

Para perceber porque é que os corpos quentes radiam energia é necessário perceber **o que é o calor**.

Para perceber o espectro estelar (que é mais complicado que o do corpo negro ideal) é necessário perceber a:

- > **estrutura atómica**
- > **interacção entre a radiação e a matéria.**

O modelo atómico de Bohr



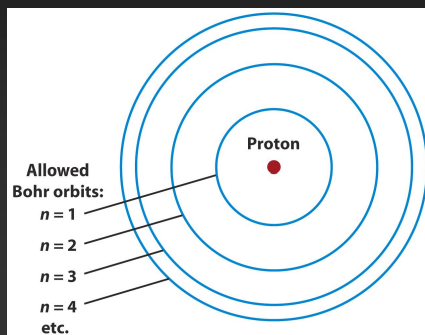
Niels Bohr (1885-1962)
Físico Dinamarques

Os comprimentos de onda das transições entre os diferentes níveis de energia, para o átomo de hidrogénio e para átomos hidrogenóides, podem ser percebidas com base no modelo atómico de Bohr.

O núcleo de um átomo encontra-se rodeado por electrões, que ocupam determinadas órbitas de determinada energia.

Quando um electrão transita de um estado energético para outro, emite ou absorve energia, de um determinado comprimento de onda.

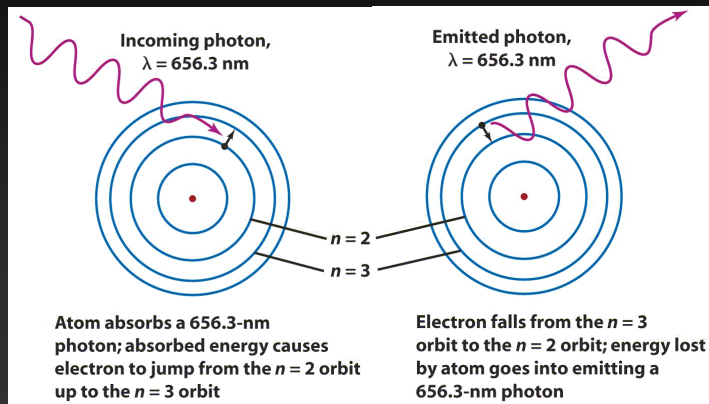
As linhas espectrais, de um determinado elemento, correspondem às transições electrónicas entre os diferentes níveis de energia, do átomo desse elemento.



Exemplo de transição electrónica

Absorção de energia

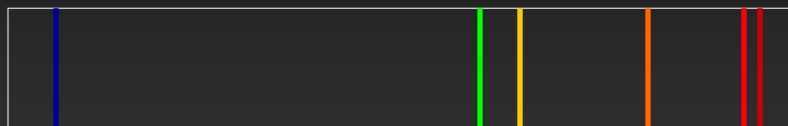
Emissão de energia



AESTIT Julho 07 2.3

O espectro de absorção e de emissão

O espectro de absorção, é formado por linhas negras estreitas, localizadas para valores do comprimento de onda para o qual se deu a absorção da radiação, num fundo contínuo (do tipo arco íris).

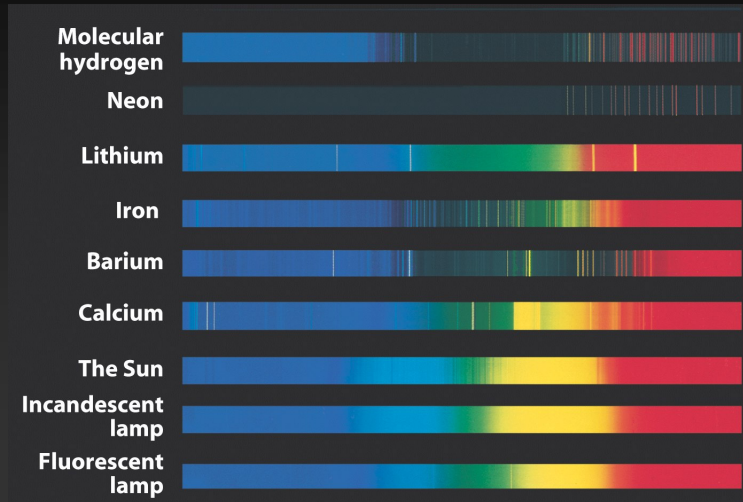


O espectro de emissão é constituído por um conjunto discreto de linhas coloridas, localizadas para valores de comprimento de onda ao qual se deu a emissão de radiação, num fundo preto.

A sobreposição dos dois espectros dá-nos um espectro contínuo!

AESTIT Julho 07 2.4

O espectro de emissão (ou de absorção) é único para cada substância.

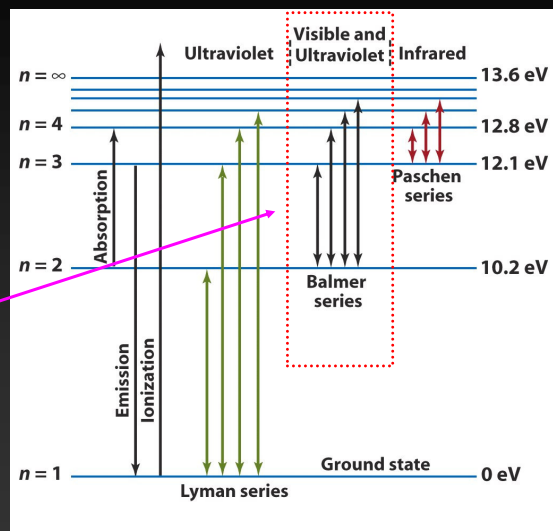


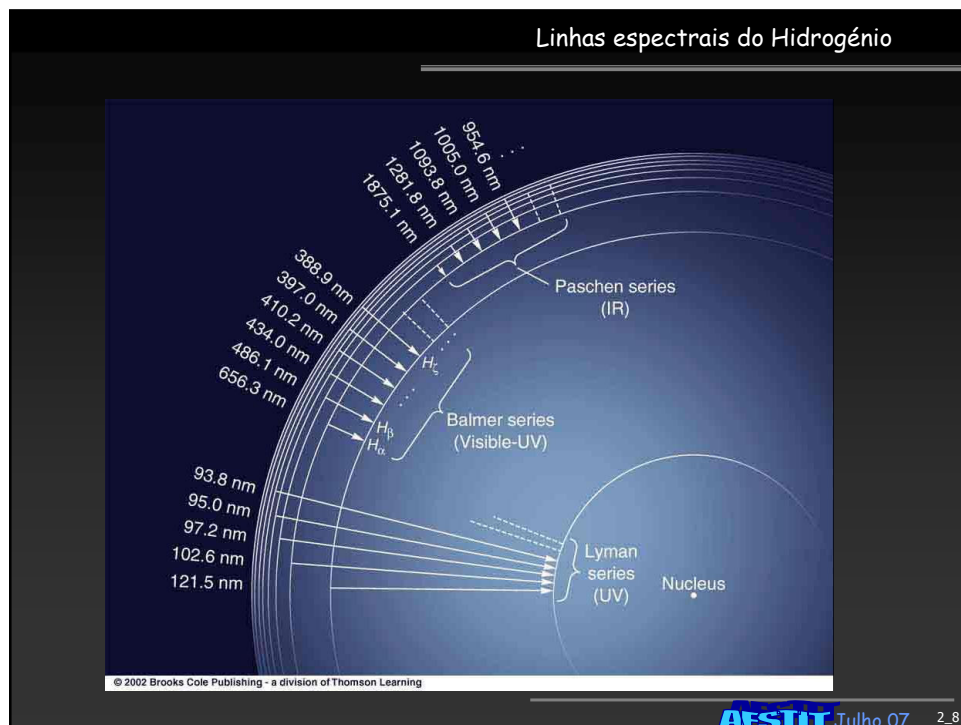
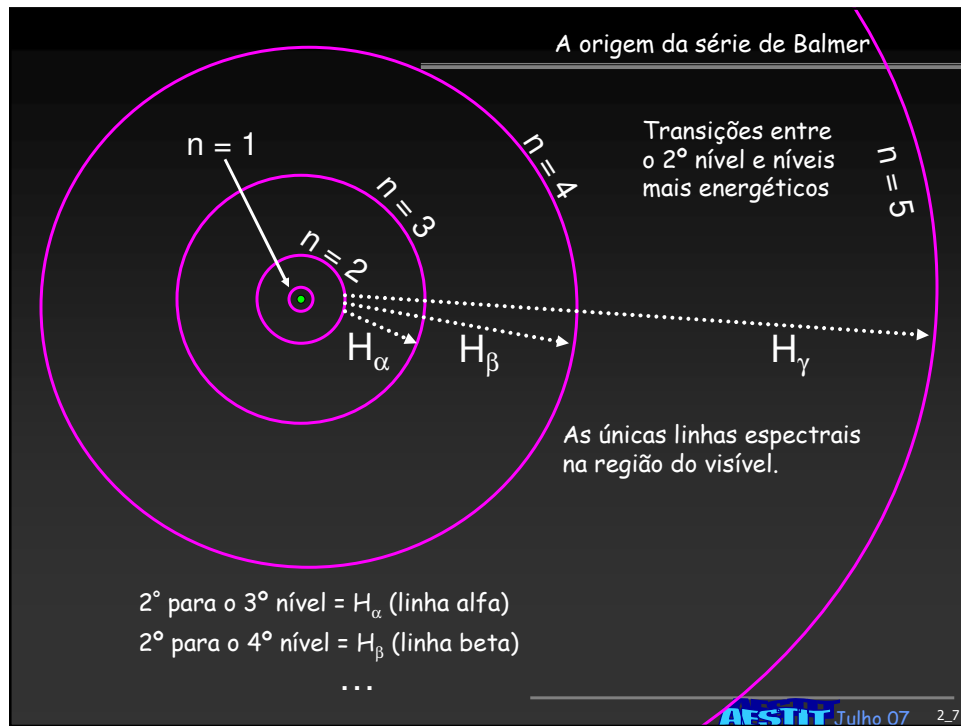
As transições electrónicas no átomo de hidrogénio

O hidrogénio é o elemento mais comum do universo.

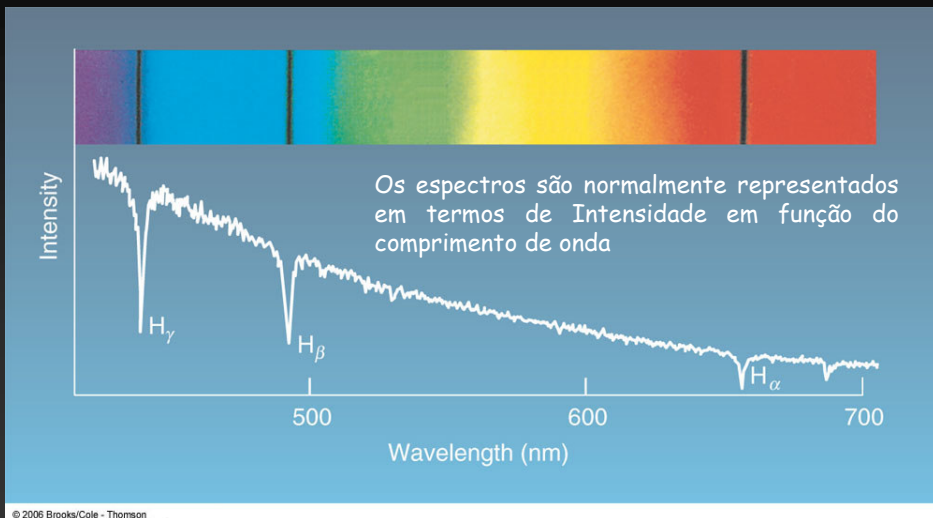
Constitui cerca de 75% da massas das estrelas.

As linhas de absorção, da maioria dos corpos celestes, têm origem nas transições entre o 2º nível e os níveis mais energéticos.





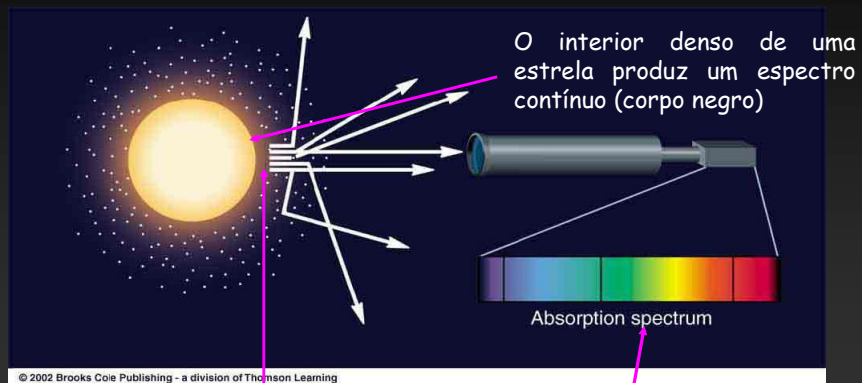
Um espectro de absorção dominado pelas linhas de Balmer



AESTIT Julho 07 2-9

O espectro de uma estrela

Um corpo negro emite radiação em todos os comprimentos de onda, dando um origem a um espectro contínuo.



A atmosfera, menos quente, absorve radiação de comprimentos de onda específicos

=> O espectro da maioria das estrelas é um **espectro de absorção**

AESTIT Julho 07 2-10

O espectro estelar

Cada elemento químico produz um conjunto único de linhas espectrais, que nos permite obter informação sobre a composição das estrelas.

As riscas de absorção, no espectro solar, dão-nos informação sobre a constituição dos gases da fotosfera.

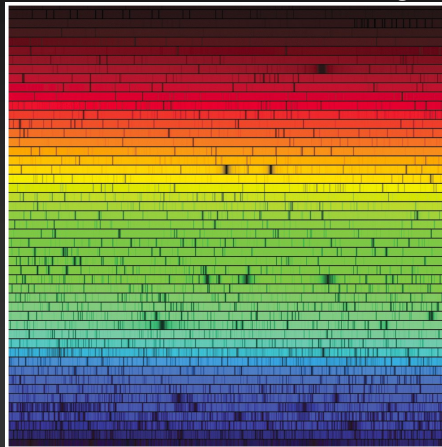
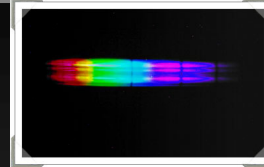


Imagem do espectro solar

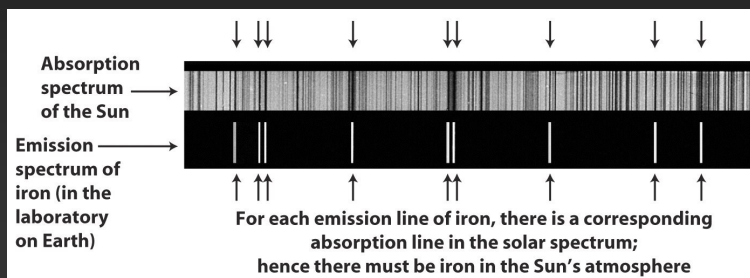
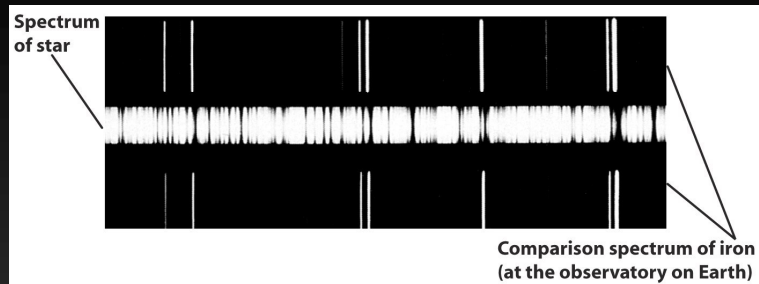
■ Table 6-2 | The Most Abundant Elements in the Sun

Element	Percentage by Number of Atoms	Percentage by Mass
Hydrogen	91.0	70.9
Helium	8.9	27.4
Carbon	0.03	0.3
Nitrogen	0.008	0.1
Oxygen	0.07	0.8
Neon	0.01	0.2
Magnesium	0.003	0.06
Silicon	0.003	0.07
Sulfur	0.002	0.04
Iron	0.003	0.1

© 2005 Brooks/Cole - Thomson

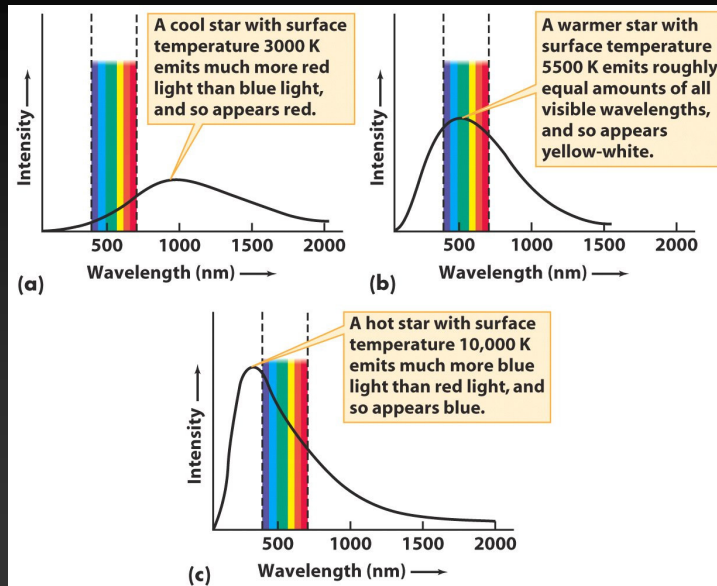
AESTIT Julho 07 2.11

Mais dois exemplos...



AESTIT Julho 07 2.12

A cor das estrelas e a temperatura



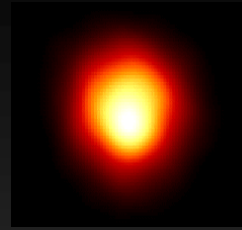
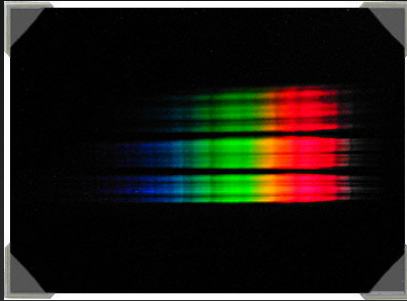
AESTIT Julho 07 2_13

Star	Surface temperature (K)	Apparent color
Bellatrix (γ Orionis)	21,500	Blue
Regulus (α Leonis)	12,000	Blue-white
Sirius (α Canis Majoris)	9400	Blue-white
Megrez (δ Ursae Majoris)	8630	White
Altair (α Aquilae)	7800	Yellow-white
Sun	5800	Yellow-white
Aldebaran (α Tauri)	4000	Orange
Betelgeuse (α Orionis)	3500	Red

AESTIT Julho 07 2_14

As linhas espectrais e a temperatura

As estrelas vermelhas possuem uma superfície fria (3000 K), podendo haver formação de hidrogénio molecular.



Havendo poucos átomos de hidrogénio, há poucos electrões que possam ser excitados.

Em consequência, os espectros destas estrelas apresentam linhas espectrais muito fracas (difíceis de ver).

As moléculas de hidrogénio tornam o espectro muito complicado e difícil de analisar, devido há enorme quantidade de linhas de absorção.

As linhas espectrais e a temperatura

Quanto mais quente se torna a superfície estelar, maior é a probabilidade de haver transições electrónicas (a partir do 2º nível) tornando as linhas espectrais mais intensas.

Para uma superfície com temperaturas superiores 10000 K, as colisões entre os átomos tornam-se tão violentas que o electrões são "ejectados" dos átomos de hidrogénio!



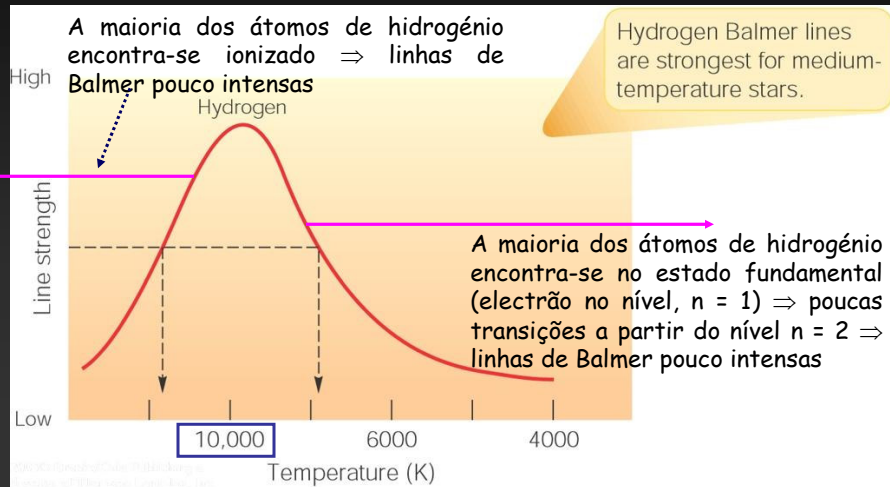
Um "átomo de hidrogénio" sem electrões não dá origem a um espectro de absorção!

Para temperaturas da ordem dos 40000 K, as linhas espectrais correspondentes ao hidrogénio deixam de ser visíveis.

Existe uma relação directa entre a temperatura e as linhas de absorção da série de Balmer.

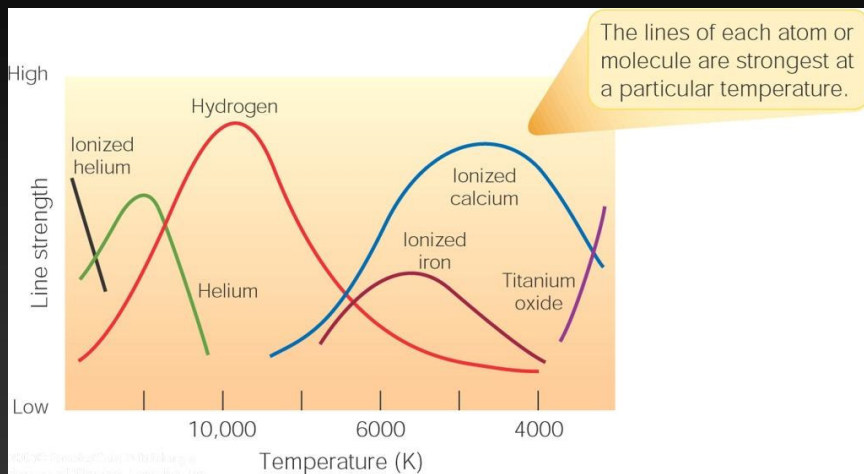
O termómetro de Balmer

A intensidade das linhas espectrais da série de Balmer e a sua sensibilidade à temperatura.



AESTIT Julho 07 2_17

A medida da temperatura das estrelas



Comparando as intensidade do espectro de absorção, pode-se medir a temperatura da superfície das estrelas, bem como a sua composição!

AESTIT Julho 07 2_18

As classes espectrais

As estrelas são classificadas em diferentes classes, de acordo com a intensidade das suas linhas espectrais.

A sequência espectral utilizada desde 1890: **O B A F G K M**



Em 1920 uma astrónoma, Cecilia Payne, e um físico indiano, Meghnad Saha, demonstraram que a sequência espectral estava relacionada com a temperatura.

Estrelas de tipo **O** - temperatura da superfície é superior a 25 000 K

Estrelas de tipo **M** - temperatura da superfície é de ~ 3 000 K

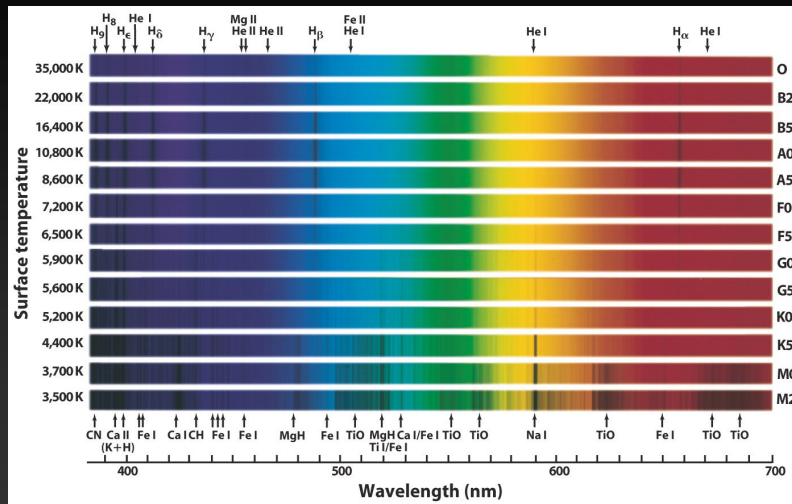
A classificação espectral das estrelas

■ Table 6-1 | Spectral Classes

Spectral Class	Approximate Temperature (K)	Hydrogen Balmer Lines	Other Spectral Features
O	40,000	Weak	Ionized helium
B	20,000	Medium	Neutral helium
A	10,000	Strong	Ionized calcium weak
F	7500	Medium	Ionized calcium weak
G	5500	Weak	Ionized calcium medium
K	4500	Very weak	Ionized calcium strong
M	3000	Very weak	Titanium oxide strong

© 2006 Brooks/Cole - Thomson

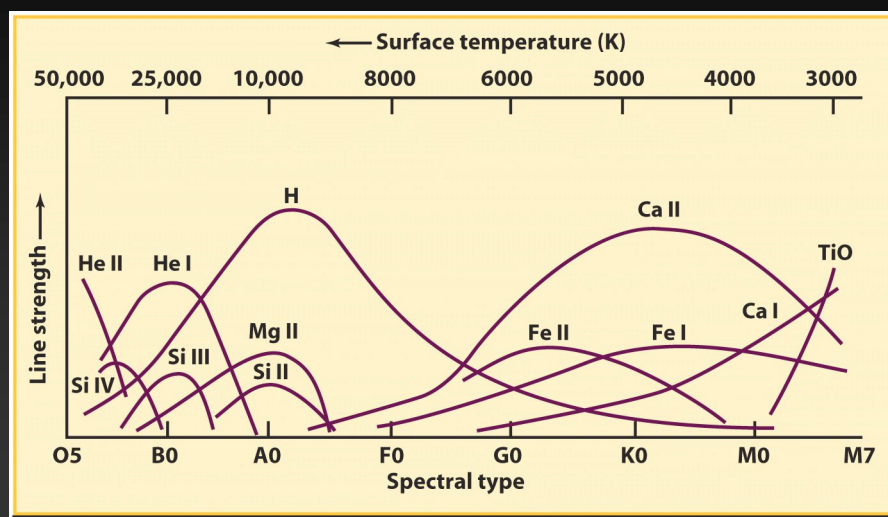
O espectro estelar e a composição química

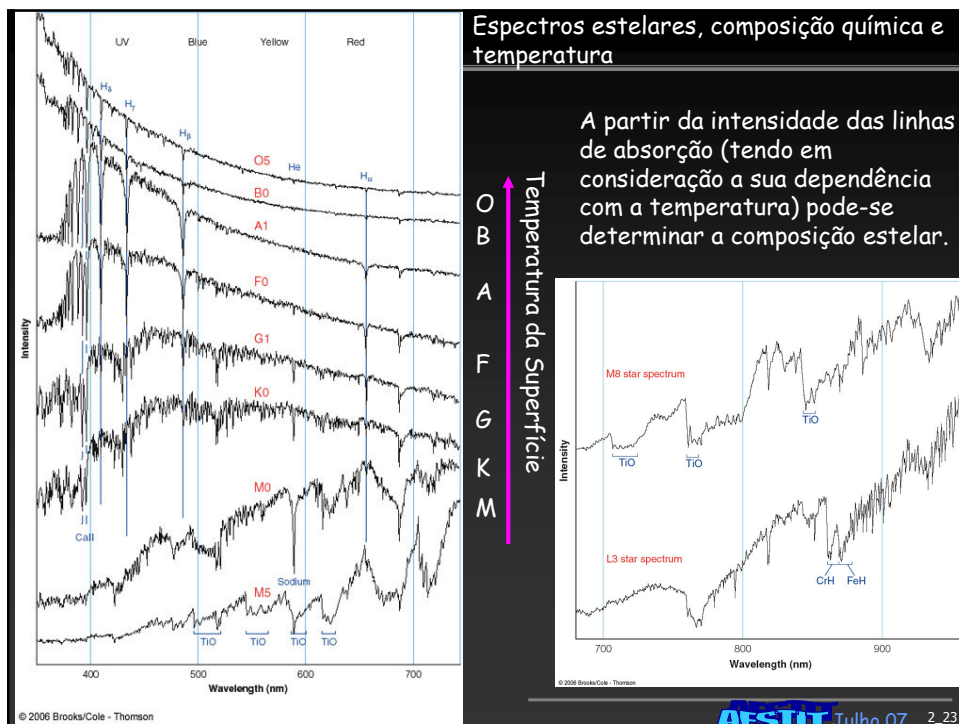


Estrelas de classes espectrais diferentes possuem espectros diferentes

O espectro estelar e a composição química

Os diferentes tipo de estrelas possuem um conjunto diferentes de linhas de absorção com diferentes intensidades.





Resumindo ...

Spectral class	Color	Temperature (K)	Spectral lines	Examples
O	Blue-violet	30,000–50,000	Ionized atoms, especially helium	Naos (ζ Puppis), Mintaka (δ Orionis)
B	Blue-white	11,000–30,000	Neutral helium, some hydrogen	Spica (α Virginis), Rigel (β Orionis)
A	White	7500–11,000	Strong hydrogen, some ionized metals	Sirius (α Canis Majoris), Vega (α Lyrae)
F	Yellow-white	5900–7500	Hydrogen and ionized metals such as calcium and iron	Canopus (α Carinae), Procyon (α Canis Minoris)
G	Yellow	5200–5900	Both neutral and ionized metals, especially ionized calcium	Sun, Capella (α Aurigae)
K	Orange	3900–5200	Neutral metals	Arcturus (α Boötis), Aldebaran (α Tauri)
M	Red-orange	2500–3900	Strong titanium oxide and some neutral calcium	Antares (α Scorpii), Betelgeuse (α Orionis)
L	Red	1300–2500	Neutral potassium, rubidium, and cesium, and metal hydrides	Brown dwarf Teide 1
T	Red	below 1300	Strong neutral potassium and some water (H_2O)	Brown dwarf Gliese 229B

Einar Hertzsprung (1873-1967)
Henry Norris Russell (1877-1957)

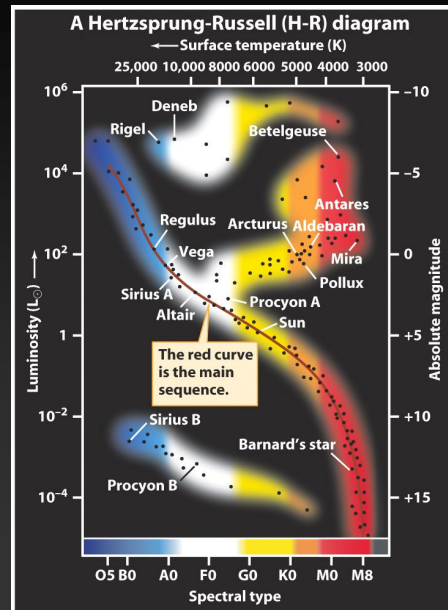
Diagramas de Hertzsprung-Russel (H-R)

Os “Diagramas de Hertzsprung-Russel” dão uma representação sistemática da correlação entre as propriedades de uma estrela ao longo do processo de desenvolvimento da estrela.

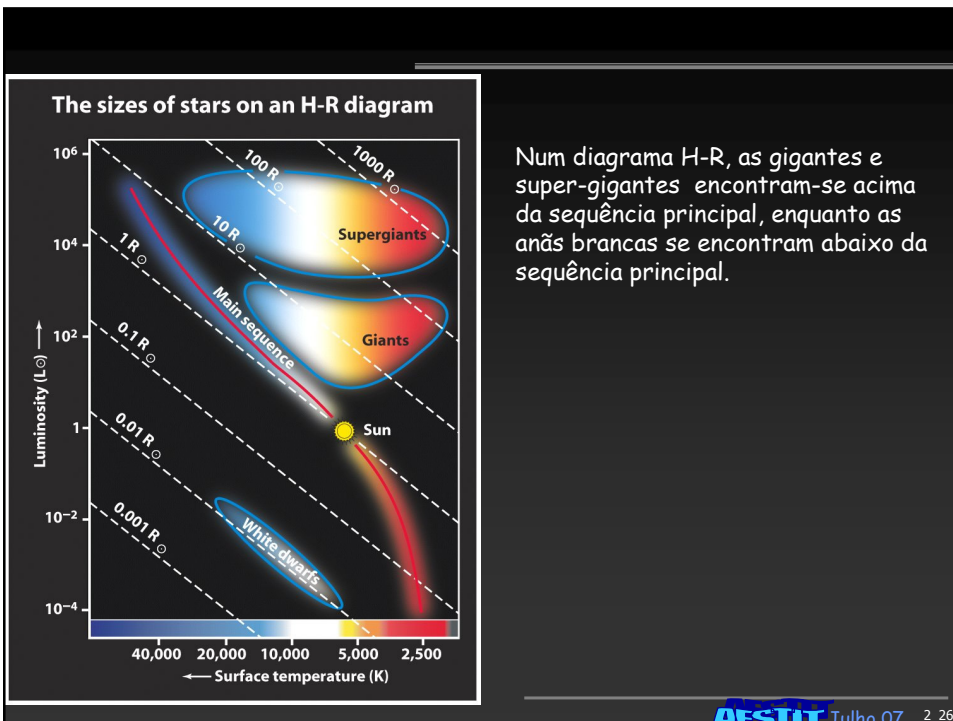
Separam as estrelas em grupos distintos:

- sequência principal,
- gigantes,
- super-gigantes
- anãs brancas

Entre 80 a 90 % das estrelas representadas situam-se numa banda a que se chamou a **sequência principal**.

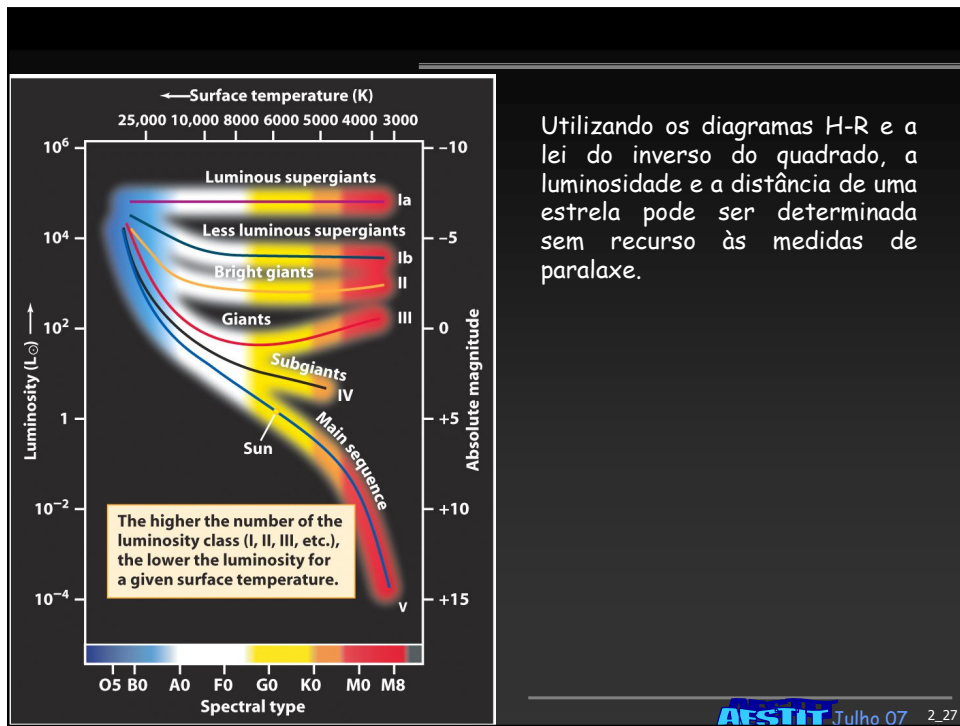


AESTIT Julho 07 2.25



Num diagrama H-R, as gigantes e super-gigantes encontram-se acima da sequência principal, enquanto as anãs brancas se encontram abaixo da sequência principal.

AESTIT Julho 07 2.26



O que podemos retirar mais das linhas espectrais ?

Se uma estrela se move aproximando-se (ou afastando-se) do observador o espectro estelar detectado é afectado por este movimento.

A ideia de que o movimento (da fonte de radiação) pode afectar o comprimento de onda da radiação que é detectada, foi introduzida por C. Doppler em 1842.

Efeito de Doppler

O comprimento de onda, de uma linha espectral, é afectado pelo movimento relativo entre a fonte e o observador.

Wave crest 1: emitted when light source was at S_1

Wave crest 2: emitted when light source was at S_2

Wave crests 3 and 4: emitted when light source was at S_3 and S_4 , respectively

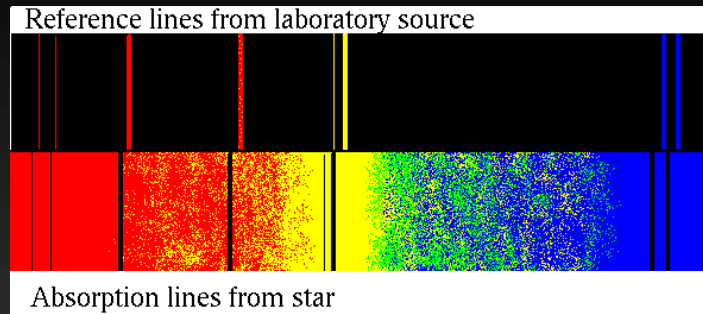
Motion of light source

This observer sees blueshift

This observer sees redshift

AESTIT Julho 07 2.28

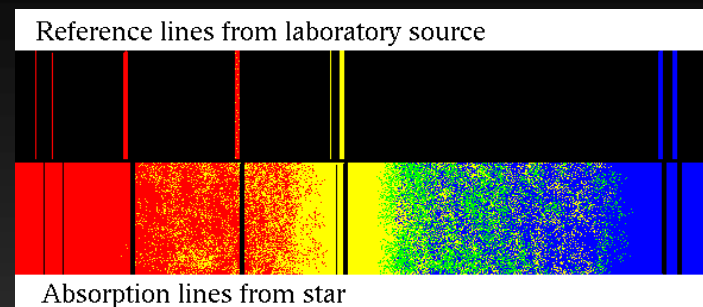
O desvio para o vermelho



As linhas do espectro de absorção da estrela analisada, encontram-se desviadas para o lado do vermelho (*desvio para o vermelho*).

Neste caso, a fonte emissora da radiação encontra-se num movimento em que se afasta do observador.

O desvio para o azul



As linhas do espectro de absorção da estrela analisada, encontram-se desviadas para o lado do azul (*desvio para o azul*).

Neste caso, a fonte emissora da radiação encontra-se num movimento em que se aproxima do observador.