



Astrofísica Geral

Tema 10: As estrelas

Alexandre Zabet

Índice

Medidas diretas fundamentais

Medidas indiretas fundamentais

Classificação espectral

Bibliografia



Índice

Medidas diretas fundamentais

Medidas indiretas fundamentais

Classificação espectral

Bibliografia



Magnitude aparente

- ▶ Sistema natural criado por Hiparco (190 a.C)
 - ▶ Estrela mais brilhante: 1
 - ▶ Estrela mais fraca: 6
 - ▶ **Atenção:** escala invertida



Magnitude aparente

- ▶ Sistema natural criado por Hiparco (190 a.C)
 - ▶ Estrela mais brilhante: 1
 - ▶ Estrela mais fraca: 6
 - ▶ **Atenção:** escala invertida

- ▶ Sol: -26.74
- ▶ Lua cheia: -12.6
- ▶ Sirius (estrela mais brilhante): -1.45
- ▶ Vega: 0.00
- ▶ estrelas mais fracas visíveis a olho nu: 6 a 7
- ▶ estrela mais fraca visível por telescópio da Terra: 25
- ▶ O **brilho do céu** limita o telescópio



Magnitude aparente

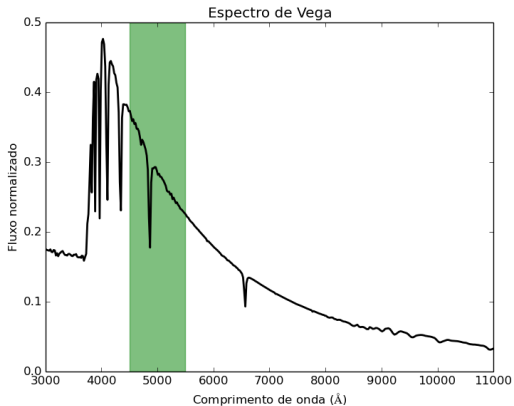
- ▶ Escala logarítmica:
 - ▶ $\Delta m = 1$
 - ▶ $\sim 300\times$ mais brilhante
- ▶ Vega é o padrão

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_1}{F_2} \right)$$

$$m_{vega} \equiv 0$$



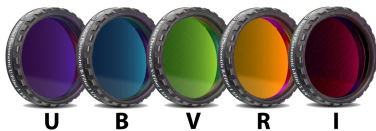
Magnitude aparente – banda



Medimos a quantidade de luz somente numa faixa do espectro.



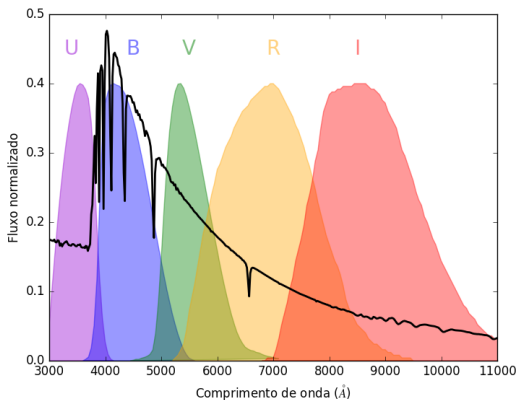
Magnitude aparente – filtro



Filtros de cores Johnson-Morgan.



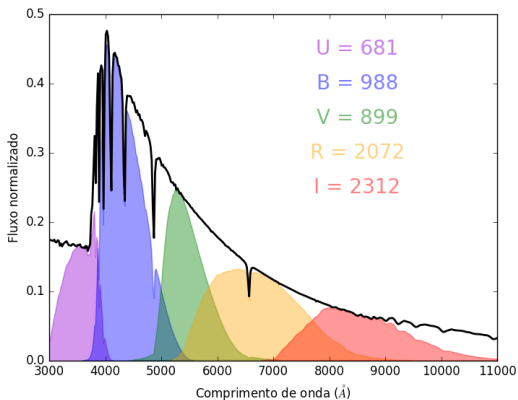
Magnitude aparente – filtro



Bandas fotométricas U, B, V, R e I de Johnson-Morgan, clássicas na Astrofísica.



Magnitude aparente – filtro

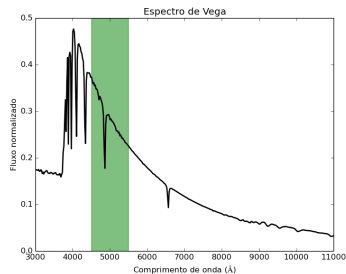


A fotometria é a convolução do espectro com a banda.



Magnitude bolométrica

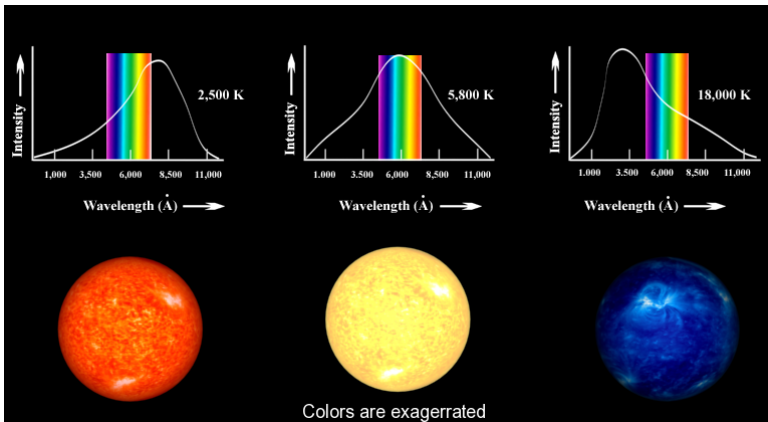
- ▶ Um filtro mede só um “pedaço” do espectro
- ▶ Às vezes precisamos de toda a luz
- ▶ Não é possível medir de uma só vez
- ▶ Tabelas de conversão de filtros



A magnitude bolométrica mede a luz no espectro inteiro.



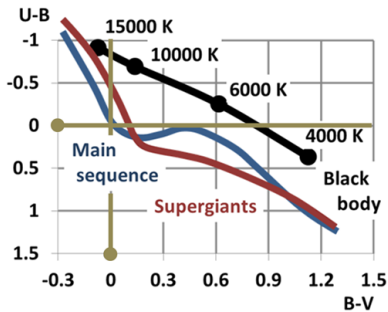
Cor



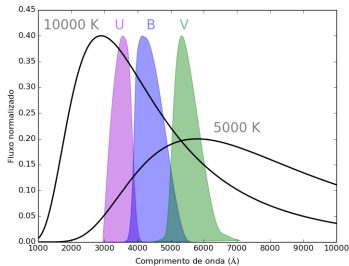
As diferenças de cor entre as estrelas são reflexo da diferença nos espectros.



Índice de cor



Os índices $U - B$ e $B - V$ podem determinar a temperatura de uma estrela.



Espectros de corpo negro de 10 e 5 mil K contra as curvas dos filtros U, B e V.



Distância



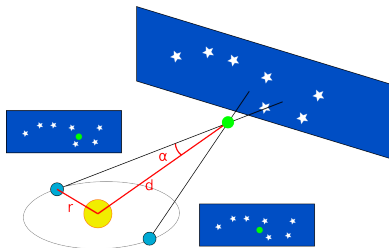
A paralaxe nos permite medir distâncias com uma grande precisão.



Distância



A paralaxe nos permite medir distâncias com uma grande precisão.



$$d = \frac{r}{\tan \alpha}$$

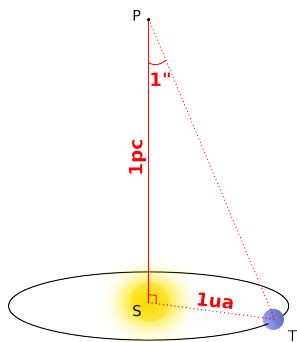
Medimos a distância de estrelas próximas aproveitando a órbita da Terra.



Unidades de distância astronômica

Os astrônomos utilizam três unidades:

- ▶ Unidade astronômica (UA)
 - ▶ Distância da Terra ao Sol
 - ▶ 1.496×10^8 km
- ▶ Ano-luz (ly)
 - ▶ Distância que a luz percorre em 1 ano
 - ▶ 9.46×10^{12} km
- ▶ Parsec (pc)
 - ▶ Distância de uma estrela com paralaxe de 1"
 - ▶ $1 \text{ pc} = 206265 \text{ UA} = 3.26 \text{ ly}$

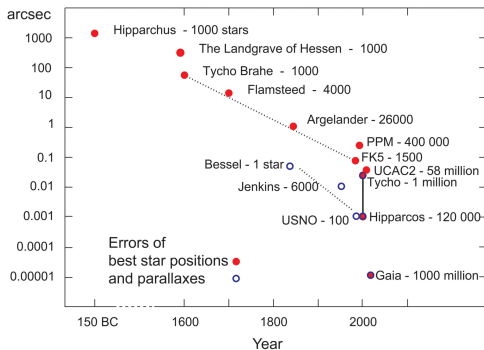


Definição do Parsec.



Limite da paralaxe trigonométrica

- ▶ Atualmente $d_{max} \approx 100$ pc (326 anos-luz).
- ▶ Satélites Hiparcos e Tycho
- ▶ Futuro: Gaia (ESA) – 1000 pc e 1 bilhão de estrelas



Evolução na precisão dos catálogos ao longo da história da Astrofísica.



Índice

Medidas diretas fundamentais

Medidas indiretas fundamentais

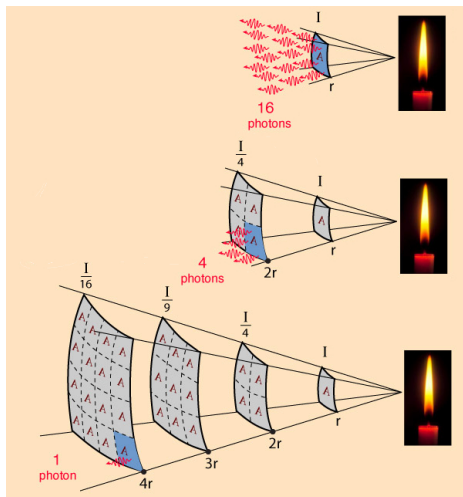
Classificação espectral

Bibliografia



Unidades de radiação

- ▶ Luminosidade (Energia/Tempo)
- ▶ Fluxo (Luminosidade/Área)
- ▶ $F = \frac{L}{4\pi r^2}$



O fluxo cai com o quadrado da distância.



Magnitude absoluta

- ▶ A magnitude aparente depende da distância
- ▶ Impede de comparar diretamente as estrelas
- ▶ Distância padrão: 10 pc
- ▶ Considere a mesma estrela a duas distâncias: r e 10 pc.



Magnitude absoluta

- ▶ A magnitude aparente depende da distância
- ▶ Impede de comparar diretamente as estrelas
- ▶ Distância padrão: 10 pc
- ▶ Considere a mesma estrela a duas distâncias: r e 10 pc.

A diferença de magnitude nas duas situações será:

$$M - m = -2.5 \log F/f \rightarrow$$

$$M - m = -2.5 \log \frac{L/(4\pi r^2)}{L/(4\pi 10^2)} \rightarrow$$

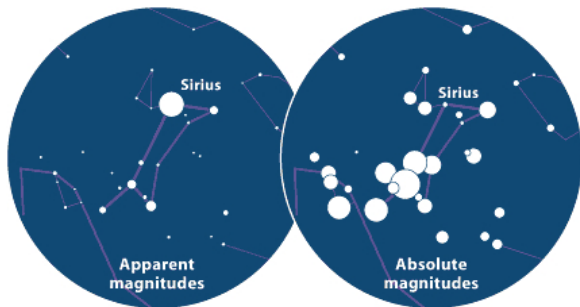
$$M - m = -2.5 \log 10^2/r^2 \rightarrow$$

$$M - m = -2.5 \times (2(1 - \log r))$$

$$\therefore m - M = 5 \log r - 5$$



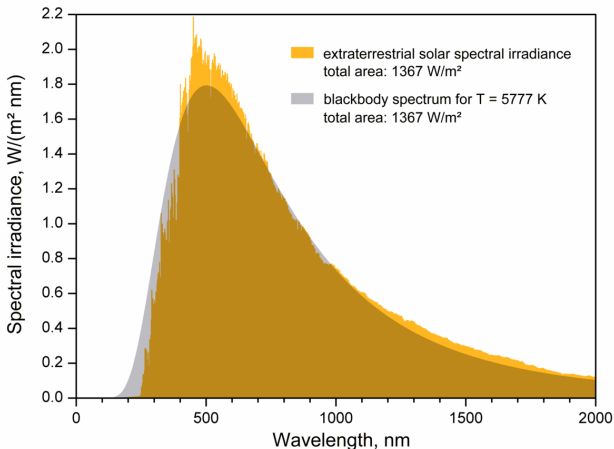
Magnitude absoluta



Representação de como veríamos a constelação do Cão Maior se todas as estrelas estivessem à mesma distância de nós: 10 pc.



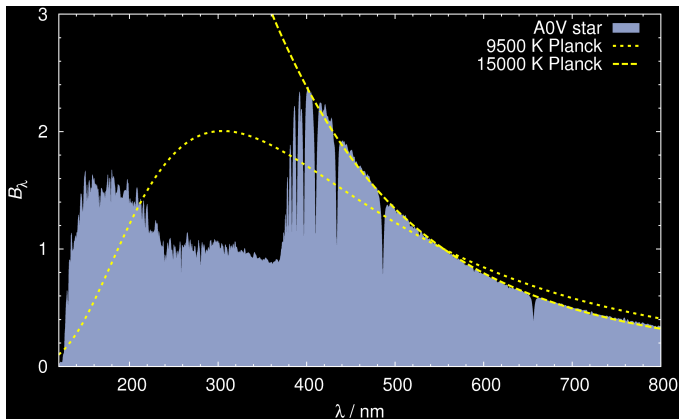
Temperatura Efetiva



Temperatura efetiva, ou temperatura de corpo-negro, para o Sol (5777 K) é a temperatura que um corpo-negro do mesmo tamanho deve ter para igualar o fluxo.



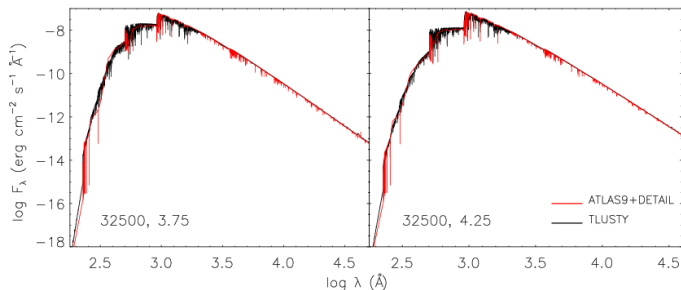
Temperatura Efetiva



Espectros mais complexos, como este de uma estrela similar a Vega que possui um intensa banda de absorção de Balmer, pode ser um desafio a ajuste com corpo-negro.



Temperatura Efetiva



Os modelos vão ficando cada vez mais sofisticados, como nessa comparação de softwares que simulam a transferência radiativa na atmosfera de uma estrela.



Índice

Medidas diretas fundamentais

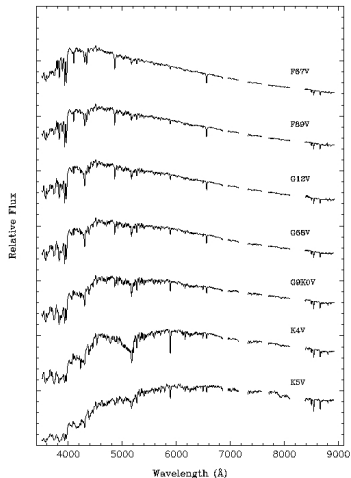
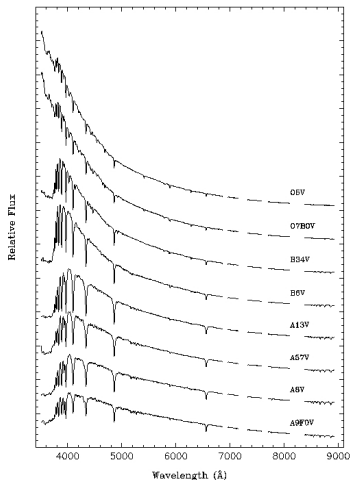
Medidas indiretas fundamentais

Classificação espectral

Bibliografia



Esquema de classificação espectral



Vários tipos diferentes de espectros estelares. É preciso classificá-los quanto à forma e propriedades físicas.



Esquema de classificação espectral



Edward Charles Pickering contratou várias mulheres graduadas para analisarem e classificarem catálogos de espectros estelares. Deste trabalho surgiu o Esquema Harvard de Classificação estelar, usado até hoje. Foto de 13/05/1913.



Esquema de classificação espectral

- O:** Azuis. T_{eff} de 20 a 35 mil K. Linhas de HeII e ultravioleta forte.
- B:** Branco-azuladas. $T_{eff} = 15$ mil K. Linhas de HeI. Exemplo: Rigel.
- A:** Brancas. $T_{eff} = 9000$ mil K. Linhas de H I forte. Exemplo: Sírius.
- F:** Branco-amareladas. $T_{eff} = 7$ mil K. Linhas de metais. Exemplo: Procyon.
- G:** Amarelas. $T_{eff} = 5.5$ mil K. Fortes linhas de metais e H I fraco. CaI (H e K) fortes. Exemplo: Sol.
- K:** Alaranjadas. $T_{eff} = 4$ mil K. Linhas metálicas dominantes. Contínuo azul fraco. Exemplo: Aldebarã .
- M:** Vermelhas. $T_{eff} = 3$ mil K. Bandas moleculares (TiO) muito fortes. Exemplo: Betelgeuse.



Esquema de classificação espectral

- O:** Azuis. T_{eff} de 20 a 35 mil K. Linhas de Hell e ultravioleta forte.
- B:** Branco-azuladas. $T_{eff} = 15$ mil K. Linhas de Hel. Exemplo: Rigel.
- A:** Brancas. $T_{eff} = 9000$ mil K. Linhas de H I forte. Exemplo: Sírius.
- F:** Branco-amareladas. $T_{eff} = 7$ mil K. Linhas de metais. Exemplo: Procyon.
- G:** Amarelas. $T_{eff} = 5.5$ mil K. Fortes linhas de metais e H I fraco. Cal (H e K) fortes. Exemplo: Sol.
- K:** Alaranjadas. $T_{eff} = 4$ mil K. Linhas metálicas dominantes. Contínuo azul fraco. Exemplo: Aldebarã .
- M:** Vermelhas. $T_{eff} = 3$ mil K. Bandas moleculares (TiO) muito fortes. Exemplo: Betelgeuse.

Oh! Be a fine guy/girl, kiss me.

(Ó! Seja um(a) garoto(a) legal, beije-me).



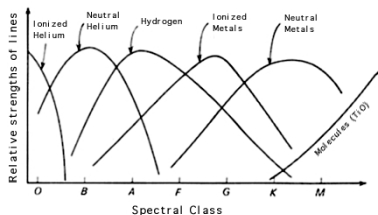
Esquema de classificação espectral

Classe espectral	Raio	Massa	Luminosidade	Temperatura
	R/R_{\odot}	M/M_{\odot}	L/L_{\odot}	$^{\circ}\text{K}$
O2	16	158	2.000.000	54.000
O5	14	58	800.000	46.000
B0	5,7	16	16.000	29.000
B5	3,7	5,4	750	15.200
A0	2,3	2,6	63	9.600
A5	1,8	1,9	24	8.700
F0	1,5	1,6	9,0	7.200
F5	1,2	1,35	4,0	6.400
G0	1,05	1,08	1,45	6.000
G2	1,0	1,0	1,0	5.900
G5	0,98	0,95	0,70	5.500
K0	0,89	0,83	0,36	5.150
K5	0,75	0,62	0,18	4.450
M0	0,64	0,47	0,075	3.850
M5	0,36	0,25	0,013	3.200
M8	0,15	0,10	0,0008	2.500
M9.5	0,10	0,08	0,0001	1.900

As classes espectrais refletem diferenças nos parâmetros físicos.



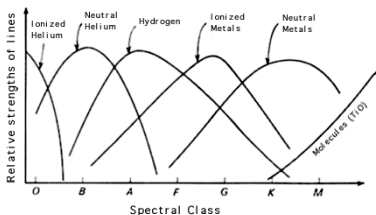
Esquema de classificação espectral



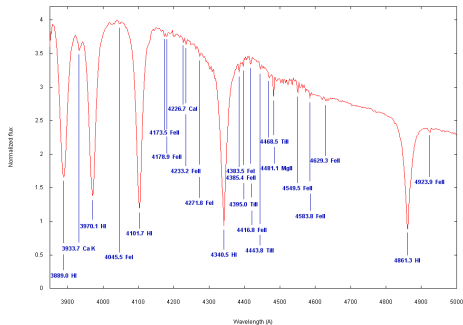
As principais linhas espectrais mudam em cada tipo de espectro. A temperatura é a principal razão.



Esquema de classificação espectral



As principais linhas espectrais mudam em cada tipo de espectro. A temperatura é a principal razão.



Identificação de algumas linhas no espectro de Vega.



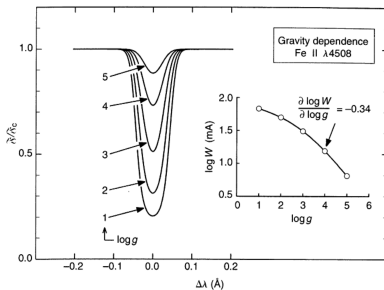
Esquema de classificação espectral

- ▶ Estrelas de tamanhos diferentes podem ter mesma temperatura.
- ▶ Reflexo na:
 - ▶ Luminosidade: $L = 4\pi R^2 \times \sigma T_{eff}^4$
 - ▶ Gravidade superficial: $g = \frac{GM}{R^2}$
- ▶ As luminosidades diferentes são medidas pela magnitude absoluta
- ▶ A gravidade superficial é medida pela largura das linhas



Esquema de classificação espectral

- ▶ Estrelas de tamanhos diferentes podem ter mesma temperatura.
- ▶ Reflexo na:
 - ▶ Luminosidade: $L = 4\pi R^2 \times \sigma T_{eff}^4$
 - ▶ Gravidade superficial: $g = \frac{GM}{R^2}$
- ▶ As luminosidades diferentes são medidas pela magnitude absoluta
- ▶ A gravidade superficial é medida pela largura das linhas



Esquema de classificação espectral

- 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 (B1IV).
- V: Anãs (seqüência principal). Exemplo: Sol (G2V).



Esquema de classificação espectral

- 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 (B1IV).
- V: Anãs (seqüência principal). Exemplo: Sol (G2V).

Há um número quase infinito de outras classificações paralelas ou complementares.



Índice

Medidas diretas fundamentais

Medidas indiretas fundamentais

Classificação espectral

Bibliografia



Fontes para estudo

- ▶ O céu que nos envolve, capítulo 7
- ▶ Curso de Astronomia do Prof. Steiner, aulas 20 a 22.
- ▶ Várias seções em <http://astro.if.ufrgs.br/>
- ▶ Curso de Astronomia, Auta & Joel, Aula 13



REALIZAÇÃO

