação;
- 2) ESPALHAMENTO: responsável pela poluição luminosa;
- 3) DISPERSÃO: desvia a direção da luz de uma estrela;
- 4) TURBULÊNCIA: degrada a imagem -> seeing;
- 5) IONIZAÇÃO da atmosfera superior cria um plasma que interfere com ondas de rádio.
- 6) EMISSÃO DA ATMOSFERA; Efeitos ainda variam com o tempo e local (altitude, umidade, etc).

Estrutura Vertical

- * Primeira aproximação: A atmosfera está em equilíbrio com o meio que a cerca;
- * O Fluxo recebido do Sol e o re-irradiado para o espaço permitem uma distribuição mais ou menos estática de T e P com relação ao tempo;
- * A estrutura média da atmosfera é descrita como uma função que depende da:
 - # Altitude (z);
 - # Temperatura [T(z)];
 - # Densidade [$\rho(z)$];



Fonete: <http://burro.cwru.edu/Academics/Astr201/Atmosphere/atmosphere1.html>



* O Ar é compressível, ou seja P e ρ são variáveis;

* Valor máximo na superfície da Terra;

* De 0 90 Km a composição do ar é aproximadamente constante e a pressão é descrita por:

$$P(Z) = P_0 e^{-z/H}$$

$$H = \frac{R T_m}{M_0 g}$$

R = Cnt dos gases (8.32 J/K mole);
 M_0 = Massa Molec. Média (0.029 kg);
 T_m = Temp. Média (293K);
 $H \sim 8$ Km (escala de altura).

Vapor d'água

- * O conteúdo fracional ou razão de mistura é:
- * Expresso em g/Kg.
- * varia entre 0 e um valor máximo (saturação) $r_s(T)$, muito sensível a temperatura.

$$r = \frac{\text{massa de H}_2\text{O por m}^3}{\text{massa de ar por m}^3}$$

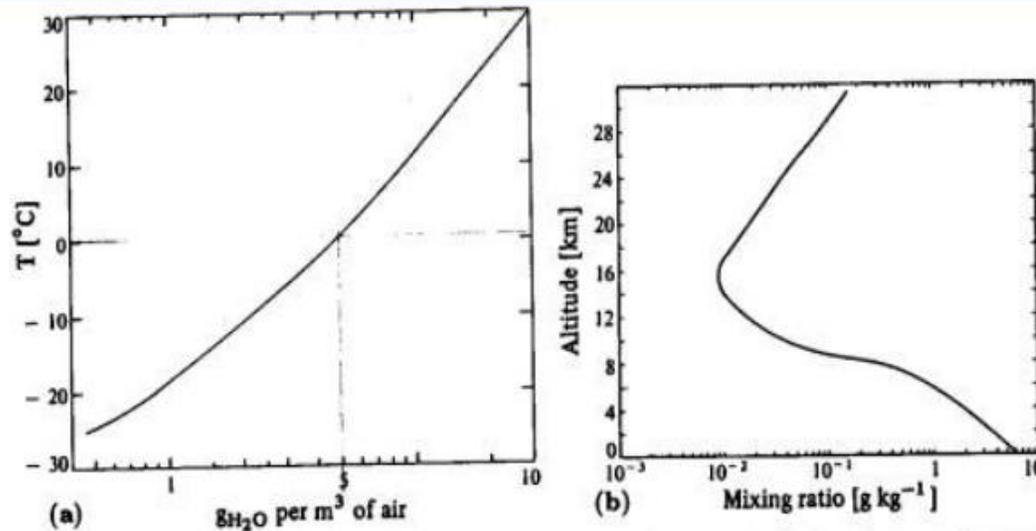


Fig. 2.3. (a) Mass concentration of water vapour in saturated air, at normal pressure, as a function of temperature. (b) Mixing ratio $r(z)$ of water vapour in air as a function of altitude for an average atmosphere. $r(z)$ is measured in g kg^{-1} , so that it is close to unity for the most frequently encountered meteorological conditions near ground level

A razão de mistura é função de z e muito dependente do tempo e da latitude.

A quantidade de água precipitável a partir de uma dada altura é dada por:

$$w(z_0) = \int_{z_0}^{\infty} N_{H_2O} dz$$

N_{H_2O} é o número de moléculas por unidade de volume;

Podemos expressar a coluna d'água precipitável por:

$$h_{H_2O}(cm) = \rho_0(gcm^{-3}) \int_{z_0}^{\infty} r(z) e^{-z/H} dz$$

ρ_0 é a densidade do ar em z_0 e é dado em g/cm^3 .

Devido a rápida variação de $r(z)$ com a altura a escala de altura do vapor d'água é consideravelmente menor que o do ar seco (H), sendo da ordem de 3 km.

Escolher um sítio em uma montanha alta, melhora muito a qualidade das observações especialmente no IR e radio (mm).

- * Mauna kea, 4205m;
- * Cerro Pachón, 2700 m;
- * Pico dos Dias, 1864m;
- * Morro Santana, 311m.



Ozônio

- * Em condições normais, a quantidade integrada de Ozônio na atmosfera varia de uma coluna de 0.24cm a 0.34cm em CNTP.
- * Concentração máxima a 16 km, embora esteja presente até 80 km. Absorve principalmente no ultravioleta.

Dióxido de Carbono

- * Importante fonte de absorção no infravermelho (médio);
- * Distribui-se verticalmente de forma similar ao O_2 e N_2 ;
- * Taxa de mistura não depende da altitude;

Íons

- * Acima de 60km, radiação ultravioleta do Sol torna a atmosfera ionizada;
- * A ionização varia com atividade solar (flares aumentam ionização).
- * A altas latitudes, “cascatas” de elétrons são canalizadas ao longo das linhas de campo magnético da Terra e ionizam atmosfera a altas latitudes (auroras).

Auroras (podem atrapalhar as observações também)



Reações típicas:



* As densidades eletrônicas variam com a altura:

10^3 cm^{-3} a 60 km;

10^5 cm^{-3} a 100 km;

$2 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ de 150-300 km;

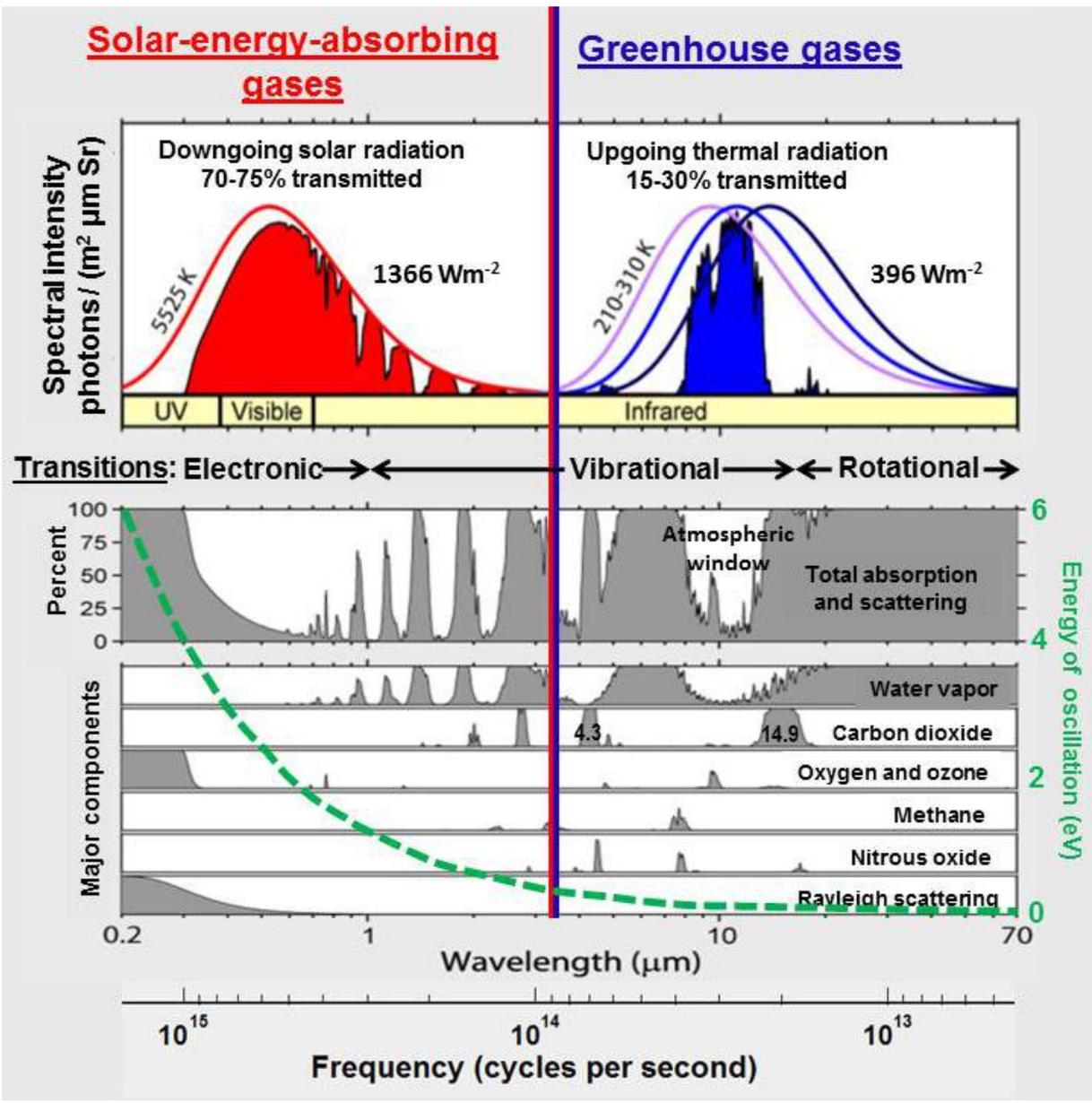
10^4 cm^{-3} depois destas camadas até 2000 km.

* Interfere nas ondas de rádio (observações na faixa rádio do espectro eletromagnético);

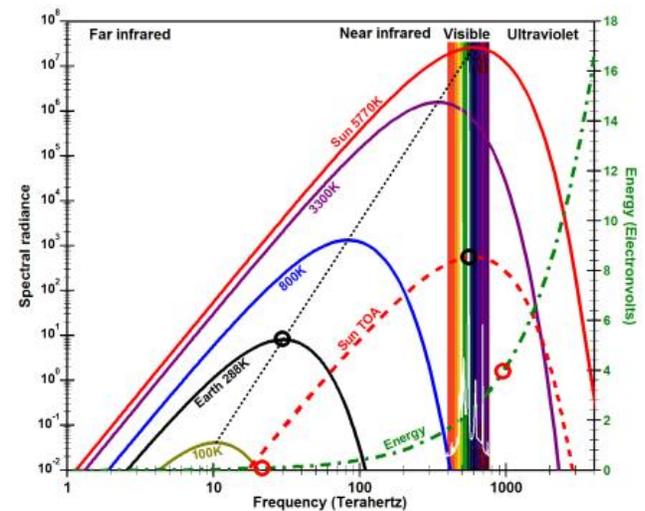
Absorção da Radiação

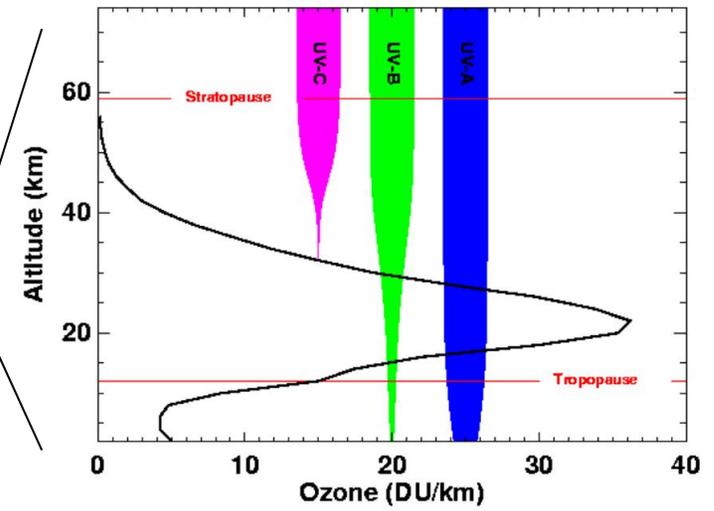
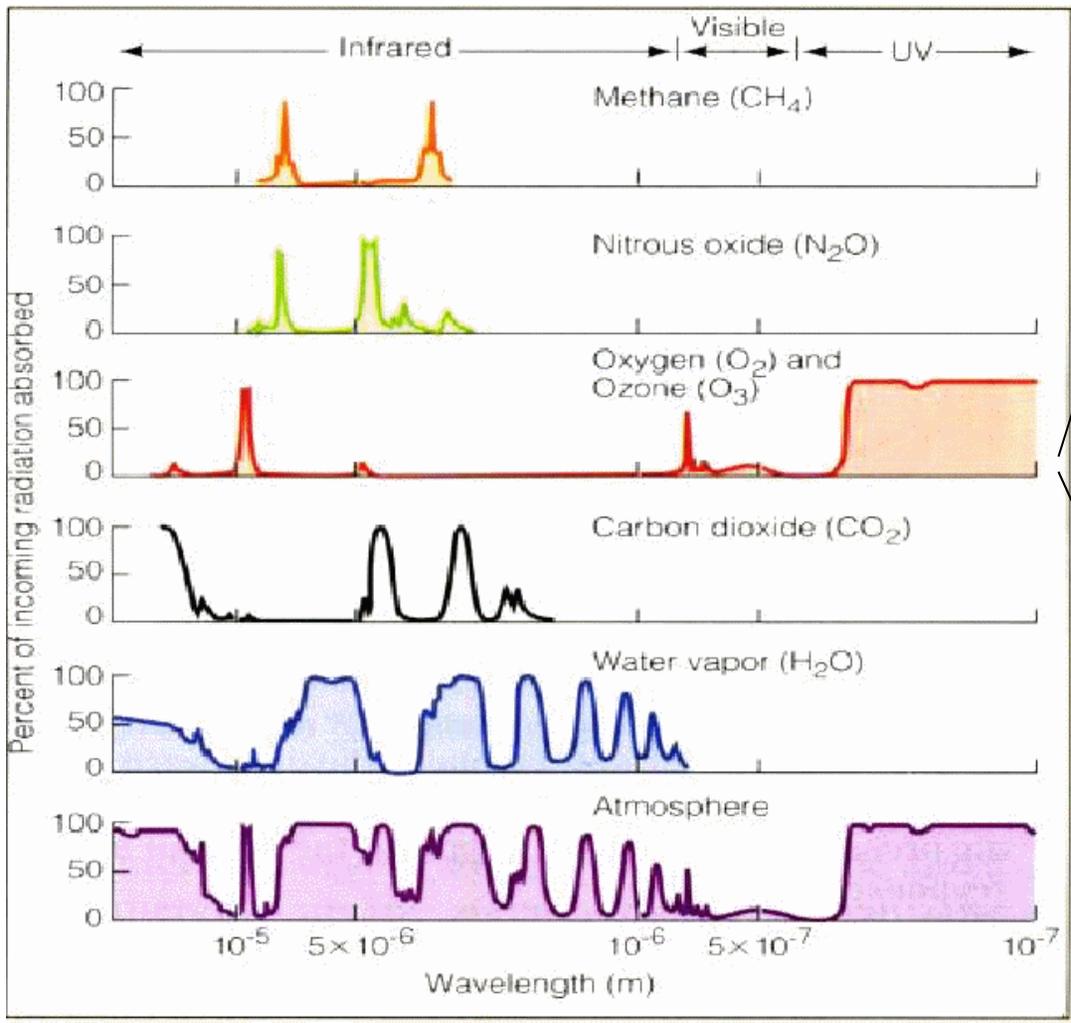
- * A absorção da radiação pela atmosfera pode ser parcial ou total;
- * Caso seja total, “*janelas de transmissão*” podem ser determinadas a uma dada altitude.
- * Caso seja parcial, o espectro observado fica danificado (Ex. aula do Kepler, UV);
- * O espectro é afetado por “*bandas telúricas em absorção*”;





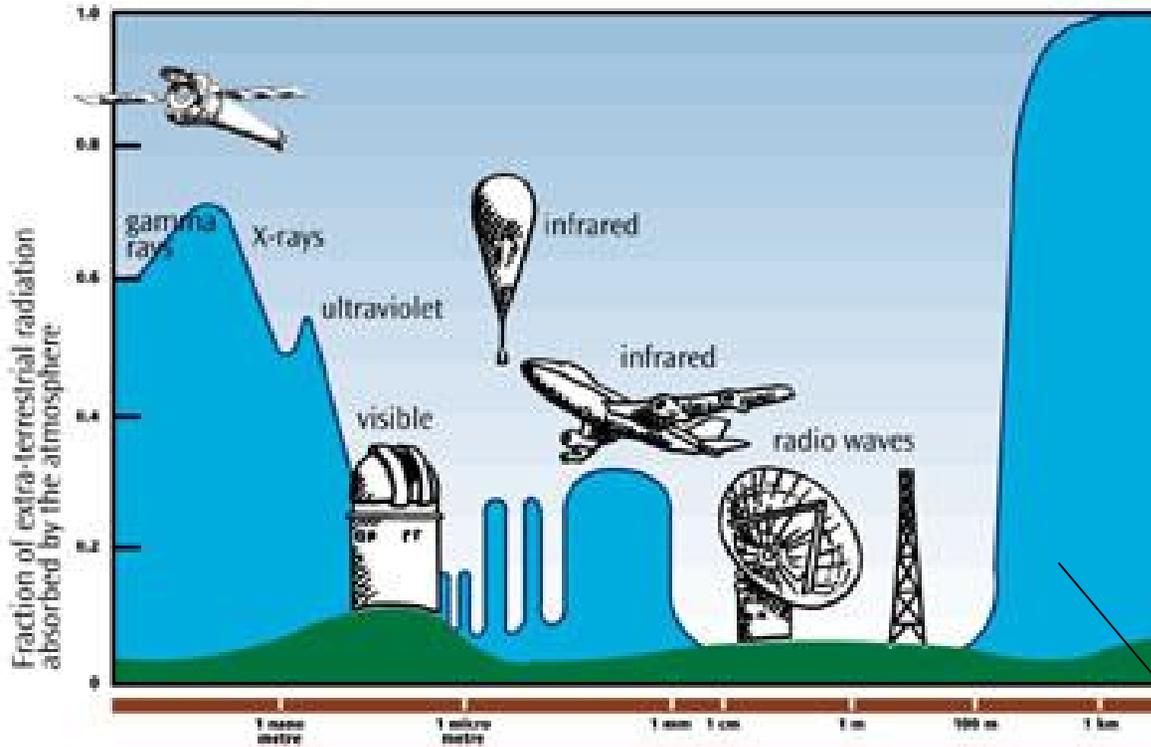
<http://ozonedepletiontheory.info/gg-theoretical-problems.html>





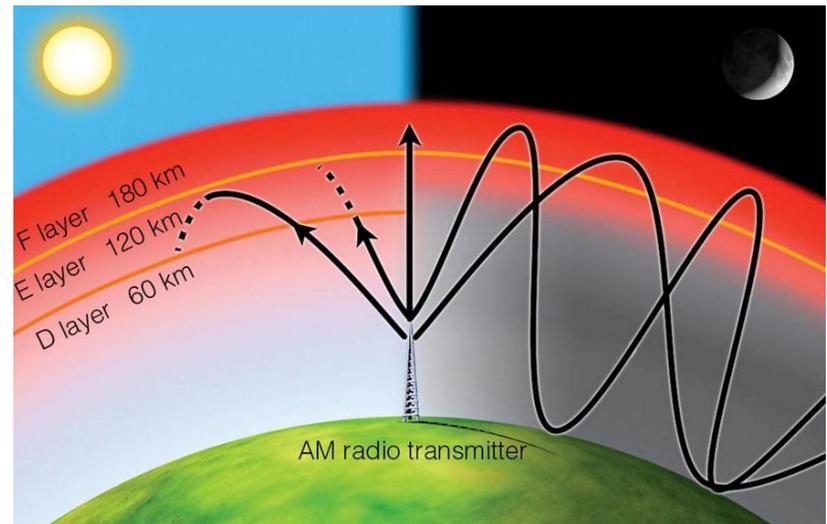
<http://temis.nl/uvradiation/info/index.html>

<http://astarmathsandphysics.com/a-level-physics-notes/170-electrons-and-photons/2669-transparency-of-atmosphere-to-electromagnetic-radiation.html>



Wavelengths of electromagnetic waves

http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/cosmicengine/sun_earth.html



<https://ky6r.wordpress.com/2011/05/27/ionosphere/>

Transições atômicas e moleculares

* Causam absorções em comprimentos de onda discretos

Transições entre os níveis eletrônicos de átomos: ex. O e N

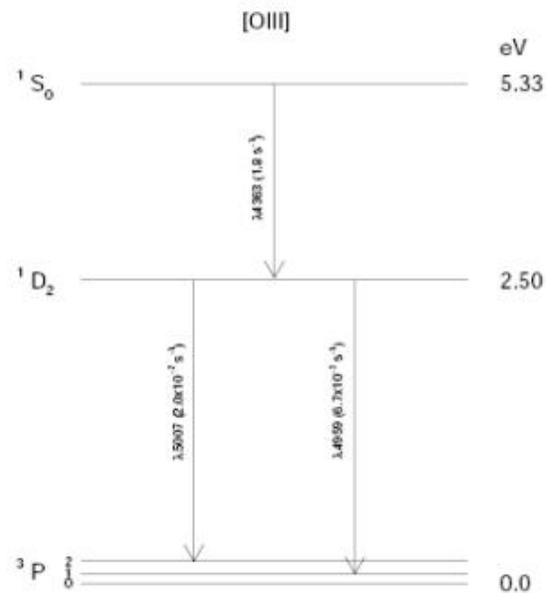
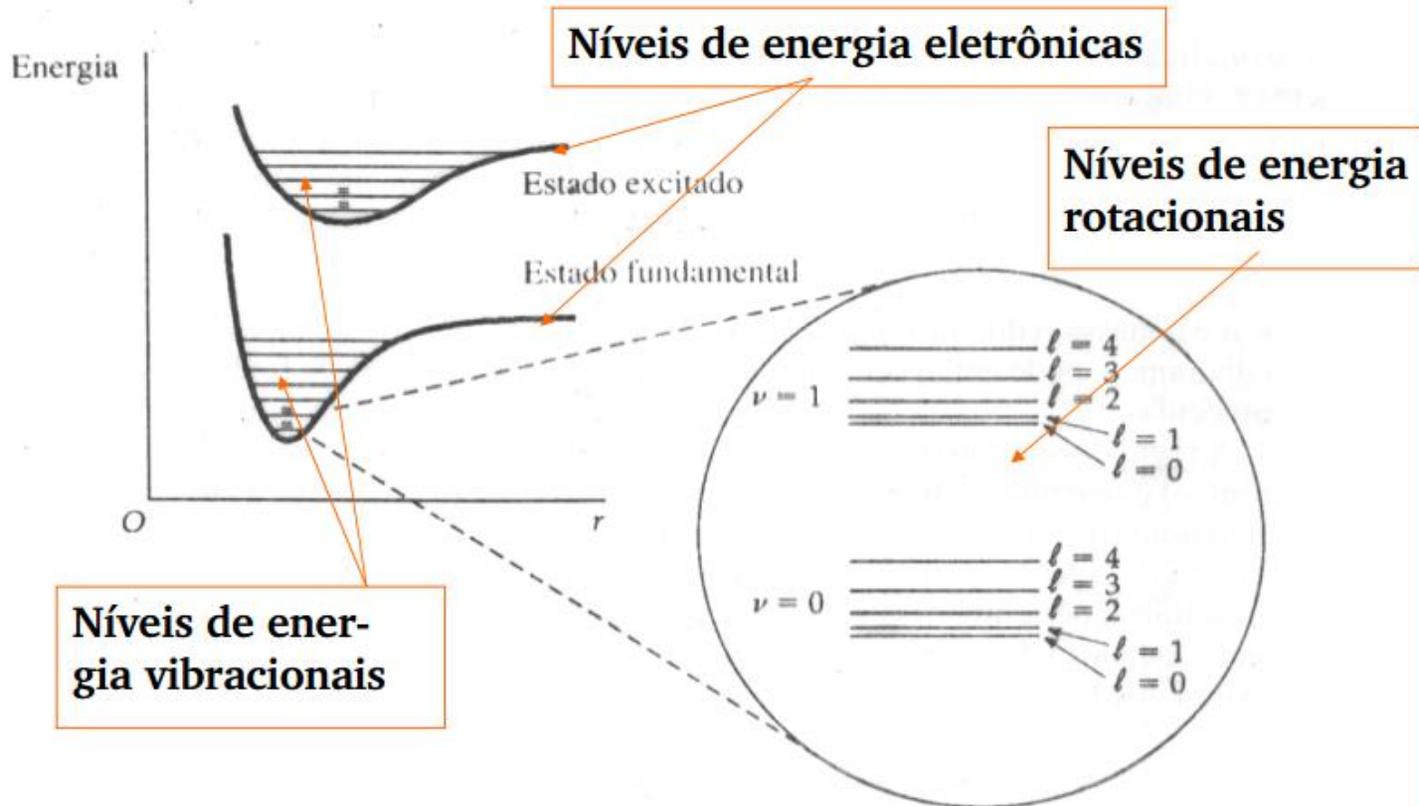


Figura 2.1: Diagrama dos níveis de energia do [O III] de configuração p^2 . Os níveis 3P estão fora de escala para melhor visualização. As probabilidades de transição estão listadas entre parênteses.

Transições Moleculares

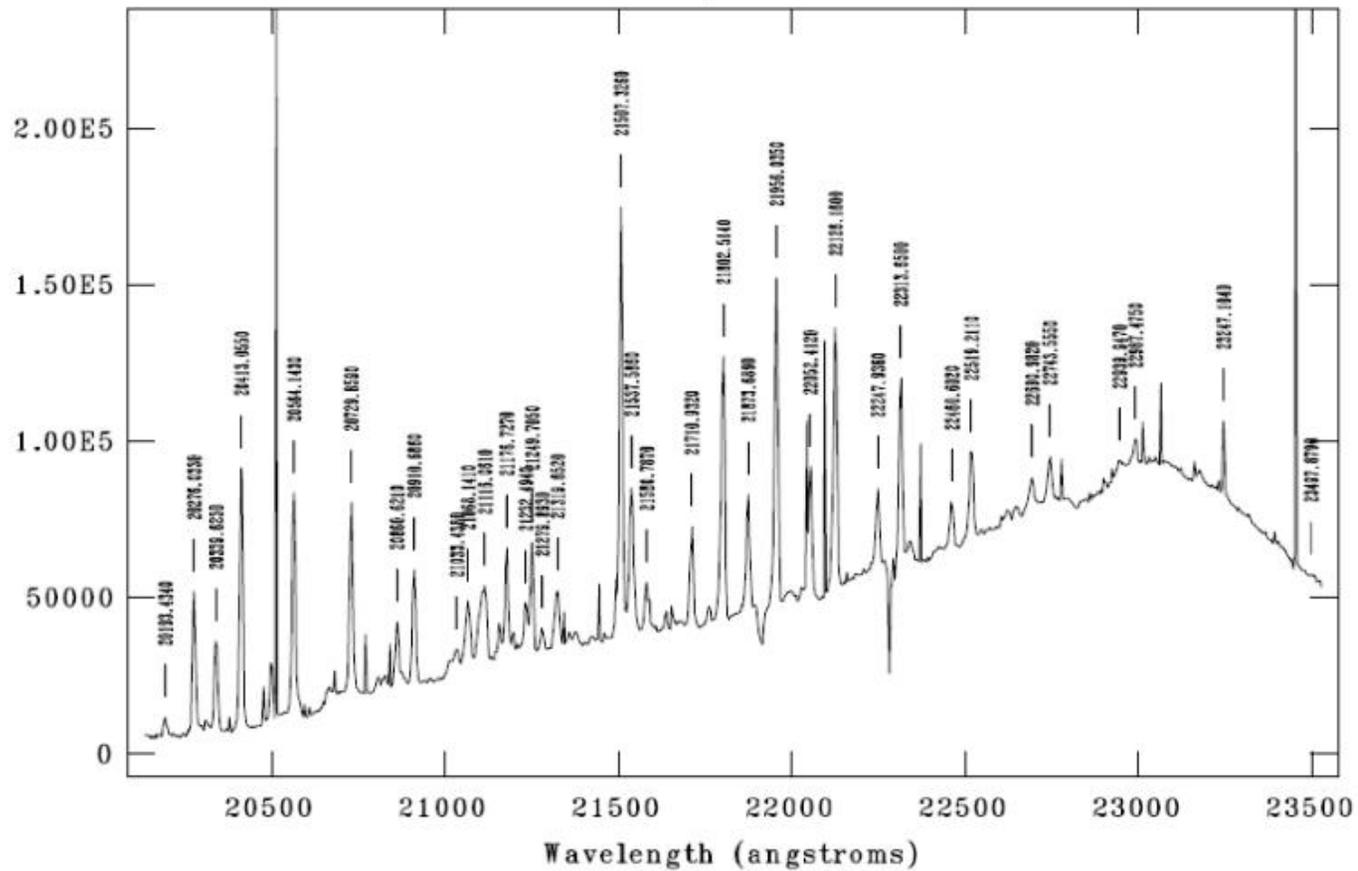


Para cada nível eletrônico existem vários níveis vibracionais.
Para cada nível vibracional existem vários níveis rotacionais.

- * Transições puramente rotacionais (H_2O , CO_2 , O_3)
 - # Afetam mais os comprimentos de onda maiores (IR-Distante, Rádio);
- * Transições Ro-Vibracionais (CO_2 , NO , CO , H_2)
 - # Afetam a região NIR;
- * Transições entre níveis moleculares eletrônicos (CO , CH_4 , H_2O , O_2 , O_3 ou radicais de OH)
 - # Afetam a região UV, e visível;
 - # O OH produz um espectro muito brilhante (em emissão) no NIR

Exemplo do espectro do "céu" para NGC 2110, na banda K

NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT riffel@pcpegasus Wed 11:20:15 02-Aug-2006
identify NGC2110_160_K_sky_bg_fd[450,*]
1



* A Física atômica e molecular permite o cálculo dos coeficientes de absorção $k_i(\lambda)$ e das seções de choque σ .

A profundidade óptica ao longo de uma linha vertical, de um constituinte i com taxa de mistura $r_i(z)$ é dada por:

$$\tau(\lambda, z_0) = \int_{z_0}^{\infty} r_i(z) \rho_0(z) k_i(\lambda) dz$$

* A atenuação de um raio incidente de intensidade I_0 recebido a uma altitude z_0 e fazendo um ângulo θ com o zênite é dada por:

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

A soma é sobre todas as espécies que absorvem.

Atenuação da radiação com a altitude: Escolha de um sítio.

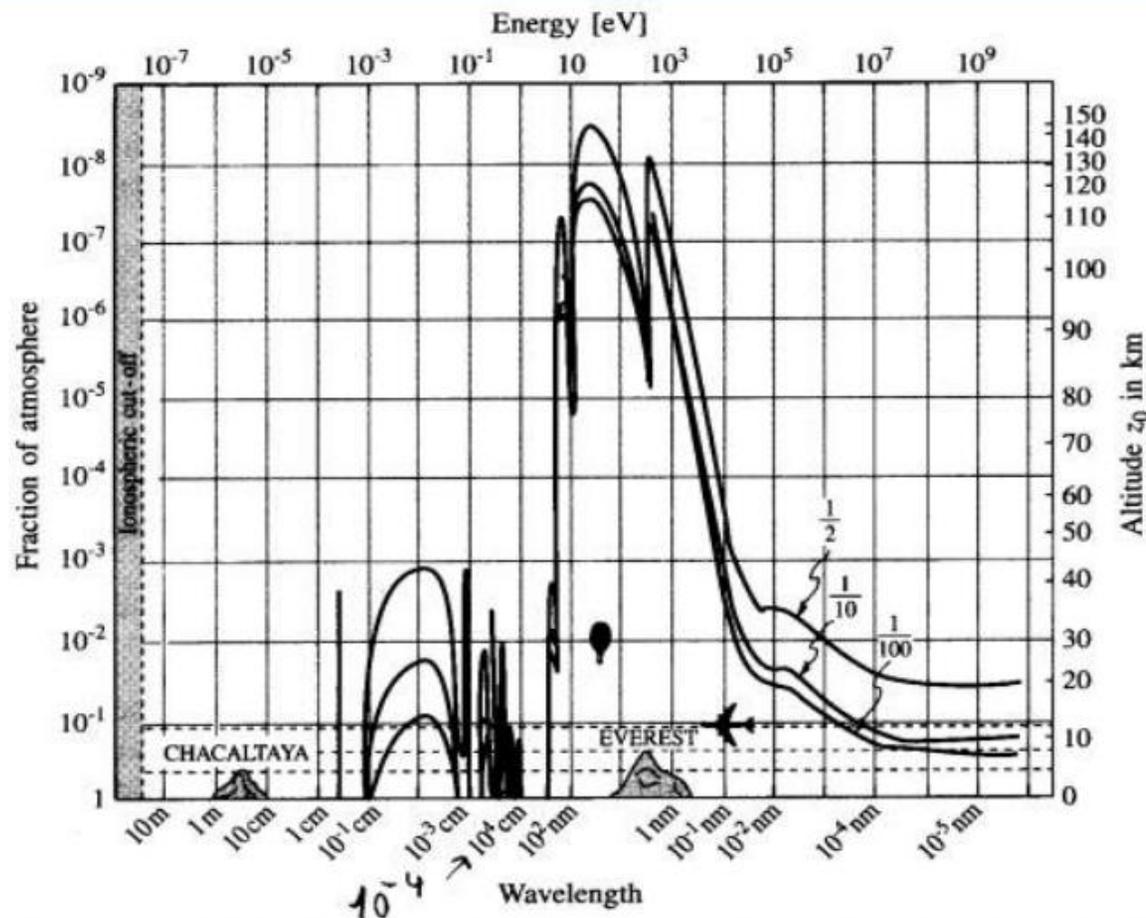
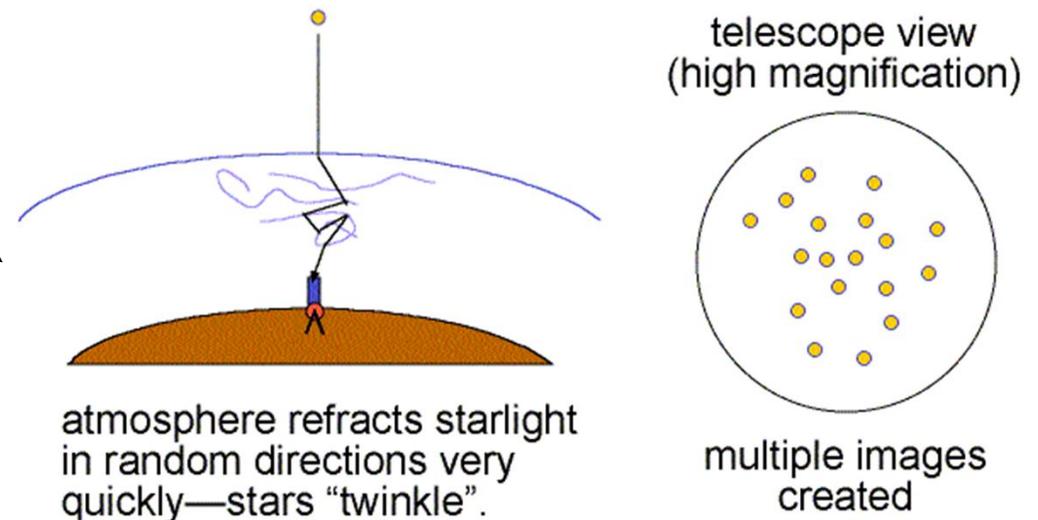
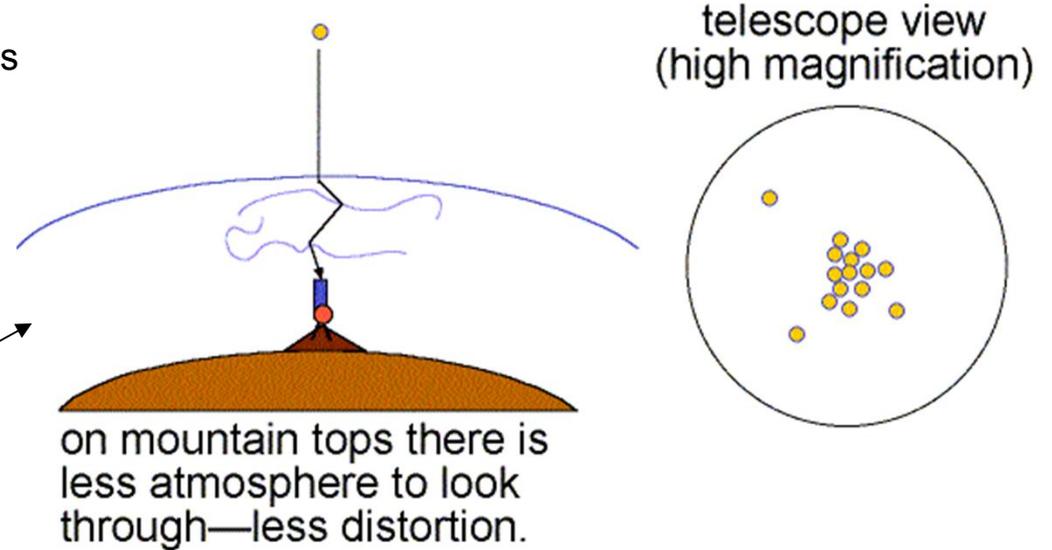


Fig. 2.4. Attenuation of electromagnetic radiation by the atmosphere. Curves give the altitude z_0 (right-hand scale) or the residual fraction of the atmosphere, in mass, above z_0 (left-hand scale), for three values of the ratio $I(z_0, \lambda, \theta = 0^\circ)/I_0(\infty, \lambda)$. Chacaltaya is a site in the Andes (altitude ~ 6000 m)

• Seeing astronômico

Seeing é o fenômeno observado nos detectores usados em telescópios ópticos em que a imagem de uma estrela é alargada em decorrência dos movimentos turbulentos da atmosfera terrestre. Em noites com pequena turbulência, o *seeing* medido em observatórios com excelentes condições atmosféricas é de cerca de 0,25 segundos de arco.



• Cintilação

Outro fenômeno provocado pela turbulência atmosférica é a cintilação, que é a variação ao longo do tempo da intensidade da luz que chega ao detector. O *seeing*, por sua vez, está associado a variações na posição, na forma e no tamanho das imagens das estrelas.



A turbulência, além de ser a causa da cintilação das estrelas, é independente para cada cor. A dispersão perturbada pela turbulência produz outro fenômeno curioso. A luz de cada cor segue um trajeto diferente através da atmosfera (Fig. 3). Assim, a cintilação para cada cor não está em fase com a cintilação nas outras cores, produzindo um efeito espetacular nas estrelas muito brilhantes. *Sírius* (α do Cão Maior), quando muito baixa no horizonte, em noites de *forte turbulência*, cintila de tal modo que quando se tem o máximo de brilho, por exemplo, no vermelho, as outras cores estão quase no mínimo e assim sucessivamente, verificando-se que a estrela, lampeja alternadamente em diferentes cores: é a *cintilação cromática*, perceptível a olho nu e também através de um telescópio.

- Refração atmosférica (mudança da posição do astro)

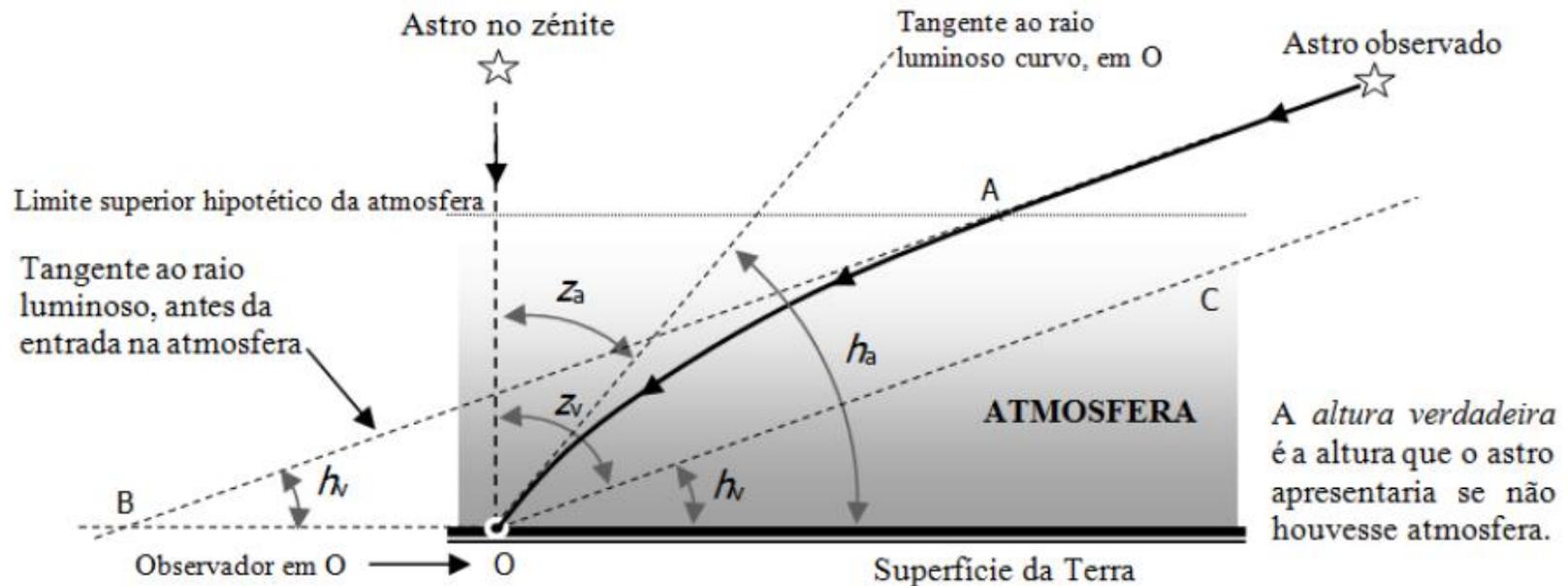


Fig. 1 – Representação esquemática do fenômeno da refração atmosférica. Para maior clareza, o encurvamento do raio luminoso foi muito exagerado e a distância do astro não foi representada à escala. A reta que passa em A e B é paralela à que passa em O e C. Refira-se que $h = 90^\circ - z$, como a figura evidencia. Figura de Guilherme de Almeida.

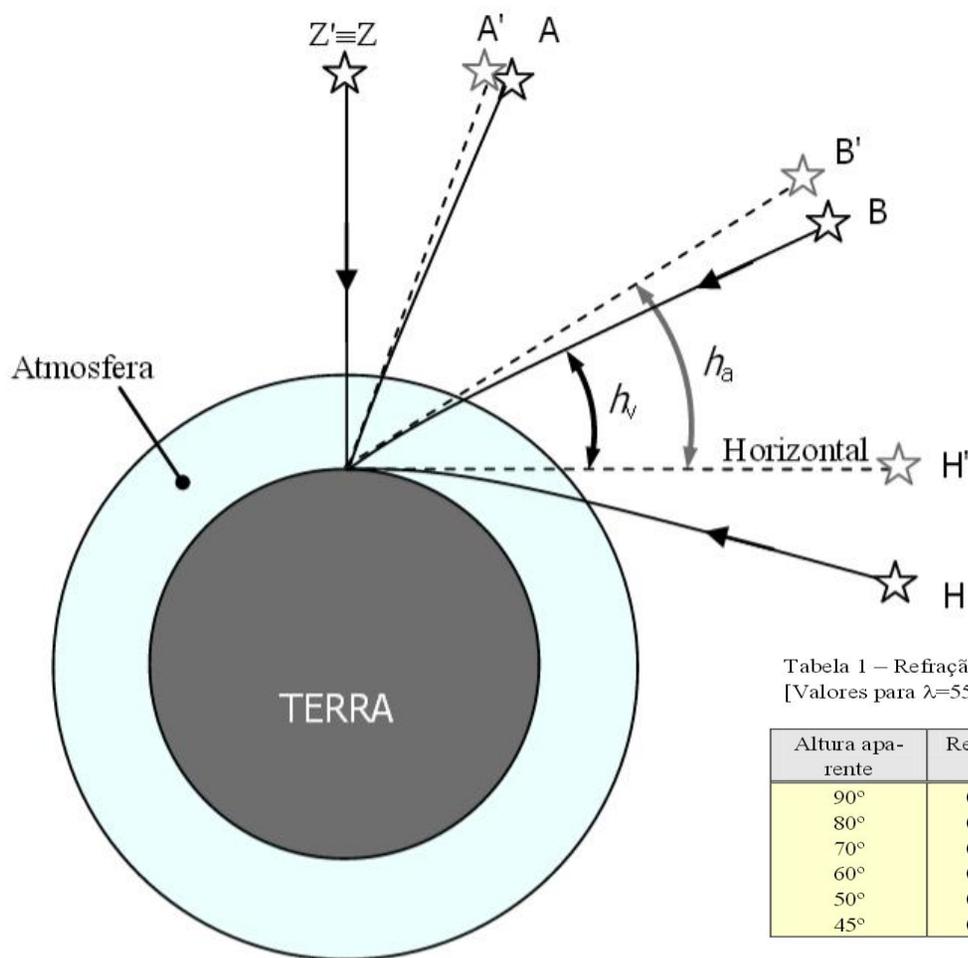


Tabela 1 – Refração atmosférica para astros a diversas alturas.
 [Valores para $\lambda=550$ nm, $p_0=1013$ hPa (101 325 Pa) e $t= 15$ °C (288,15 K)]

Altura apa- rente	Refração	Altura apa- rente	Refração	Altura apa- rente	Refração
90°	0,00'	40°	1,17'	2,5°	15,84'
80°	0,17'	30°	1,69'	2,0°	17,95'
70°	0,26'	20°	2,66'	1,5°	20,60'
60°	0,57'	15°	3,58'	1,0°	23,98'
50°	0,82'	10°	5,31'	0,5°	28,34'
45°	0,98'	5°	9,74'	0,0°	33,98'

Fig. 2 – Exemplificação da refração atmosférica para estrelas a diversas alturas. Para maior clareza, o efeito da refração foi muito exagerado: se os encurvamentos dos raios luminosos fossem representados à escala, praticamente não se distinguiriam de segmentos retilíneos. Com a mesma intenção, a espessura da atmosfera foi também muito exagerada. Figura de Guilherme de Almeida.

- Refração atmosférica (alargamento do sol e Lua)

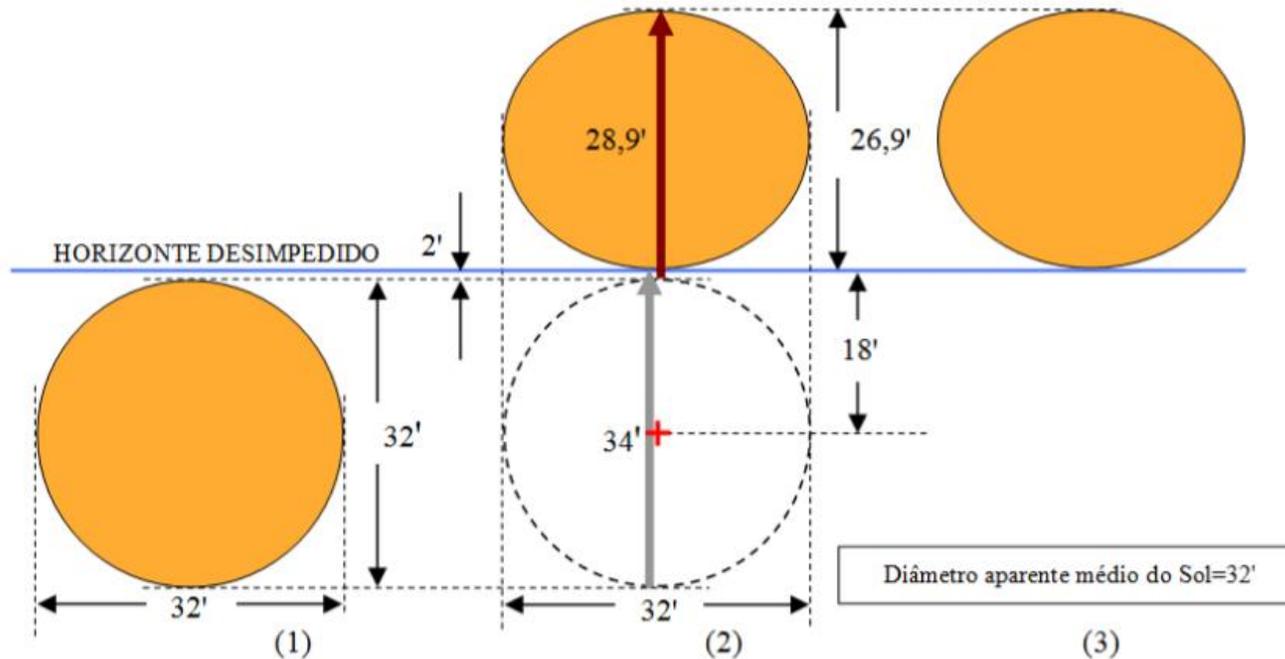


Fig. 6 – Simulação do aspecto do Sol poente (ou nascente), quando o seu bordo inferior parece tocar o horizonte. Se não houvesse atmosfera, o Sol estaria abaixo do horizonte, na posição (1), também representado a tracejado em (2). Devido à refração atmosférica, o bordo inferior do Sol é aparentemente elevado 34' e o bordo superior (naturalmente mais alto) é elevado apenas 28,9', resultando numa imagem achatada de, em média, 32' na horizontal e 26,9' na vertical. Em (3) mostra-se o aspecto do Sol nessa situação particular. Um fenômeno semelhante ocorre também com a Lua. Figura de Guilherme de Almeida.

- Refração atmosférica (cromática)

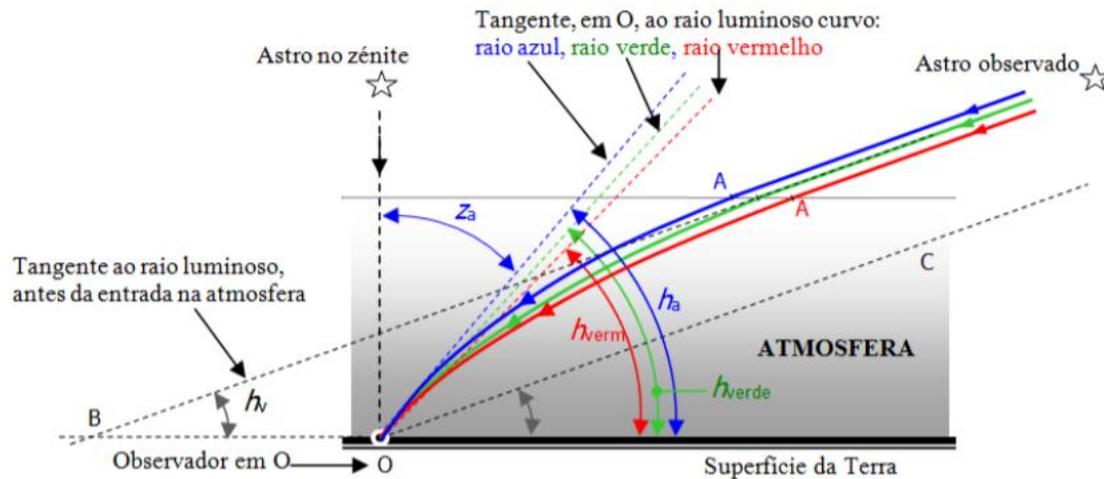


Fig. 3 – Representação simplificada do trajeto dos raios luminosos vindos de uma estrela a uma dada altura. Após a entrada na atmosfera, em A, a refração atmosférica é maior para a luz de menor comprimento de onda e mais suave para a luz de maior comprimento de onda. Embora a altura verdadeira seja a mesma, as alturas aparentes são diferentes para as diferentes cores. Para maior clareza, o efeito da refração foi muito exagerado, assim como a espessura da atmosfera. Figura de Guilherme de Almeida.

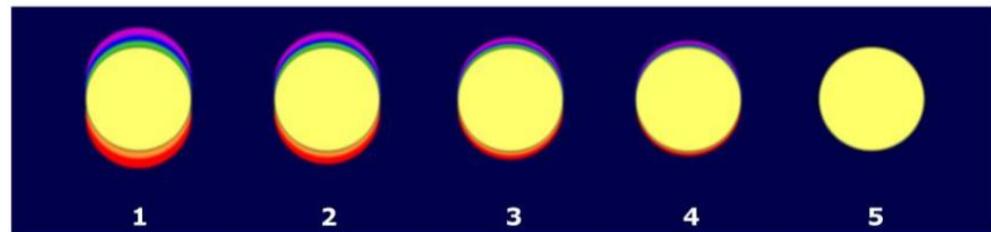


Fig. 4 – Simulação do aspecto de um planeta observado com elevada amplificação, em presença de dispersão significativa: 1 e 2- situações muito evidentes e exageradas; 3- dispersão mediana; 4- dispersão relativamente tênue; 5- aspecto que o planeta exibiria se não houvesse dispersão cromática. Nesta representação, o zênite está do lado de cima. Figura de Guilherme de Almeida.

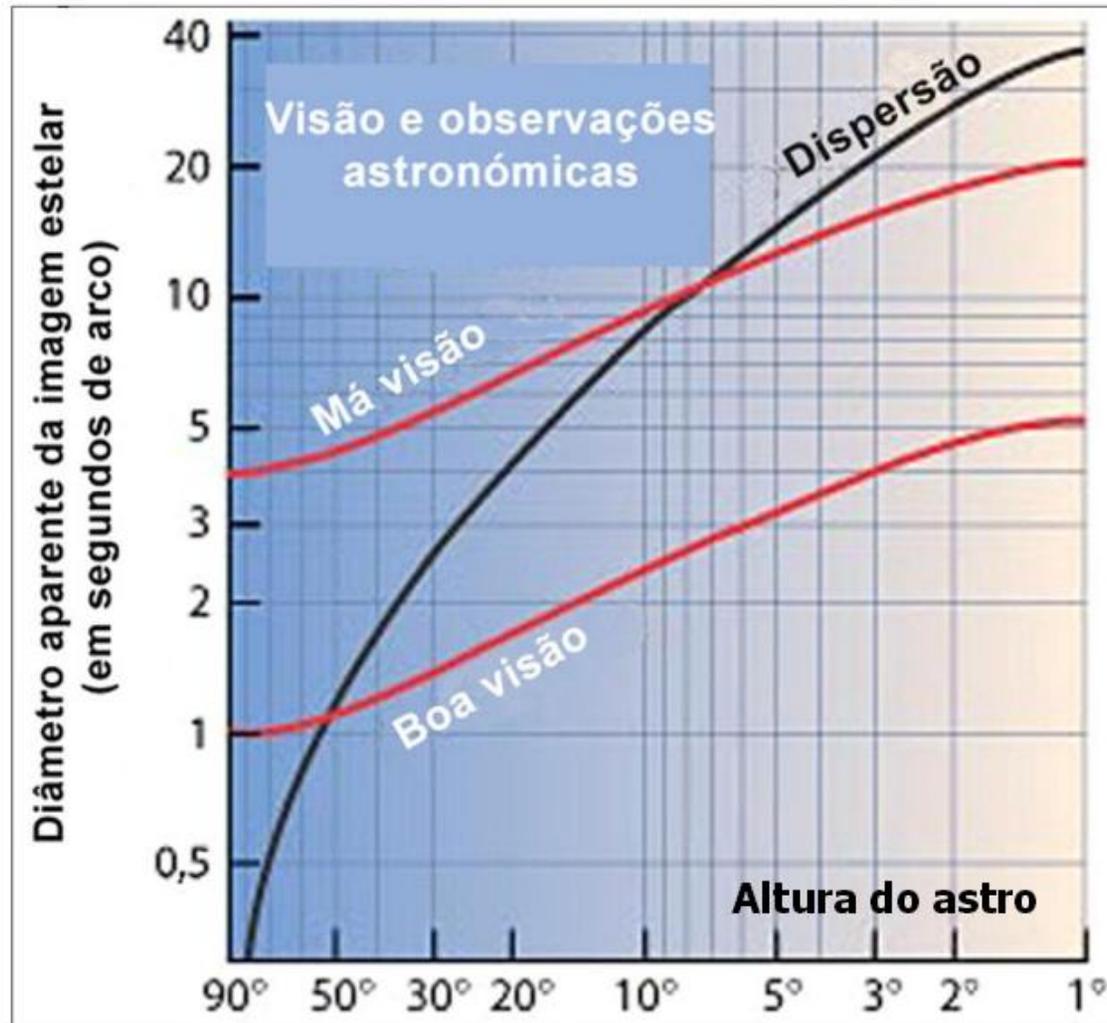


Fig. 5 – Efeitos da dispersão cromática da luz, comparados com os da turbulência (adaptado de um artigo de Alan R. MacRobert, sendo a ilustração original de Andrew T. Young).

- O meio interplanetária (poeira interplanetaria).

A presença do meio interplanetário (poeira interplanetária provoca um espalhamento da luz solar (principalmente) gerando a chamada luz zodiacal.

A Luz zodiacal é um feixe de luz fraca, quase triangular, visto no céu noturno e que se estende ao longo do plano da [eclíptica](#), onde estão as [constelações](#) do [Zodíaco](#). Cobre completamente o céu, mas só é perceptível no plano da eclíptica e é responsável por 60% da luz natural em uma noite sem [Lua](#). É causada pela [dispersão da luz](#) solar nas partículas de poeira que são encontradas em todo o [Sistema Solar](#). Pode ser observado no céu noturno, mesmo depois do pôr-do-sol ou antes do nascer-do-sol tanto na Primavera quanto no Outono



<https://www.pinterest.com/ceciliamackay9/zodiac-lights/>



<http://astrophotobear.com/astro-photography-zodiacal-light/>

Observação

A luz zodiacal é muito fraca e é completamente invisível no céu insuficientemente iluminado por outros objetos brilhantes como a Lua ou a [poluição luminosa](#). Nas latitudes médias do Hemisfério Norte, é melhor observada na Primavera dirigindo a vista para o Oeste, depois do [crepúsculo](#), ou olhando para o Leste, no Outono, pouco antes do amanhecer. A luz zodiacal aparece como uma coluna, muito brilhante no horizonte, inclinada no ângulo da eclíptica.

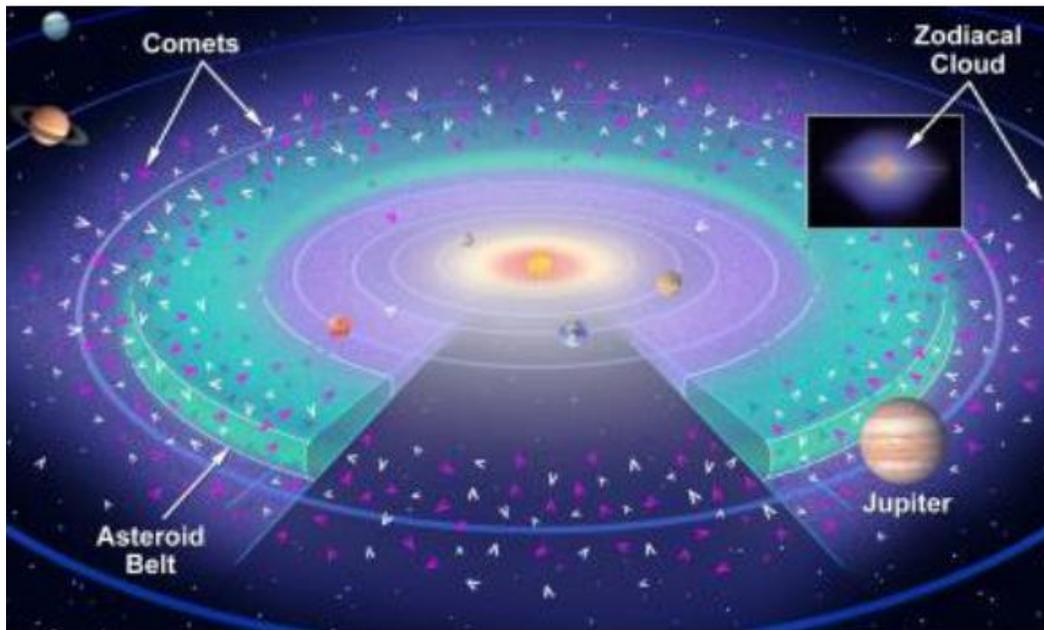
A intensidade da luz diminui com a distância do Sol. Em algumas noites muito escuras é possível ver uma faixa contínua ao longo de toda a eclíptica. Em oposição à luz zodiacal, pode-se ver um brilho muito fraco de forma oval conhecido como [Gegenschein](#).

Ver o [halo de luz](#) zodiacal nem sempre é fácil. É preciso escolher bem o momento da observação. Como o brilho se estende ao longo de toda a eclíptica, é melhor observável quando ele se levanta acima do horizonte, o que depende da estação.

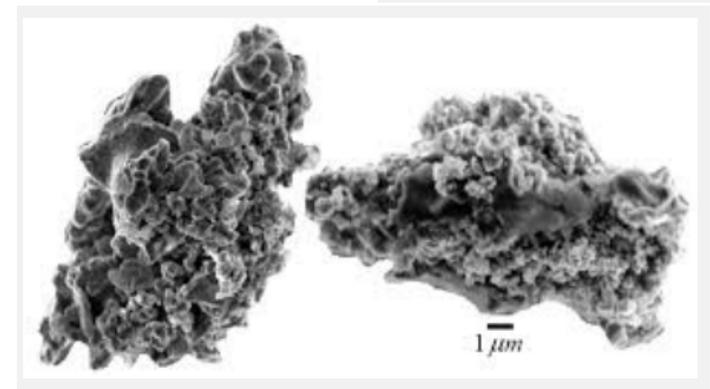
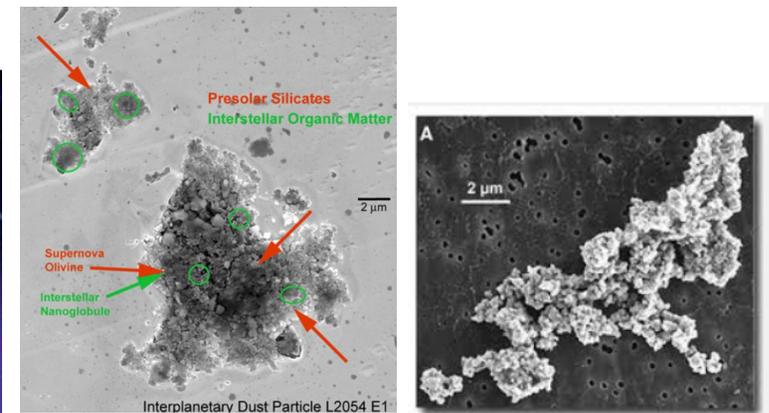
Formação do fenômeno

O fenômeno da luz zodiacal é produzido pela reflexão da luz do sol nas partículas de poeira no Sistema solar conhecida como [poeira cósmica](#). Conseqüentemente, seu [espectro](#) é o mesmo que o espectro solar.

O material que produz a luz zodiacal é chamado de [nuvem de poeira interplanetária](#) e está localizado em um volume em forma de lente, centrado no Sol, e que se estende bem para além da órbita da Terra. Como a maioria desse material está localizada perto do plano do sistema solar, a luz zodiacal é vista ao longo da eclíptica. A quantidade de matéria necessária para produzir a luz zodiacal observada é surpreendentemente pequena. Se fosse na forma de partículas de um milímetro, cada uma com o mesmo [albedo](#) (refletividade da superfície de um corpo), como por exemplo, a Lua da Terra, cada partícula estaria à 8 km de seus vizinhos.



<http://www.space.com/8251-source-night-sky-cosmic-zodiacal-glow-explained.html>

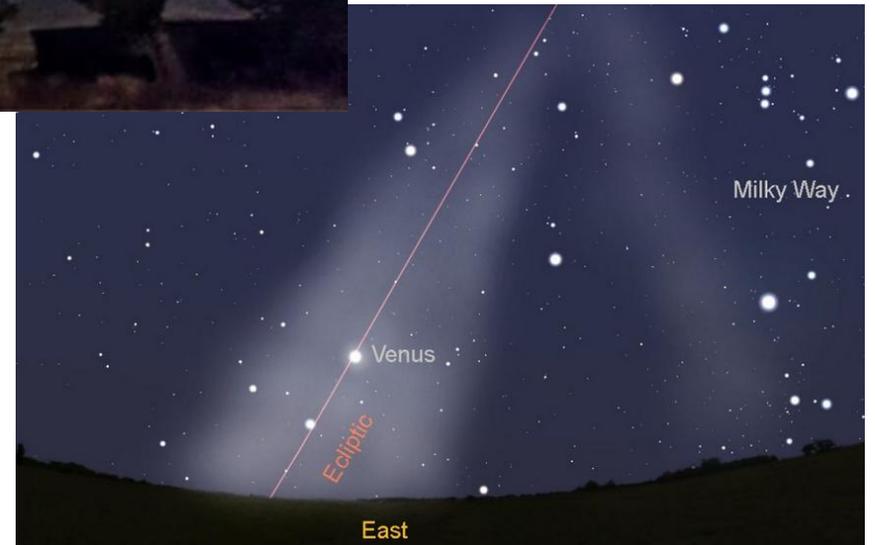
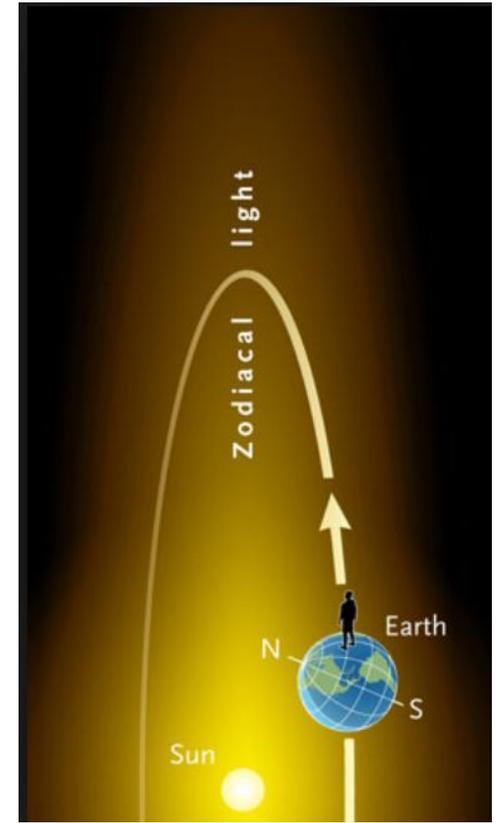


O [Efeito Poynting-Robertson](#) faz com que as partículas se movam lentamente em espiral nas proximidades do Sol, o que requer uma fonte contínua de novas partículas para manter a nuvem zodiacal. Acredita-se que a poeira oriunda de [cometas](#) e a poeira gerada pelas colisões entre [asteroides](#) são os principais responsáveis pela manutenção da nuvem de poeira que produz a luz zodiacal e o Gegenschein. Nos últimos anos, as observações feitas por uma variedade de [sondas espaciais](#) mostraram estruturas significativas na luz zodiacal, incluindo faixas de absorção da poeira associados com restos de determinadas famílias de asteroides e de várias trilhas de cometas.

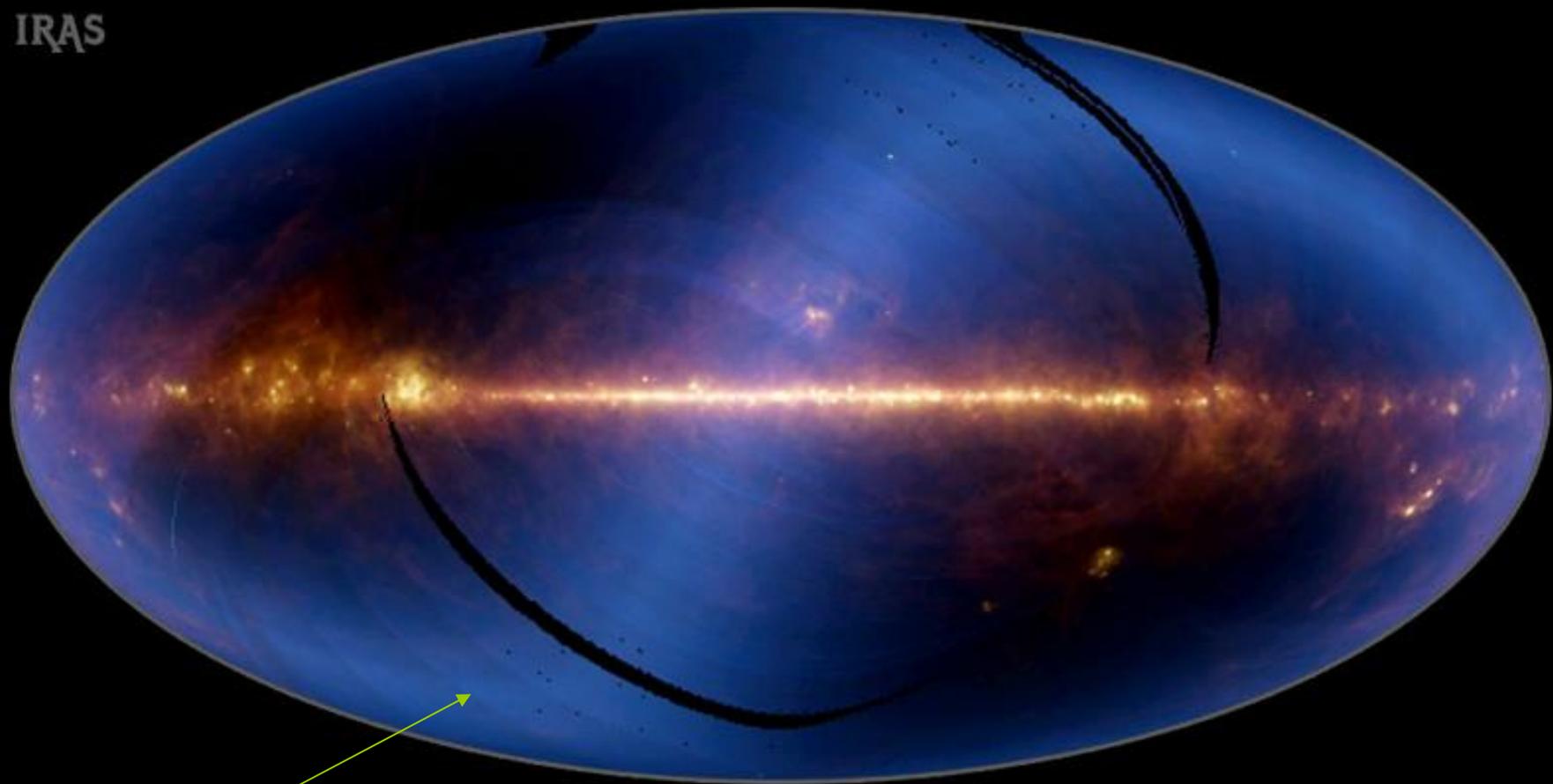
A primeira descrição detalhada da luz zodiacal foi feita em 1683 pelo matemático e astrônomo italiano [Giovanni Domenico Cassini](#) e explicada por seu colega suíço [Nicolas Fatio de Duillier](#) em 1684.



http://www.apolo11.com/display.php?imagen=imagenes/2010/luz_zodical_big.jpg



InfraRed Sky
IRAS



Luz zodiacal
(região azulada)

InfraRed
Legacy

- O meio interestelar (ver pdf)

Pelo nome, é toda a matéria nas galáxias, tirando as estrelas (inter-estelar: entre as estrelas).

Na prática, o termo é usado para

- **Poeira** interestelar (1 % do meio interestelar), e
- **Gás** interestelar (99 %).

O meio interestelar da Via Láctea compõe de **10 a 15 %** da **matéria visível** (ou bariônica) da nossa **Galáxia**.

A Poeira Interestelar

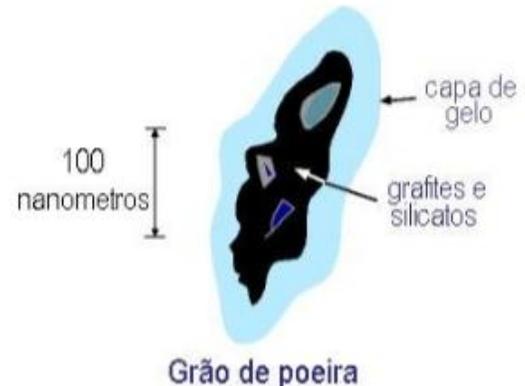
Compõe ~1 % do meio interestelar.

São **grãos** de 0.1 - 1 μm de diâmetro (“fumaça”) de **carbono** (grafite), Silicatos, SiC, óxidos, PAH (hidrocarbonatos aromáticos policíclicos) cobertas de gelo.

Tem uma densidade de ~ 100 partículas/ km^3 / 10^{-23} kg/m^3 .

Contribui 0.1 % da massa da Via Láctea

É **criada** em **estrelas** de baixa massa e temperatura; talvez diretamente de **átomos** e **moléculas** em **nuvens interestelares**.



Extinção Interestelar

A poeira **absorve**, **reemite** e **espalha luz** que incide nela.

=> Objetos luminosos (estrelas, galáxias) parecem **menos brilhantes** vistos através de nuvens de poeira.

=> **Extinção interestelar**

=> A fórmula que relaciona as **magnitudes absoluta** e **aparente** obtém um termo adicional, a **extinção** A :

$$m = M + 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A$$

A quantifica, então, a luz absorvida pela poeira em unidades de magnitudes. Quanto maior a quantidade de poeira atravessada, maior a extinção, podendo tornar o objeto atrás invisível.

Extinção Interestelar

A extinção depende do **comprimento de onda**:

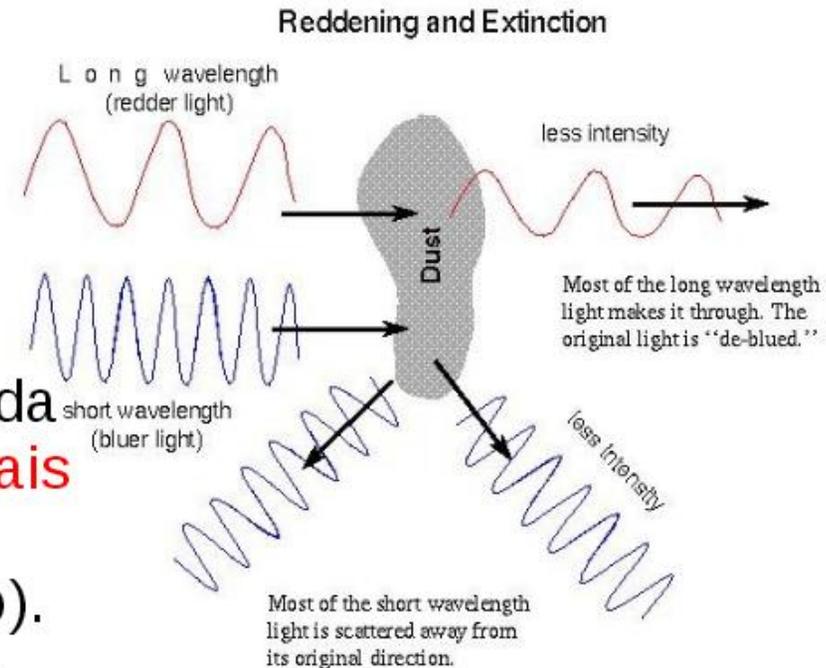
$$m_{\lambda} = M_{\lambda} + 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A_{\lambda}$$

Luz de comprimento de onda **curto** (azul) é espalhado **mais intensamente**, que luz de c. d. o. comprido (vermelho).

=> Objetos vistos através de nuvens de poeira aparecem **mais vermelhos**.

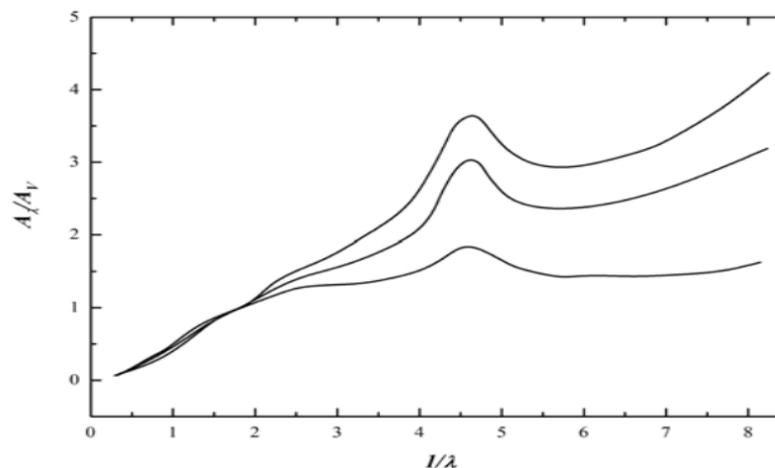
=> **Avermelhamento interestelar**.

Poeira é **mais transparente** no **infravermelho** que no ótico.



O avermelhamento das estrelas distantes é devido ao fato de A ser maior para comprimentos de onda curtos (luz azul) do que para os longos (luz vermelha). Sabe-se que a extinção é produzida pelo espalhamento e pela absorção da luz por grãos com dimensões da ordem de 0,01 a 1 μm (o micron, μm , é um milésimo de milímetro), que afetam mais a luz azul do que a luz vermelha. Este efeito é parecido com o que torna o Sol avermelhado quando ele está próximo do horizonte, ou seja, quando a luz solar tem que atravessar um longo caminho na atmosfera terrestre até nos alcançar. Como a luz vermelha é menos espalhada e absorvida pela atmosfera terrestre do que a luz azul, depois de percorrido um longo trajeto, sobra relativamente mais luz vermelha. Já que a extinção depende da faixa de comprimento de onda (ou banda) em que é medida, é importante especificar a banda à qual nos referimos: por exemplo usamos A_V para a extinção no visível.

Figura 3-12: curva de extinção, ou variação da extinção interestelar com o comprimento de onda, na direção de 3 estrelas distintas. É tradição apresentar a extinção em função do inverso do comprimento de onda λ (dado em microns). As curvas são normalizadas em $A=1$ para $\lambda=0,55$ microns (centro da banda visível) ou $1/\lambda = 1.8$.



Uma das características importantes da poeira interestelar, portanto, é o fato de apresentar “extinção seletiva”, o que equivale dizer que a extinção depende do comprimento de onda. A figura 3-12 mostra que a extinção cresce para comprimento de onda λ menores ($1/\lambda$ maiores), mas que este crescimento não é idêntico em todas as direções do céu. Uma forma de caracterizar o avermelhamento que afeta uma estrela é o excesso de cor $E(B-V)$, que é a diferença entre o índice de cor $B-V$ observado e aquele que seria esperado para a mesma estrela, se não houvesse extinção.

Extinção Interestelar

O avermelhamento interestelar afeta uma **cor**, i. e. $B - V$, de um objeto observado aumentando-a (normalmente) por um valor E_{B-V} ou $E(B - V)$, o **avermelhamento** em $B - V$:

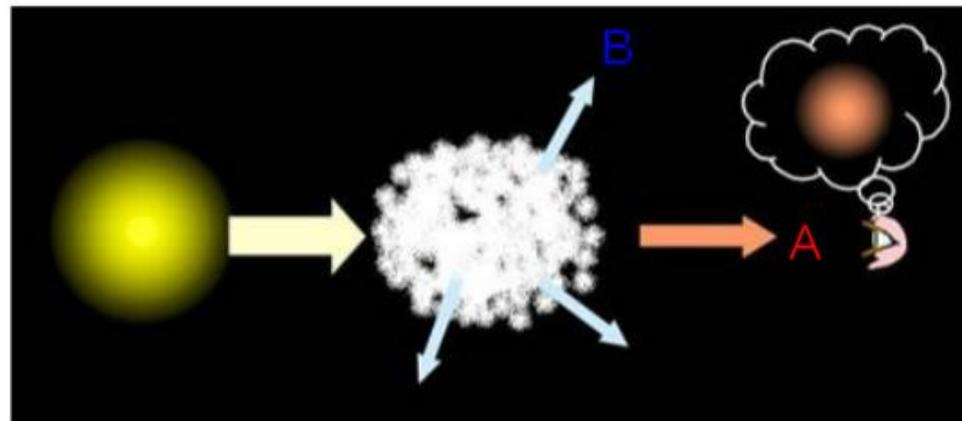
$$\begin{aligned} E_{B-V} &= E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 = (m_B - m_V) - (M_B - M_V) \\ &= [(M_B + 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A_B) - (M_V + 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A_V)] - (M_B - M_V) \\ &= A_B - A_V, \end{aligned}$$

onde $(B - V)_0 = M_B - M_V$ é a **cor intrínseca**, e $B - V = m_B - m_V$, a **cor observada** do objeto.

Extinção Interestelar

O efeito cumulativo dos grãos numa nuvem de poeira faz que:

- **A** vê as estrelas atrás da nuvem mais fracas e avermelhadas. Ele vê uma **nebulosa escura**.
- **B** vê a nuvem “brilhando” em azul. Ele vê uma **nebulosa de reflexão**.



Nebulosa Escura



Barnard 68

Nebulosas de Reflexão

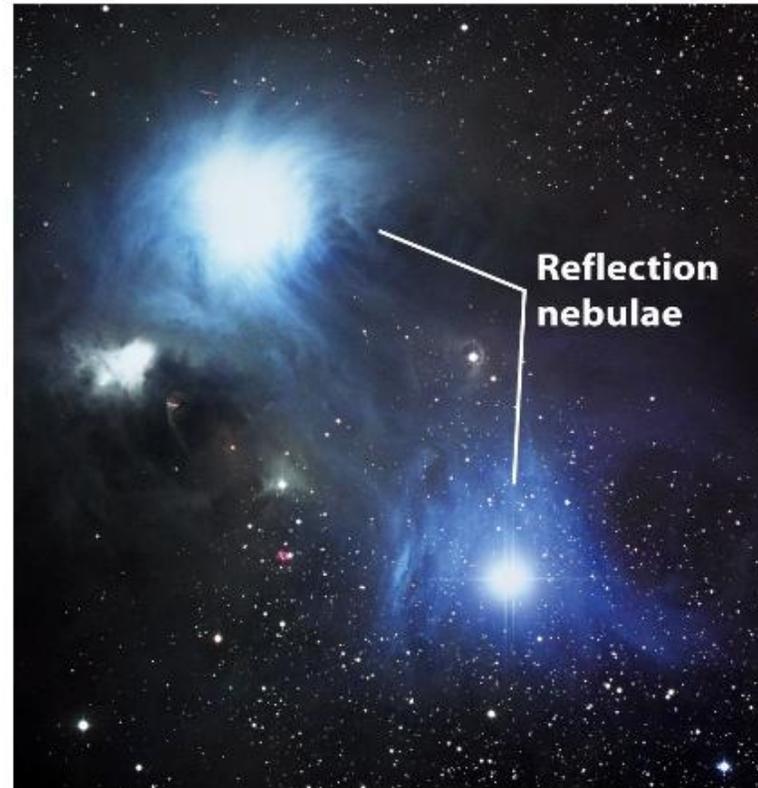
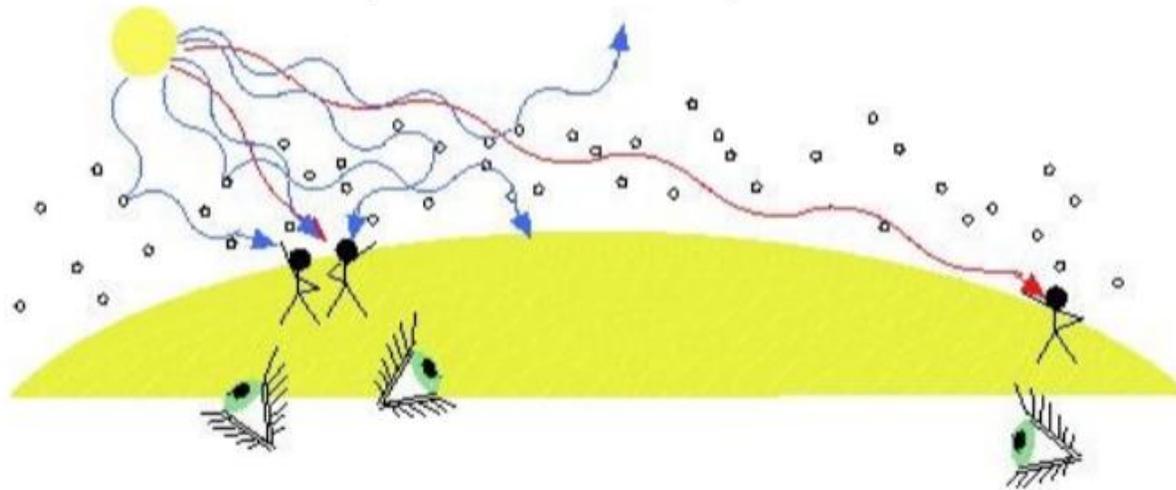


Figure 18-5
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

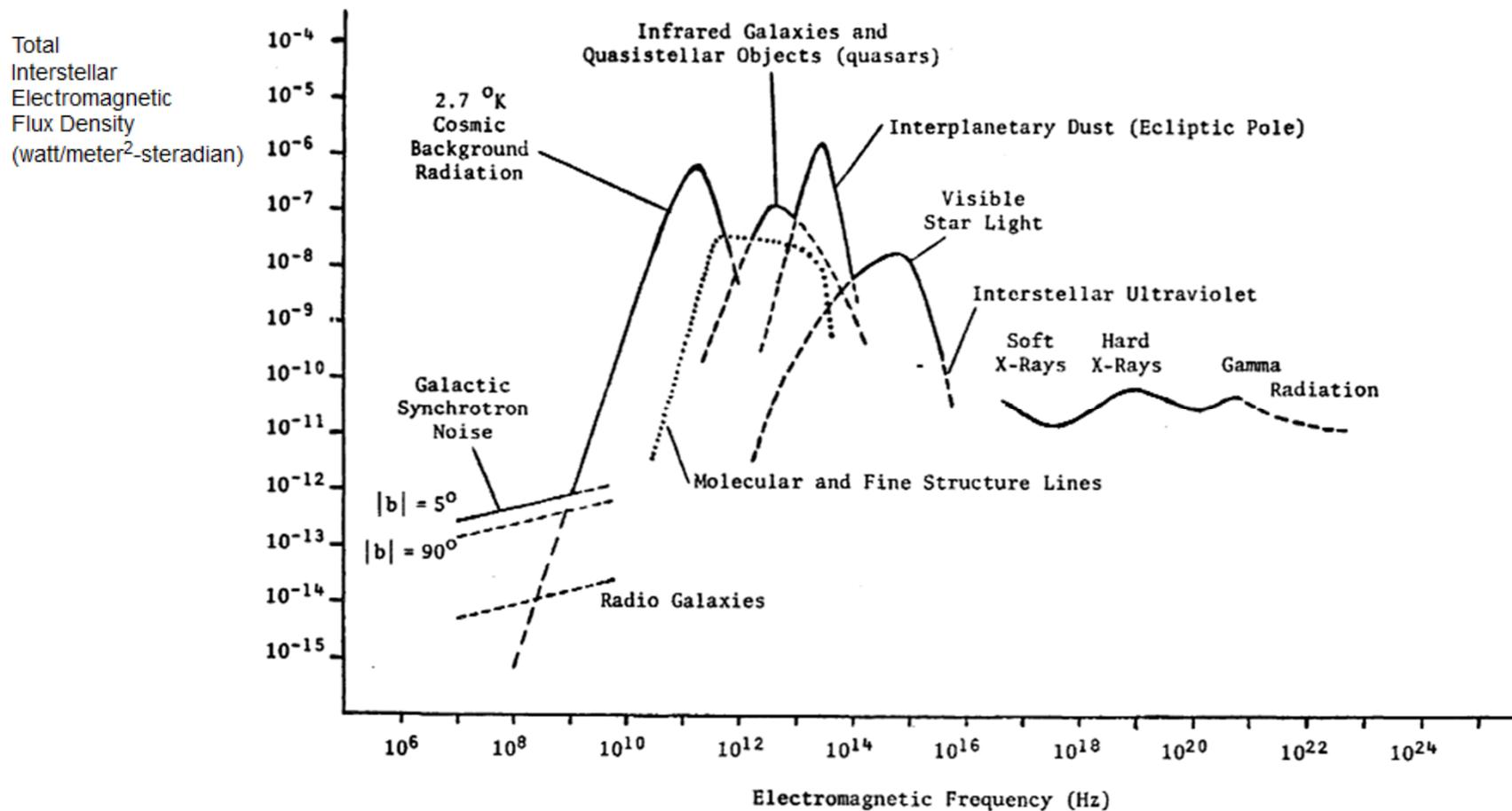
Extinção Interestelar

O **Sol vermelho-alaranjado** perto do **horizonte** e o **céu azul** na Terra podem ser explicados de maneira similar.

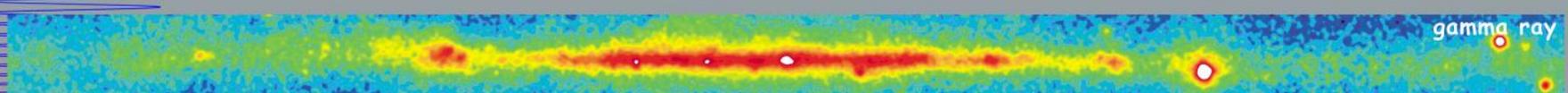
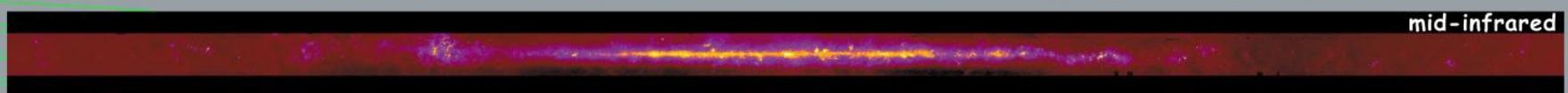
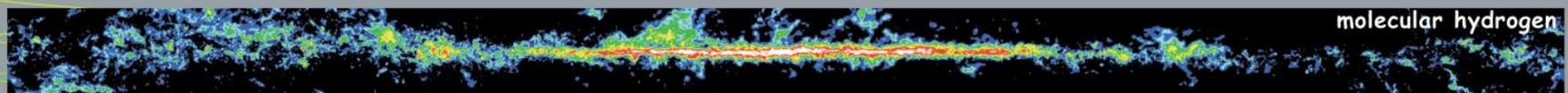
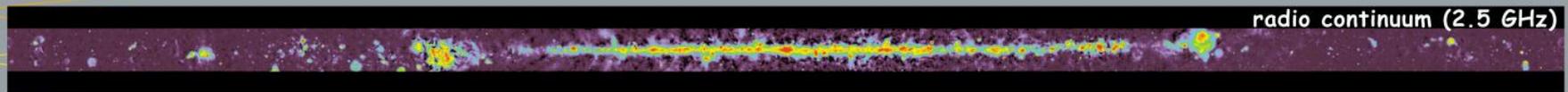
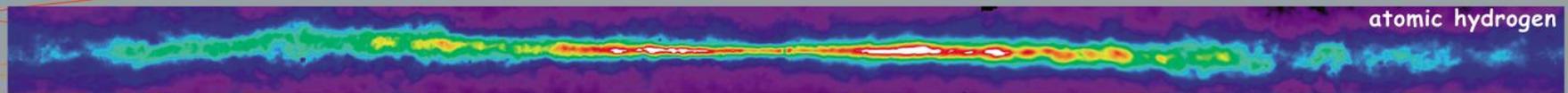
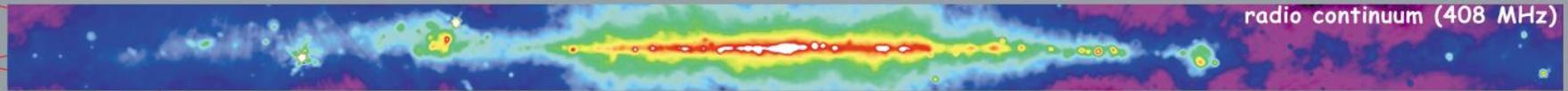


Blue light scatters more than red light. When the Sun is high in the sky you will see all of the colors if you look right at the Sun. But looking in other directions, you will see just the blue colors because some of the blue sunlight will be scattered back to you. When the Sun is near the horizon, the blue sunlight is scattered away leaving only the red and orange sunlight--the Sun appears red.

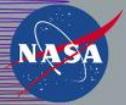
Campo de radiação do MI



http://www.bibliotecapleyades.net/vida_alien/xenology/24.0.htm



<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>



Multiwavelength Milky Way