



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Instituto de Física**  
**Departamento de Astronomia**

**Fundamentos de Astronomia e Astrofísica: FIS2001**

**Prof. Rogério Riffel**



# Extinção Atmosférica

- A atmosfera é praticamente transparente na faixa do visível (3500-6500Å);
- Mas absorve fortemente em outros comprimentos de onda, como UV e IR (< 2000m de altura);
- Na atmosfera existem vários componentes que difundem a luz em todas as direções (moléculas, poeira e fumaça);
- A extinção é tanto maior quanto maior for a camada da atmosfera atravessada pela luz;



# Extinção Atmosférica

Baixatxt

Por isso podemos olhar diretamente para o Sol no pôr-do-Sol;



- A extinção atmosférica afeta a luz das estrelas;
- Quanto maior for a camada de atmosfera atravessada maior será a extinção da luz da estrela;

**Extinção = enfraquecimento + avermelhamento da luz da estrela**



# Extinção interestelar



Parte do disco da Via-Láctea-APD.

- A poeira entre as estrelas também extingue a luz das mesmas;
- Principalmente a poeira do plano da Via-Láctea, que extingue e avermelha a luz das estrelas;
- No quadro.



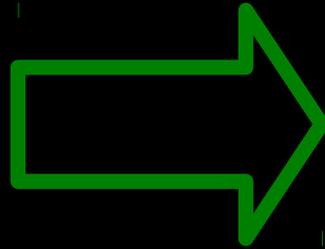
# Radiação de Corpo Negro

**Corpo negro:** corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele, sem refletir nada;

- Toda a radiação emitida pelo corpo negro é devido à sua temperatura;
- Estrelas emitem radiação de forma parecida com a de corpos negros (Temperatura);
- Radiação de corpo negro = radiação térmica : depende apenas da temperatura do corpo, seguindo as leis de Stefan-Boltzmann, de Wien e de Planck.

“O Fluxo na superfície de um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura efetiva do corpo.”

$$F \equiv \sigma T_{\text{ef}}^4$$



$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4} = 5,67 \times 10^{-5} \text{ ergs cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$$

Determinando a Luminosidade da estrela podemos determinar a sua temperatura;

“A radiação eletromagnética se propaga de forma quantizada, em "pacotes" ou "quanta" de energia  $E = h\nu$ ”

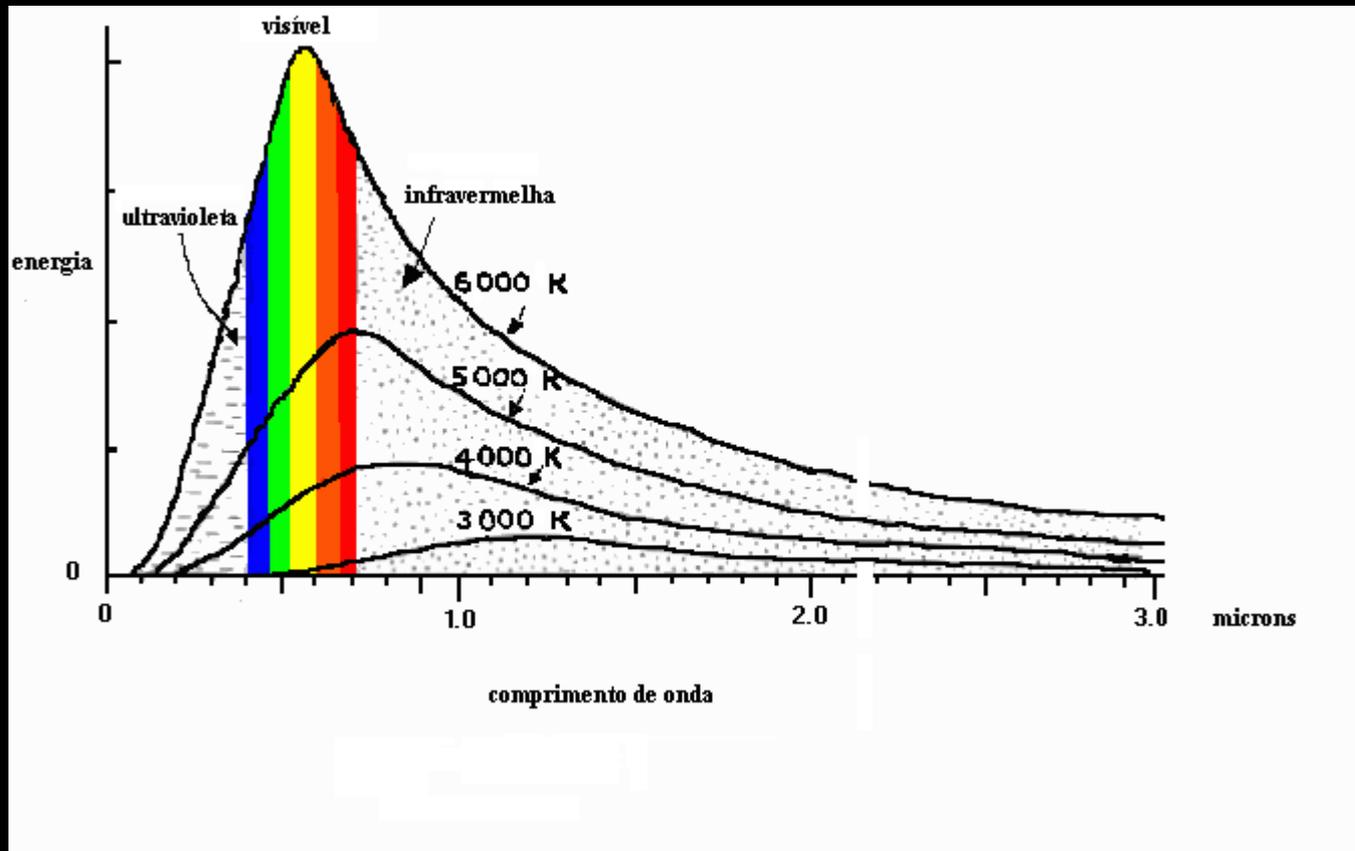
## Mecânica Quântica+ Mecânica Estatística

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Lei de Planck;

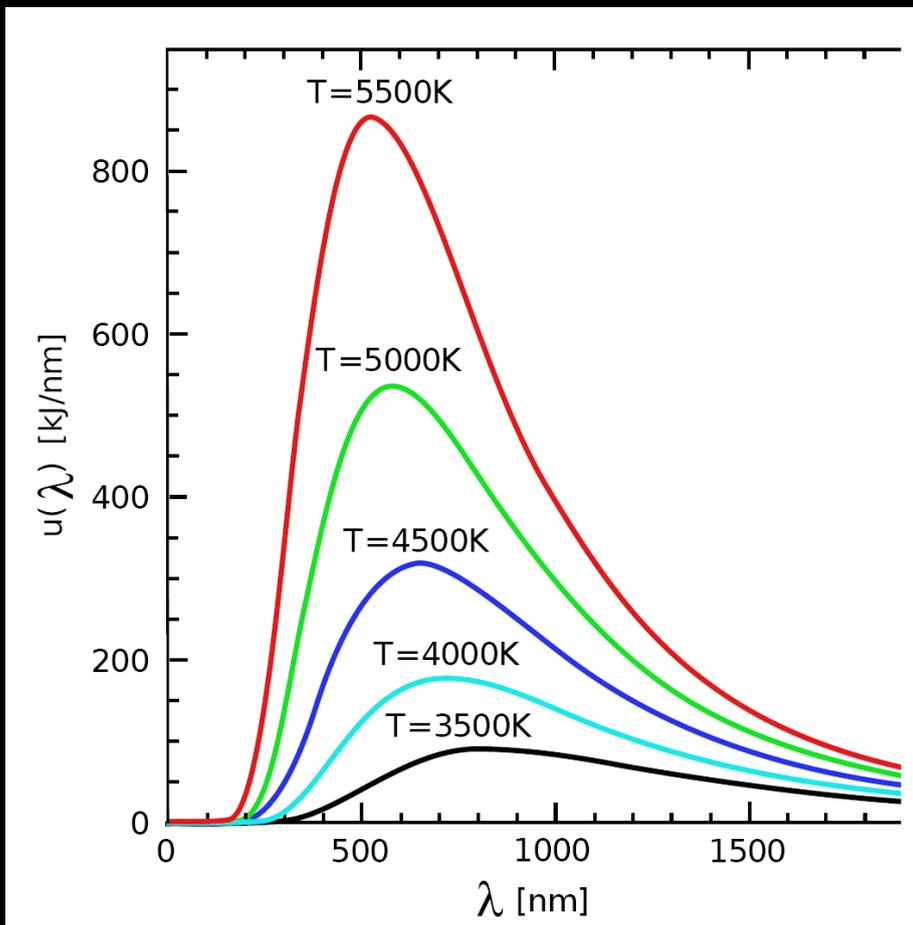
- Qualquer corpo em equilíbrio termodinâmico emitirá fótons com uma distribuição de comprimentos de onda dados pela Lei de Planck;
- Esta radiação é conhecida como *radiação de corpo negro*

# Radiação de Corpo Negro: Lei de Planck



# Radiação de Corpo Negro: Lei de Wien

O comprimento de onda em que um corpo negro tem o pico da radiação é inversamente proporcional à sua temperatura.

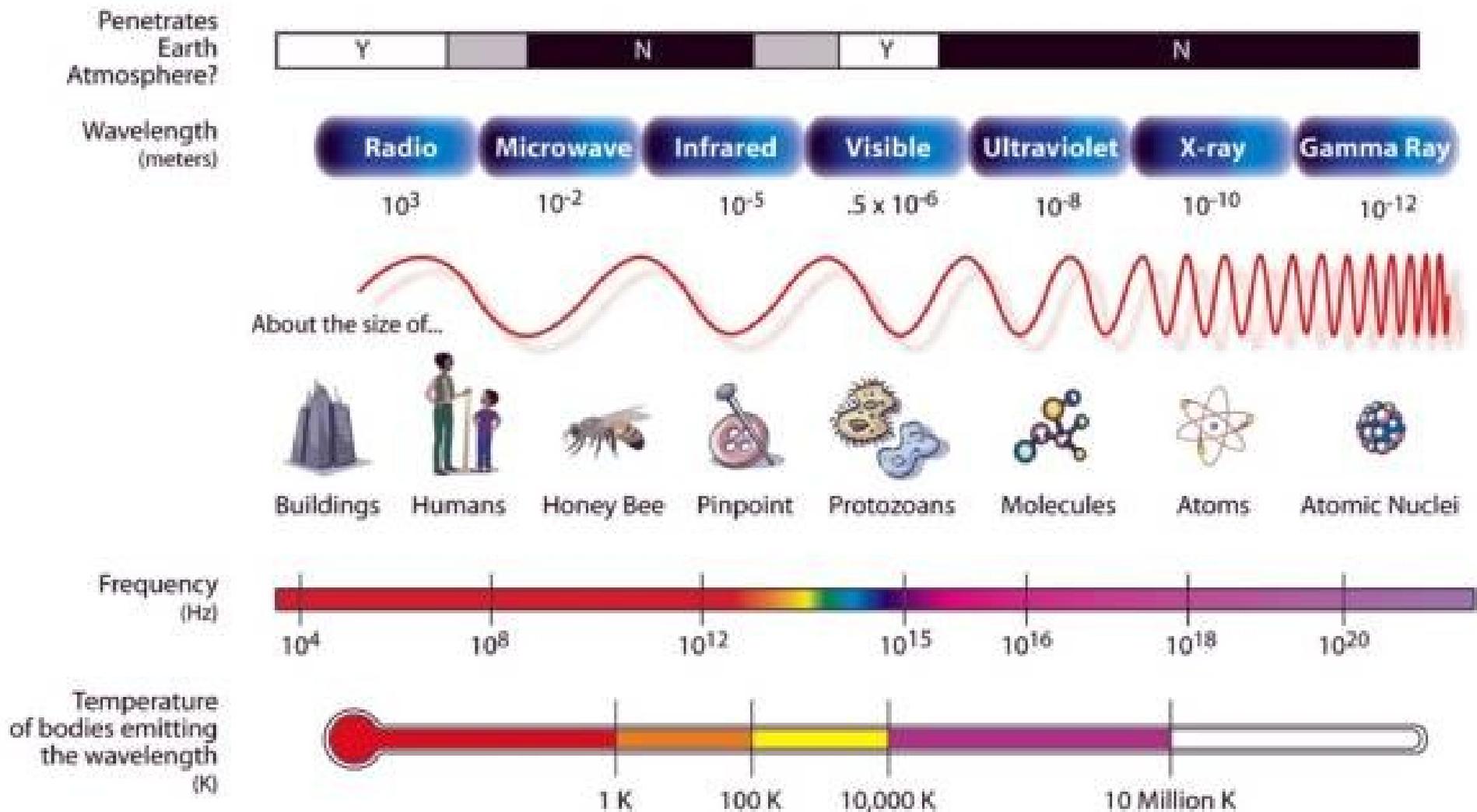


$$\lambda_{\max} T = 0,0028978 \text{ K m}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2897,8 \text{ K } \mu\text{m}}{T}$$

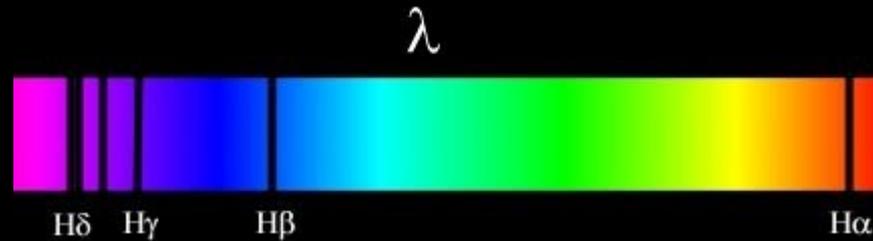
# Espectroscopia

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



# Espectroscopia

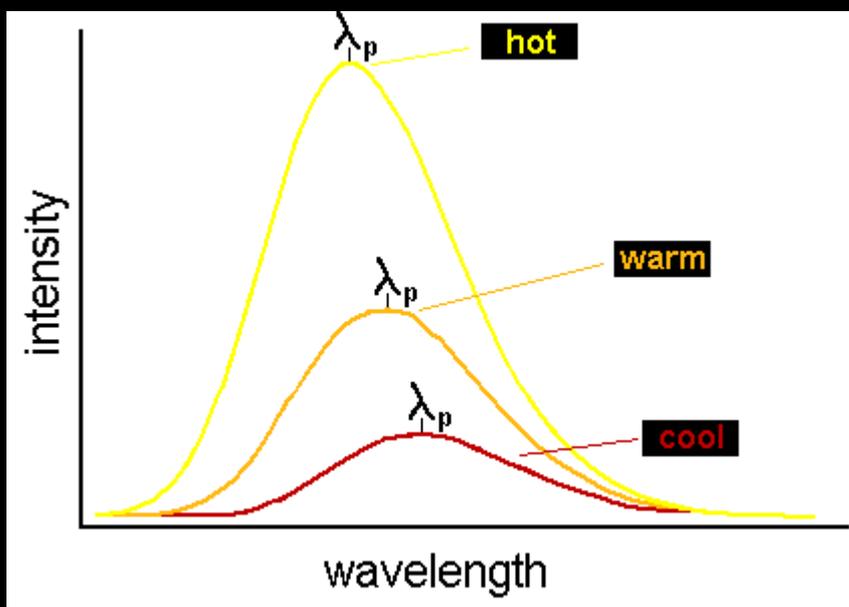
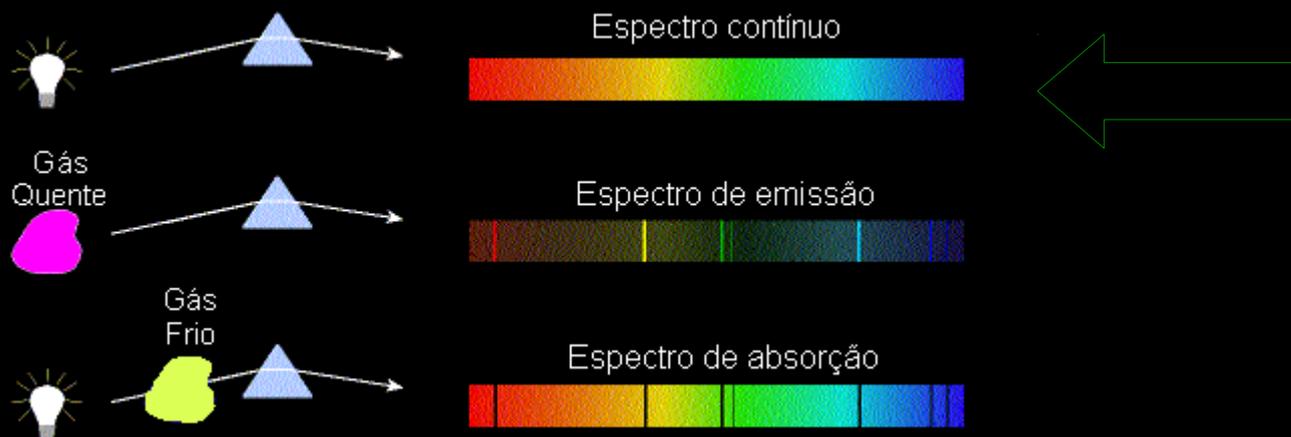
“Espectroscopia é o estudo da luz através de suas componentes, que aparecem quando a luz passa através de um prisma ou de uma rede de difração”



À intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda, chamamos de espectro.

**Quase todas as informações sobre as propriedades físicas de um objeto podem ser obtidas a partir de seu espectro.**

# Espectroscopia



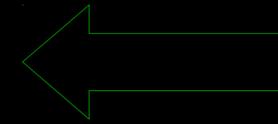
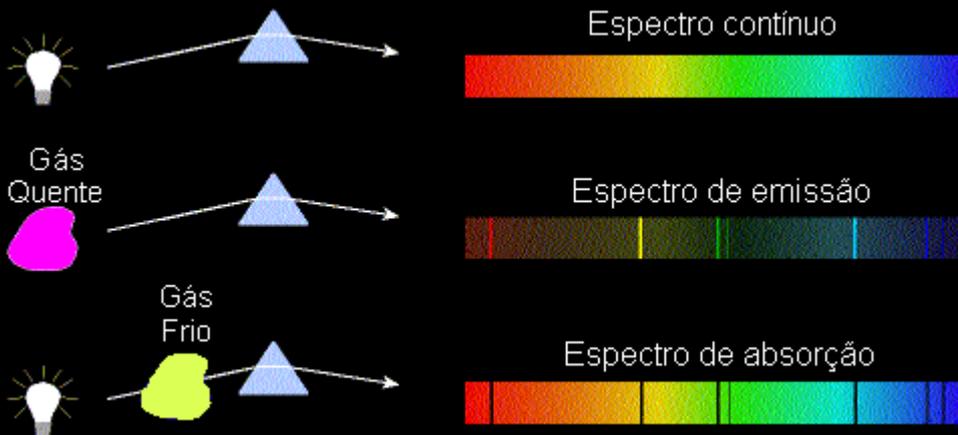
**1) Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo.**

**Ex.**  
Filamento de uma lâmpada incandescente;  
Lava de um vulcão;  
Estrela

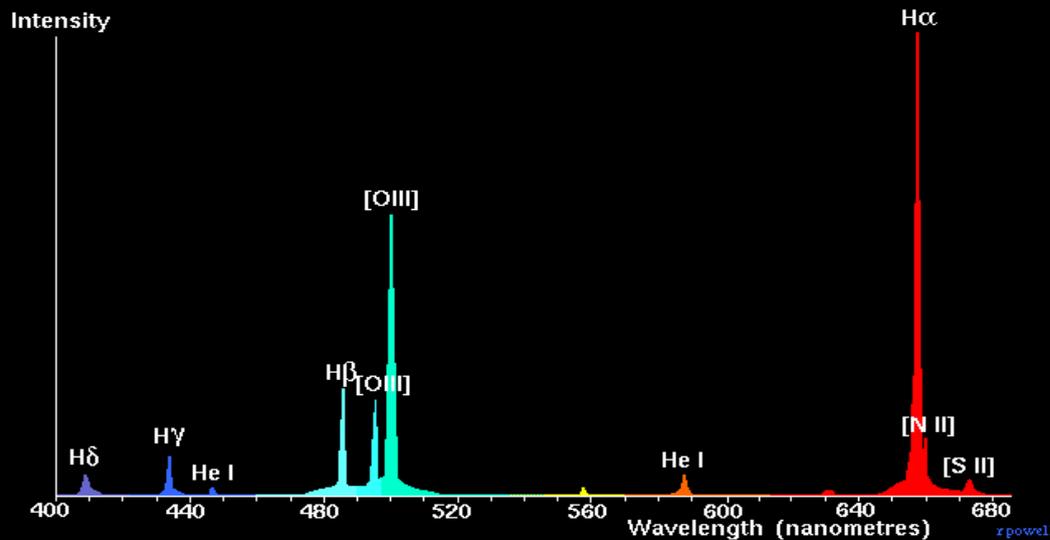


# Espectroscopia

## Leis de Kirchhoff:



2) Um gás transparente produz um espectro de linhas de emissão brilhantes. O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.



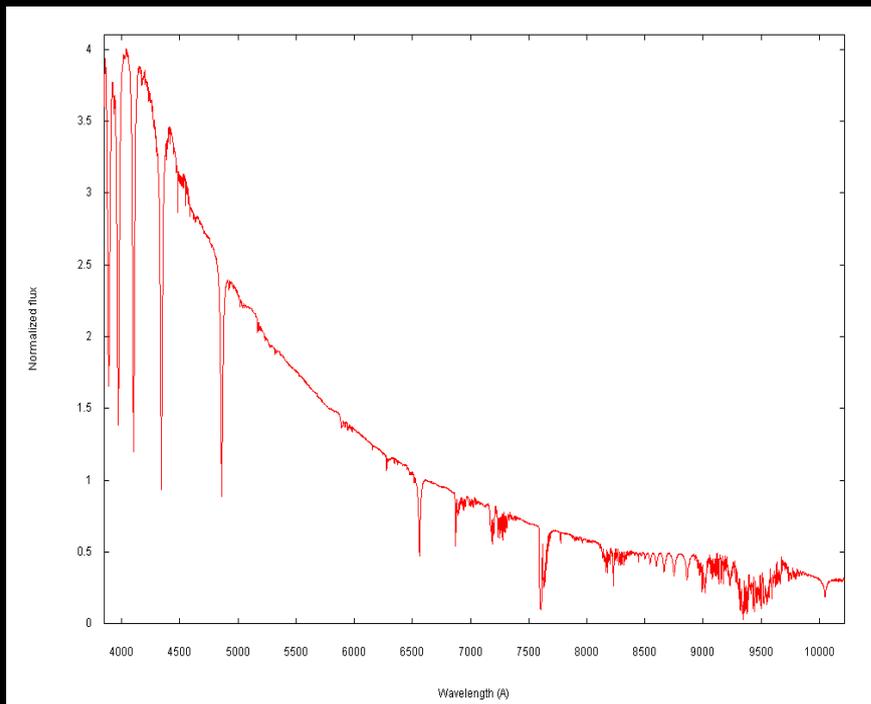
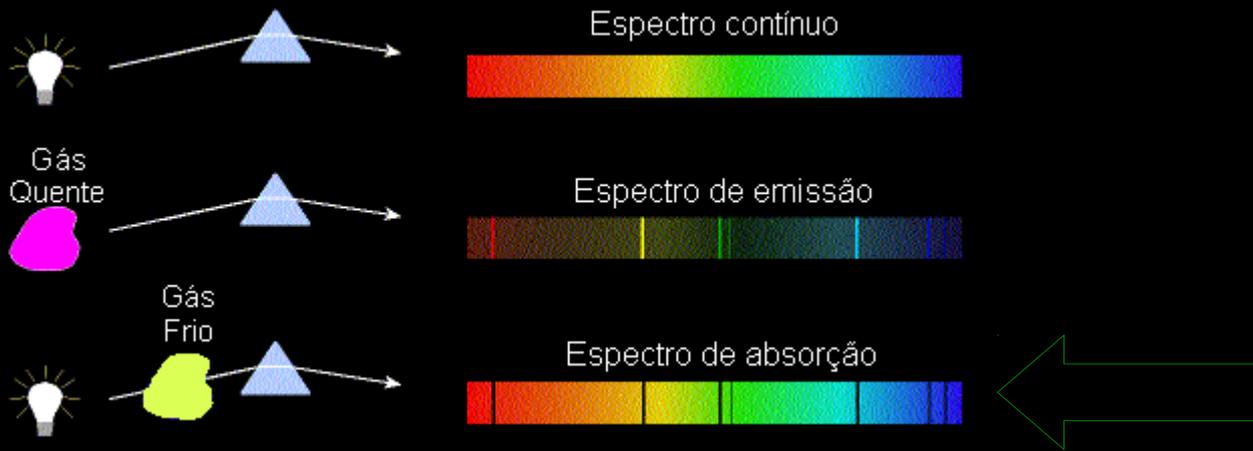
Espectro da nebulosa Eta-Carina

Ex.  
Filamento de uma lâmpada fluorescente



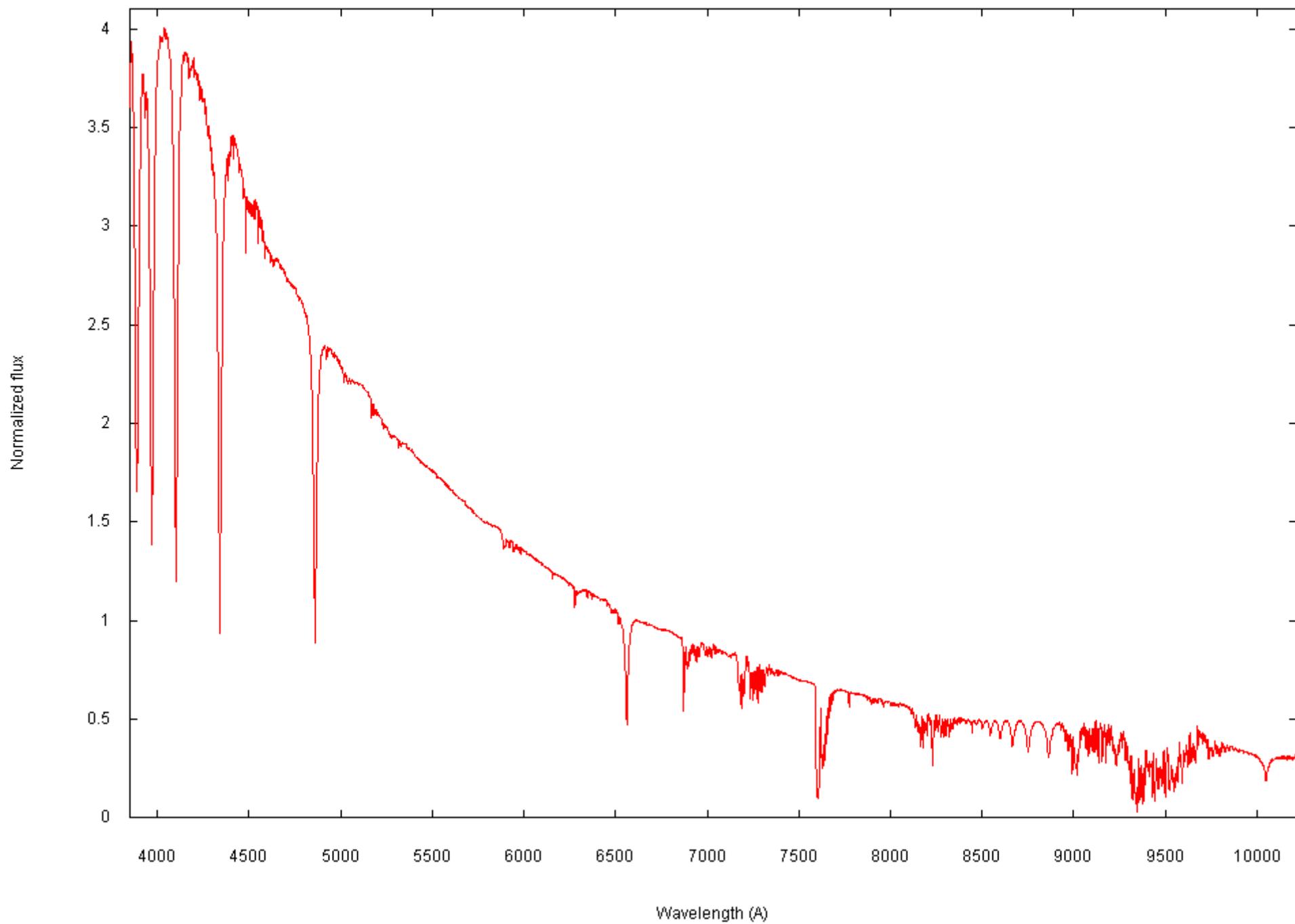
# Espectroscopia

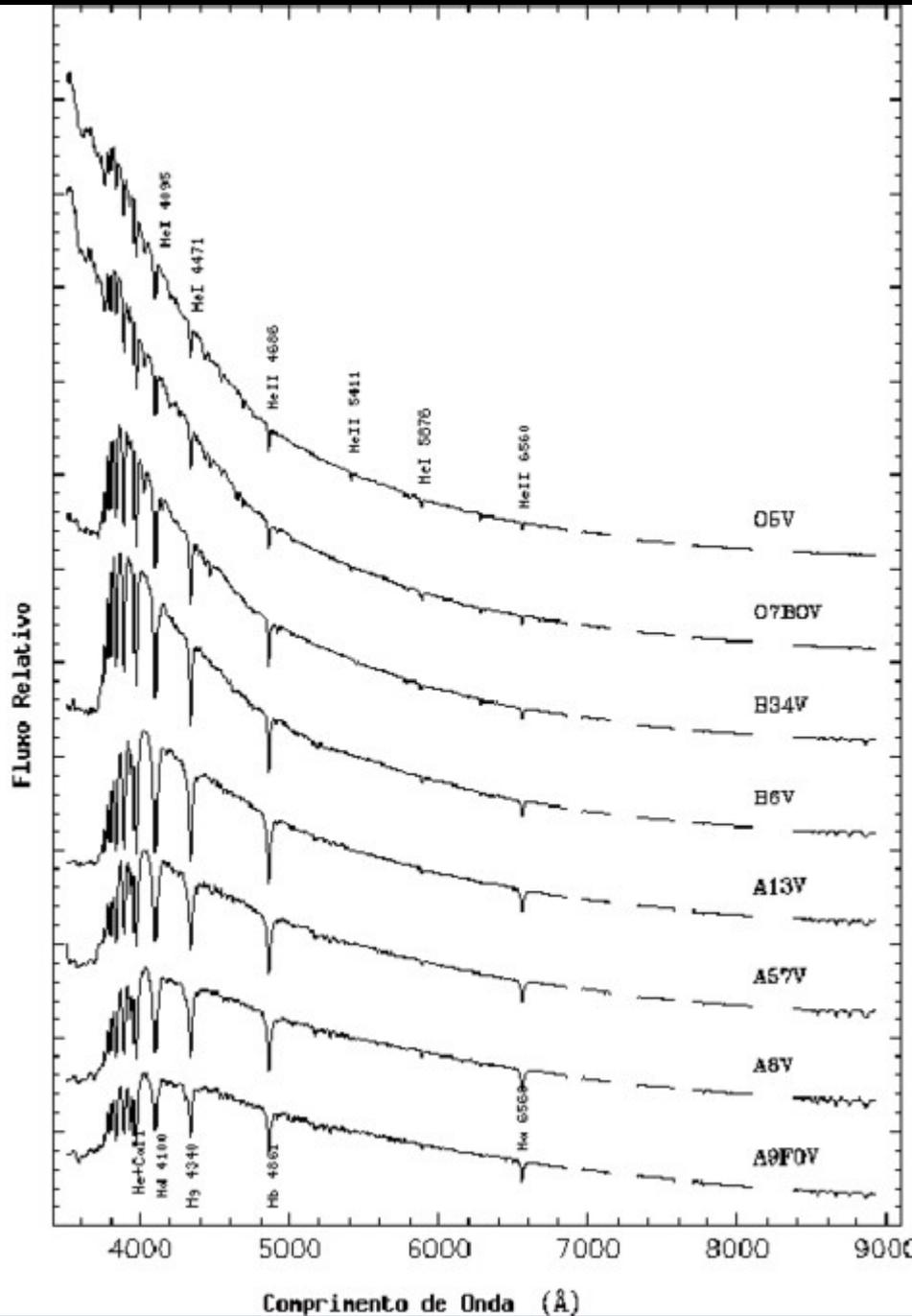
## Leis de Kirchhoff:



**3) Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (absorção). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.**

**Ex.  
Sol e sua atmosfera**





Diferentes tipos de estrelas  
Mais Quentes: no topo

Um espectro contínuo é o  
resultado de diversos espectros de  
linha superpostos!

# Espectro de linhas: como se formam as linhas espectrais?

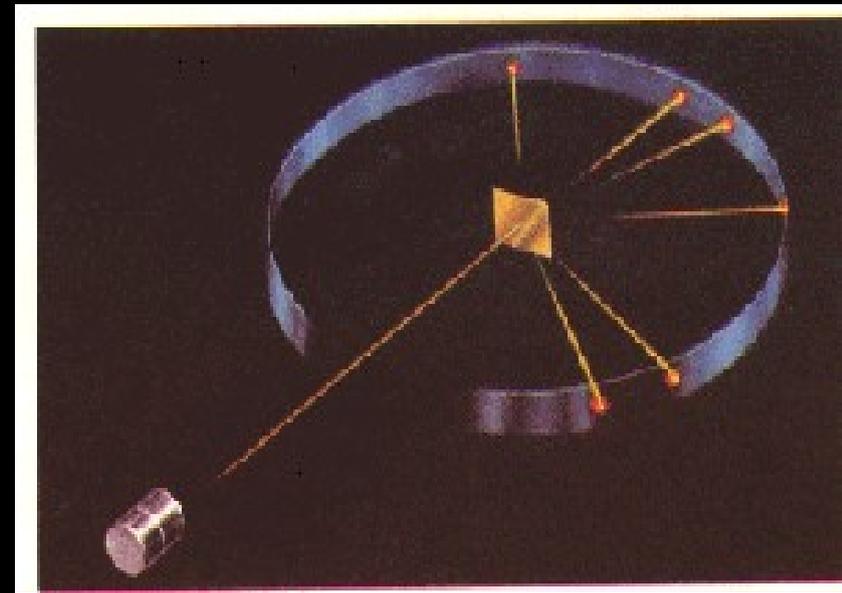
Rutherford; Geiger e Marsden fizeram vários experimentos em 1909 bombardeando folhas de ouro com partículas alfa (íons de hélio).

- Uma em cada 20 000 partículas incidentes eram refletidas na mesma direção de incidência;

- Átomos são formados por um pequeno núcleo, com carga elétrica positiva rodeado por uma nuvem de elétrons ( $q^-$ );

- Esses elétrons não poderiam estar parados, pois eles cairiam em direção ao núcleo devido à atração coulombiana, então Rutherford propôs que os elétrons estariam girando em torno do núcleo em órbitas circulares.

- No entanto, isso não resolvia o problema da estabilidade do núcleo, pois cargas elétricas aceleradas emitem energia, e a perda de energia faria os elétrons espiralarem rapidamente em direção ao núcleo, emitindo radiação em todos os comprimentos de onda e tornando os átomos instáveis;



# Espectro de linhas: como se formam as linhas espectrais?

Em 1900, o cientista alemão Max Planck (1858-1947) desenvolveu o modelo da **quantização da luz**, segundo o qual a matéria emite luz em pacotes de energia, que ele denominou **quanta**.



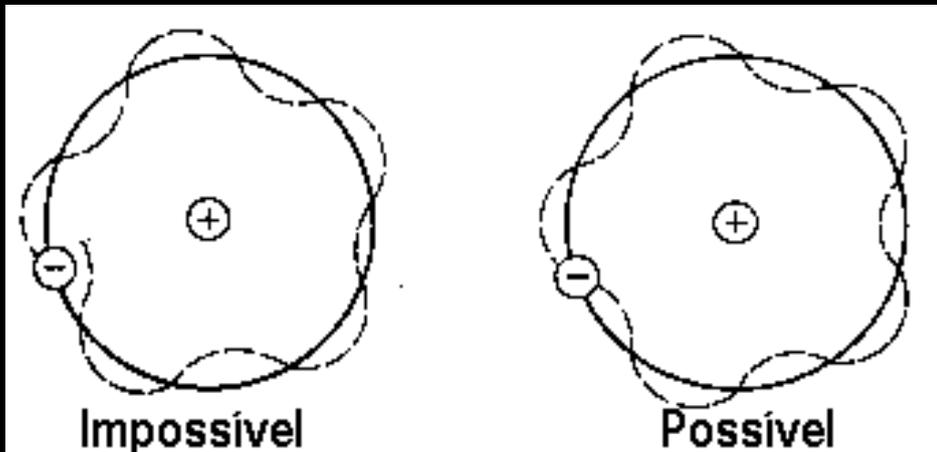
a) Uma partícula colide com o átomo (1) que se excita, fazendo com que seu elétron pule para um nível de maior energia (2).

b) o elétron volta para seu nível de energia original, liberando a energia extra na forma de um fóton de luz (3).

A figura mostra um átomo constituído de um núcleo e um elétron (bolinha azul) em meio a várias partículas (bolinhas amarelas).

# Espectro de linhas: Níveis de Energia do Hidrogênio

- Para cada elétron existe um certo nível de energia (órbita) ;
- As únicas órbitas possíveis são aquelas cujo perímetro é igual a um número inteiro de comprimentos de onda do elétron;



$$2\pi r = n\lambda_e$$

$$n=1,2,3\dots$$

- o elétron ganha ou perde energia "saltando" de um nível para outro de maior ou menor energia;
- quando o elétron **absorve** luz (saltando para um nível de maior energia) ele produz uma linha de absorção;
- quando o elétron **emite** luz (saltando para um nível de menor energia) ele produz uma linha de emissão;

a diferença entre dois níveis de energia é igual a:

$$E_{\text{fóton}} = E(n_1) - E(n_2)$$

$$E_{\text{fóton}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Então:

$$h\nu = E(n_1) - E(n_2) = 13,6 \text{ eV} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Como:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Então:

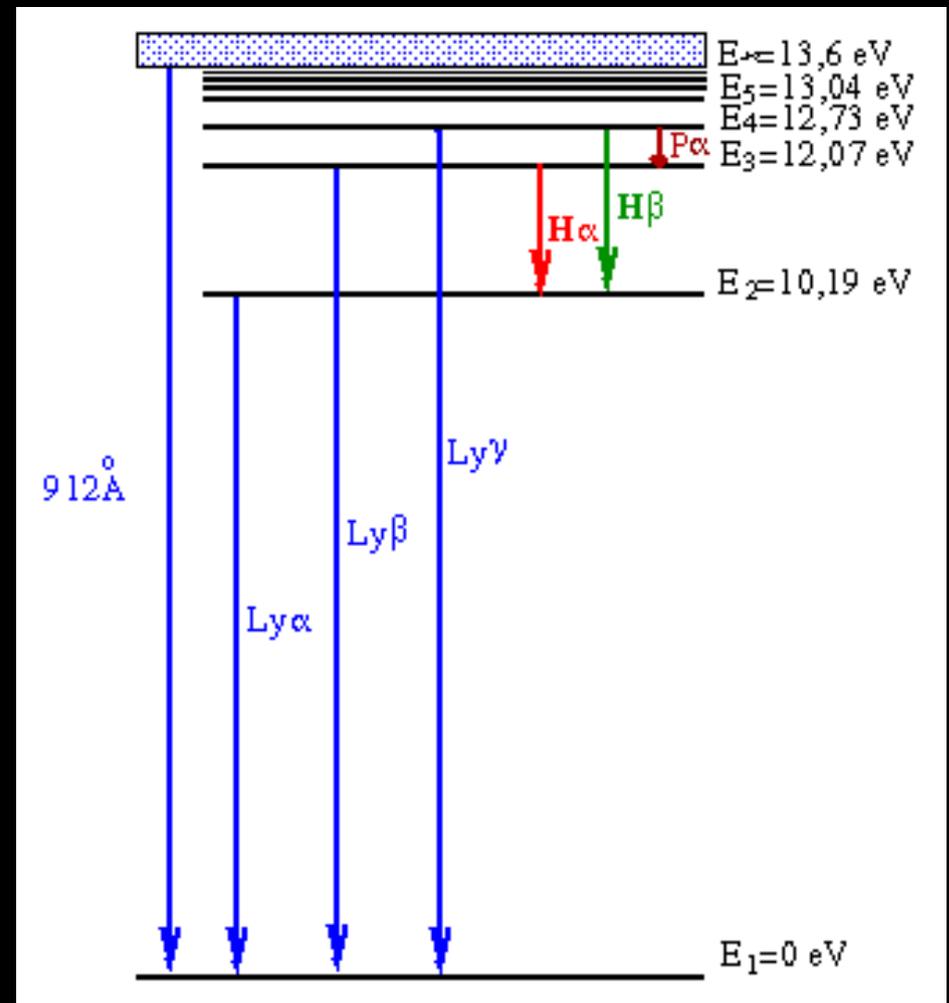
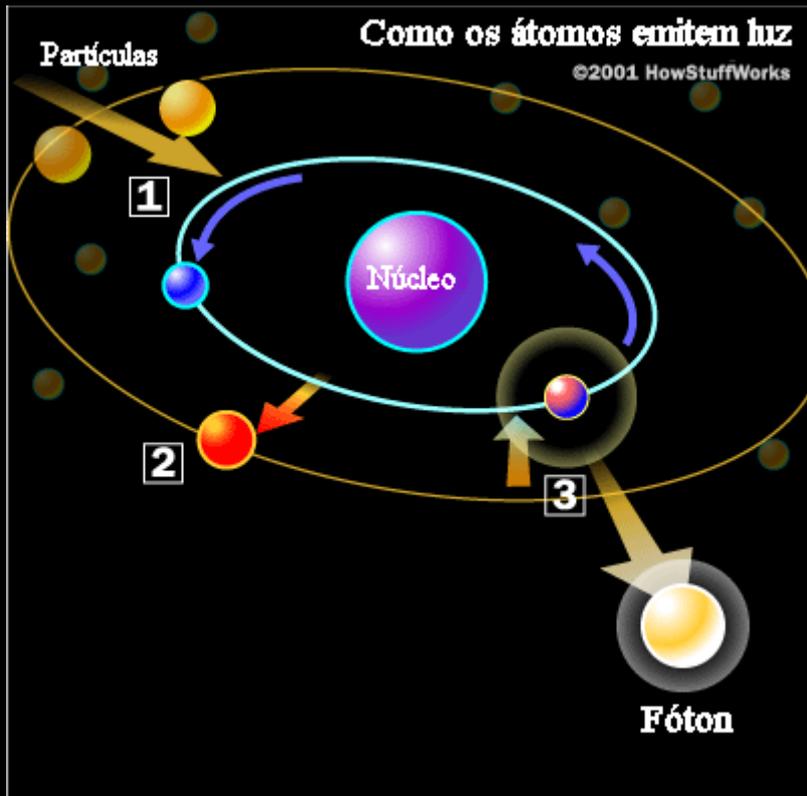
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13,6 \text{ eV}}{hc} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \frac{1}{912 \text{ \AA}} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Onde 13,6 eV é a energia necessária para arrancar o elétron do átomo de hidrogênio, ou seja, ionizar o átomo. O comprimento de onda de um fóton com essa energia é 912 Å.

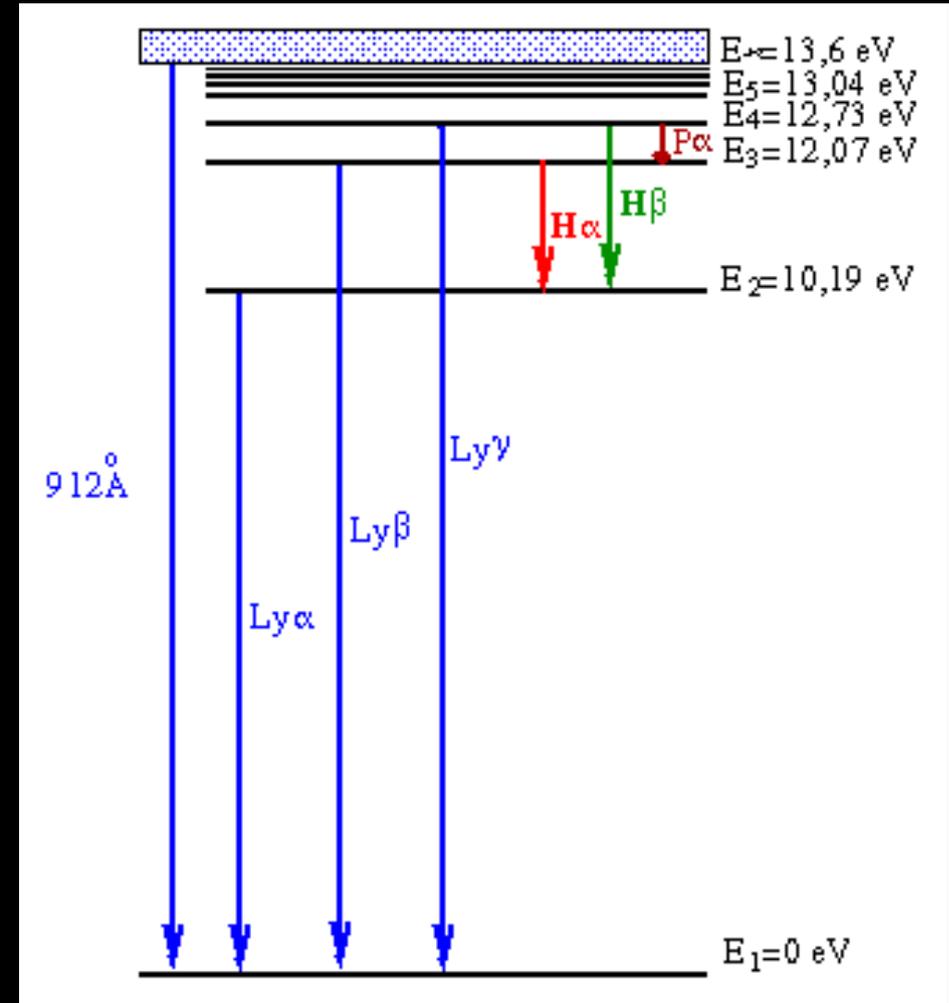
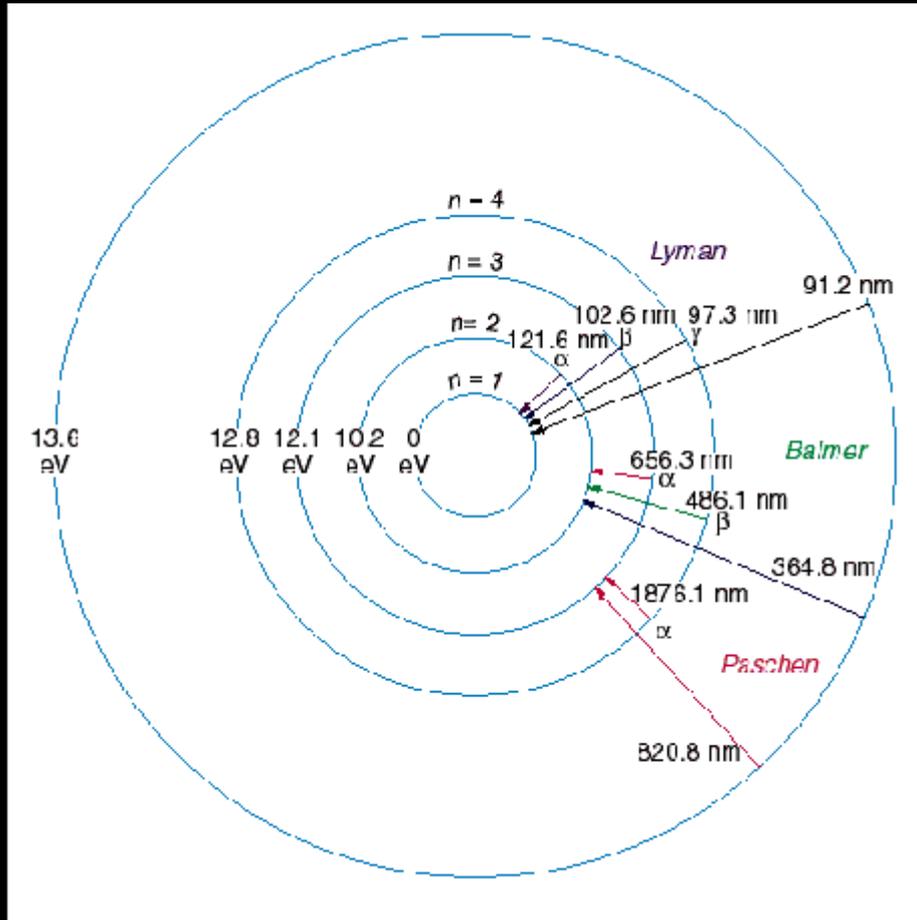
# Espectro de linhas: Níveis de Energia do Hidrogênio

$$E_{\text{fóton}} = E(n_1) - E(n_2)$$

Somente fótons com energia igual à diferença de energia entre dois níveis atômicos podem ser emitidos ou absorvidos;



# Espectro de linhas: Níveis de Energia do Hidrogênio





**Estrelas emitem um espectro contínuo com linhas de absorção.**

## **Contínuo:**

- é gerado na sua superfície visível (fotosfera)
- tem forma similar à de um corpo negro com a temperatura da fotosfera.
- a cor de uma estrela depende de sua temperatura (Lei de Wien);
- estrelas quentes parecem azuis ( $T=10\ 000-50\ 000\ K$ );
- estrelas "mornas" parecem amareladas ( $T\sim 6000K$ );
- estrelas frias parecem vermelhas ( $T\sim 3000K$ );

## **Linhas de absorção:**

- São geradas nas atmosfera fina logo acima da fotosfera;
- Sua presença depende dos elementos ali presentes e da temperatura da estrela;

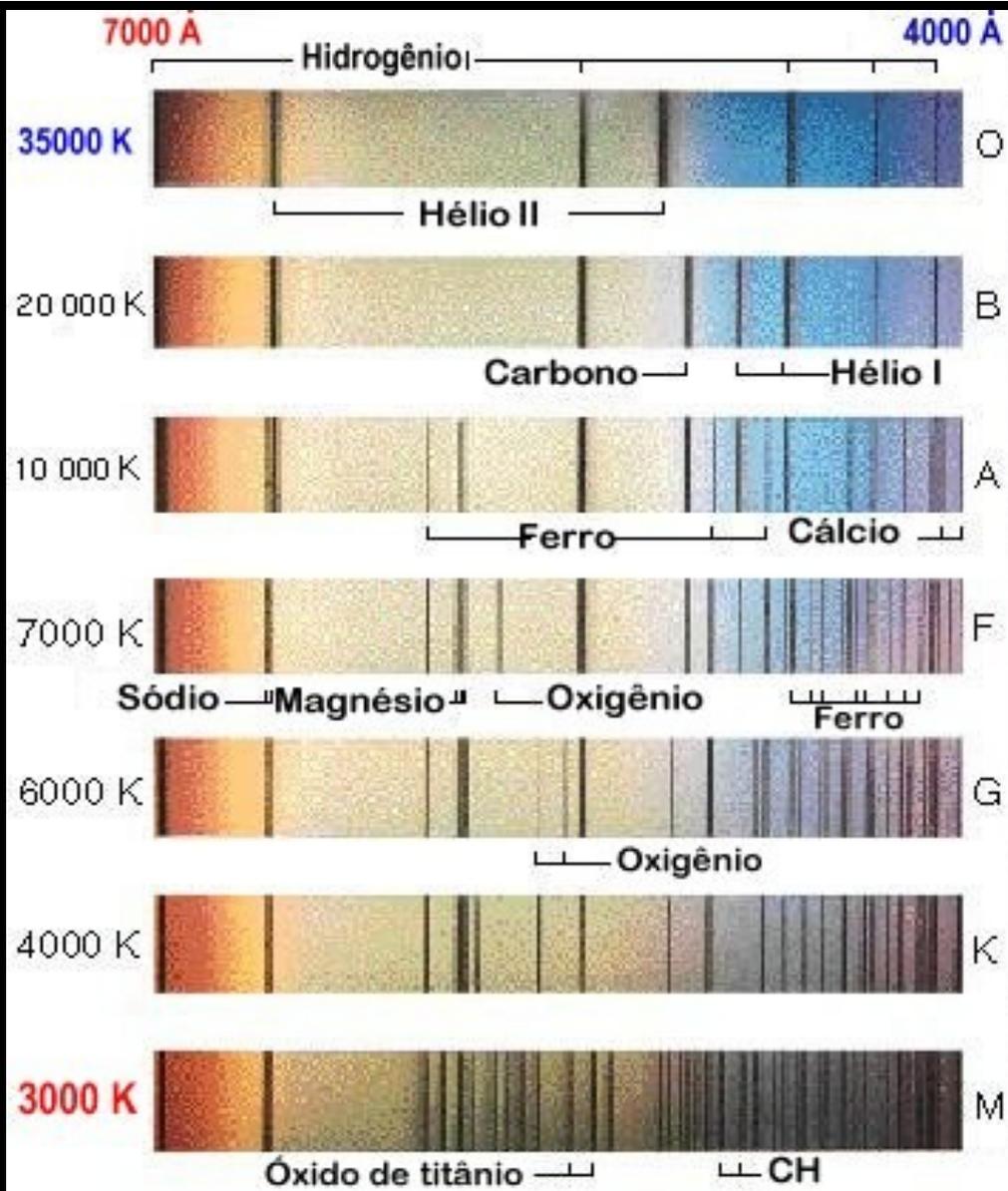


Aproximadamente em 1900 - Annie Jump Cannon: classificou os espectros de 225 000 estrelas até magnitude 9. Publicou a classificação no Henry Draper Catalogue, entre 1918 e 1924.

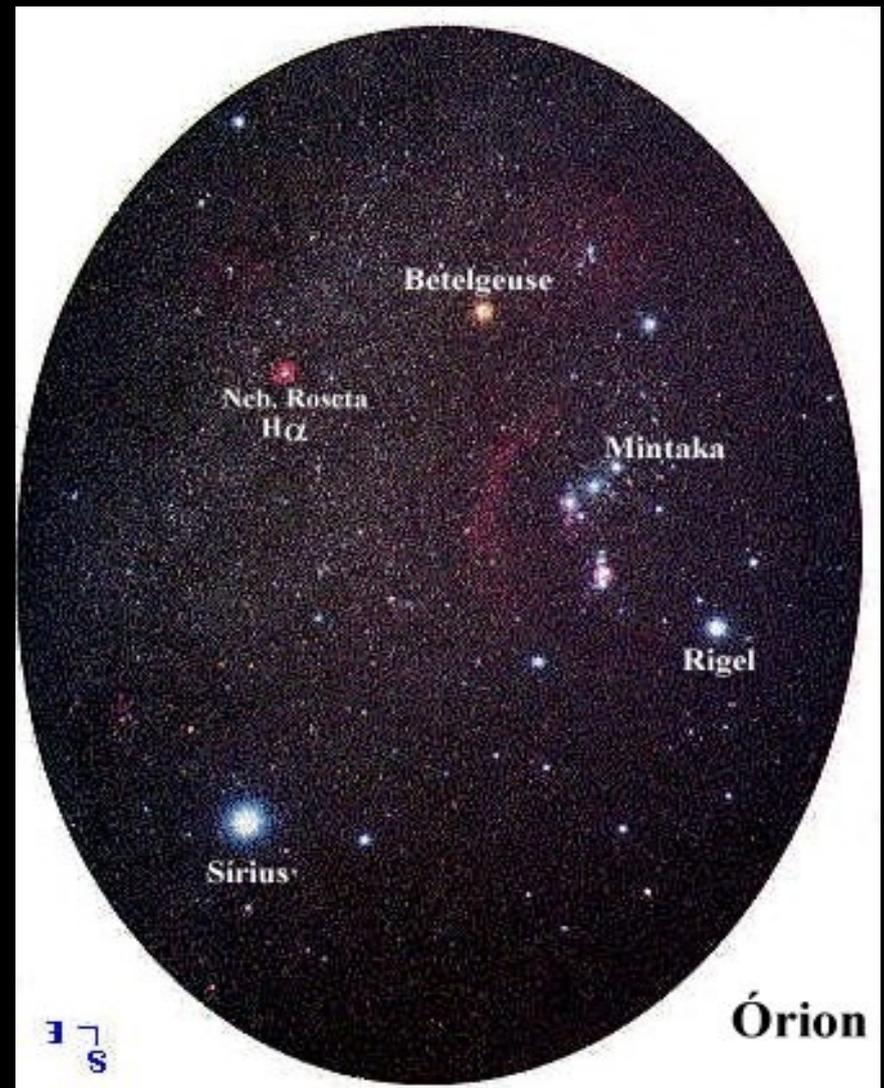
## Aspectos principais da classificação:

- Baseia-se nas intensidades relativas das linhas de absorção presentes essa intensidade está associada à temperatura da estrela, logo é uma **classificação de temperatura**;
- Em ordem decrescente de temperatura, as classes espectrais são: O, B, A, F, G, K, M;
- Cada classe se subdivide em 10: de 0 a 9 (... , A0,A1,A2,...,A9,F0,F1,..) sendo 0 a mais quente dentro da classe e 9 a mais fria.

# Espectros estelares: Classificação espectral



Oh! **B**e **A** Fine **G**irl, **K**iss **M**e!.



Exemplos de tipos: <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/SpTypes/index.html>

Baseia-se nas larguras das linhas de absorção do espectro. que dependem fortemente da gravidade superficial, diretamente relacionada à luminosidade pelo raio

**Linhas de absorção são sensíveis à pressão do gás:**

**Ficam mais largas conforme a pressão aumenta.**

Estrelas grandes têm pressão menor.

Estrelas pequenas têm pressão maior.

Portanto:

Estrelas **grandes** têm linhas de absorção **estreitas** .

Estrelas **pequenas** têm linhas de absorção **alargadas** .


$$g = \frac{GM}{R^2}$$

M é similar

Estrelas grandes são mais brilhantes à mesma temperatura que um estrela pequena.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

**Ia - supergigantes superluminosas. Exemplo: Rigel (B8Ia)**

**Ib - supergigantes. Exemplo: Betelgeuse (M2Iab)**

**II - gigantes luminosas. Exemplo: Antares (MII)**

**III - gigantes. Exemplo: Aldebarã (K5III)**

**IV - subgigantes. Exemplo: Acrux ( Crucis - B1IV)**

**V - anãs (seqüência principal). Exemplo: Sol (G2V)**