

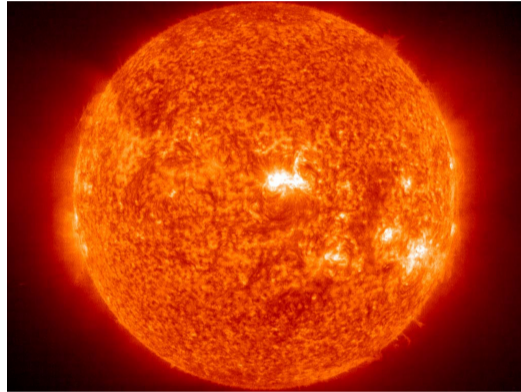
Astrofísica 1 - Estrelas

Júlio C. Fabris

Cosmo-ufes/PPGCosmo/Universidade Federal do Espírito Santo

Inverno Astrofísico, setembro de 2022





O Sol

- O Sol está a 150.000.000 de km de nós.
- A temperatura na sua superfície é de aproximadamente 6.000 graus.
- Mas a temperatura no seu interior pode chegar a quase 20 milhões de graus.
- Ele é formado sobretudo pelos elementos químicos hidrogênio e hélio, mas com traços de outros elementos como o carbono, nitrogênio, silício, etc.

Distâncias

- O parsec (pc) equivale a aproximadamente 3,26 a.l.:

$$1\text{pc} = 3,0857 \times 10^{16} \text{ m.} \quad (3)$$

- É uma unidade conveniente para medir distância de estrelas.

Definições

- A relação anterior pode ser convertida em uma relação envolvendo a luminosidade e a distância das estrelas:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \log \left(\frac{r_1^2 L_2}{r_2^2 L_1} \right). \tag{8}$$

Definições

- Por definição a magnitude aparente de referência é a da estrela Vega, à qual é atribuída $m = 0$.

Definições

- A magnitude absoluta M está relacionado ao fluxo oriundo da estrela se ela estivesse a uma distância de 10pc.

Definições

- Só podemos conhecer a magnitude absoluta de uma estrela, e consequentemente sua luminosidade, se pudermos medir a distância dela até nós.

Distância das Estrelas

α Centauro

- As estrelas estão a uma enorme distância de nós.
- A estrela mais próxima do Sistema Solar é α Centaurus que fica a aproximadamente 50 trilhões de km.

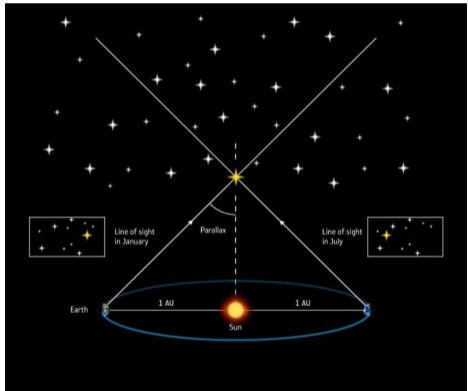
Distância das Estrelas

Espectro

- Como medimos a distância que as estrelas estão de nós?
- Existem vários métodos
- Para estrelas relativamente "próximas" usamos a **paralaxe**.

Distância das Estrelas

Paralaxe



Distância das Estrelas

Paralaxe

- Mesmo para a estrela mais próxima, α Centaurus, o ângulo de paralaxe é muito pequeno, menor que 1 segundo de arco.
- Isto ocorre porque as estrelas estão a distâncias muito maiores (dezenas de trilhões de quilômetros) que a base de observação (300 milhões de quilômetros).
- Para α Centaurus, o ângulo de paralaxe é da ordem de 0,8 segundos de arco.

Distância das Estrelas

Paralaxe

- Uma distância equivalente ao ângulo de paralaxe de 1 segundo de arco é igual a 3,26 anos luzes.
- Essa distância define uma nova unidade: o parsec.
- Em astronomia e cosmologia, usa-se mais frequentemente o parsec e seus derivados:
 - ❶ 1 parsec = 1 pc,
 - ❷ 1 mil parsecs = 10^3 pc = 1 kpc,
 - ❸ 1 milhão de parsecs = 10^6 pc = 1 Mpc.

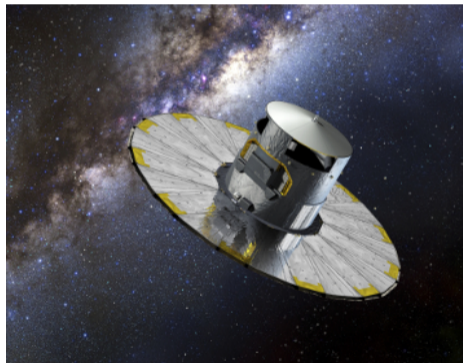
Distância das Estrelas

Paralaxe

- Os paralaxes das estrelas próximas são medidos desde o final do século XVIII.
- Mas, recentemente, as medidas foram muito melhoradas e estendidas para estrelas mais longínquas através do satélite *Hipparcos* da ESA.

Distância das Estrelas

Gaia



O digrama H-R

- A grande variedade de estrelas é representada em um diagrama, denominado *diagrama de Hertzprung-Russel*.

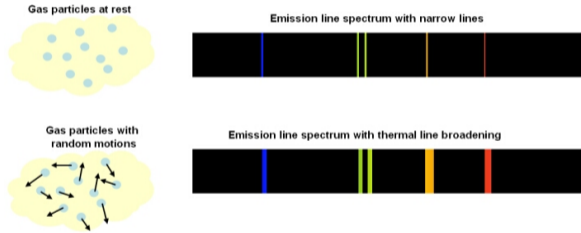
O diagrama H-R

- O diagrama H-R relaciona a Luminosidade de uma estrela com a sua temperatura superficial.
- Ou, alternativamente, a Luminosidade com o tipo espectral (discutiremos isto depois).

Alargamento de linha

- O alargamento das linhas de emissão ou absorção podem nos informar sobre a temperatura das fontes.

Alargamento de linha

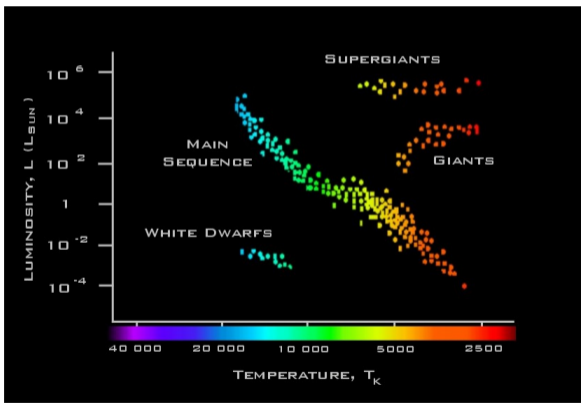


Classificando as estrelas

- As estrelas são classificadas através do diagrama de Hertzsprung-Russel.
- Existem quatro ramos principais:
 - ① A sequência principal.
 - ② O setor das gigantes vermelhas.
 - ③ O setor das super-gigantes vermelhas.
 - ④ O setor das anãs brancas.

Classificando as estrelas

O diagrama de Hertzsprung-Russel



Classificando as estrelas

Tipos espectrais



Classificando as Estrelas

Espectro

- Como classificamos o espectro das estrelas?
- Resposta: decompondo a luz que recebemos dela usando um **espectrógrafo**.

Classificando as estrelas

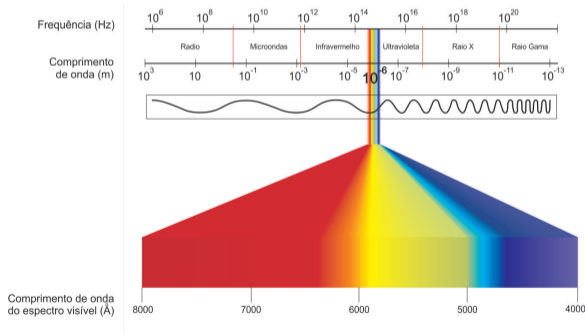
Espectrógrafo



Classificando as estrelas

Espectrógrafo

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Classificando as estrelas

Espectrógrafo

Show labels

Select a star to view its spectrum. Drag the spectrum of each element to determine the elements in the star's spectrum.

Neutral spectra Ionic spectra

Hydrogen

Helium

Sodium

Magnesium

Calcium

Iron

Star spectrum

Tools

The simulation shows a star in a dark sky with a telescope on a lunar surface. A spectrum of the star is shown at the bottom, labeled 'Star spectrum'. To the right, there are six element spectra: Hydrogen, Helium, Sodium, Magnesium, Calcium, and Iron. Each element spectrum is a horizontal bar with a color gradient from purple to red, overlaid with dark absorption lines. The 'Neutral spectra' and 'Ionic spectra' radio buttons are at the top right. A 'Tools' button is at the bottom right.

Classificando as Estrelas

Espectro

- Estrelas do tipo espectral O , por exemplo, têm as seguintes características.
 - ① Linhas espectrais típicas do $HeII$ (uma vez ionizado) e fracas linhas do H .
 - ② Contínuo ultravioleta forte.
 - ③ Temperatura entre 10.000 K e 20.000 K.
 - ④ São estrelas azuis, quentes.

Classificando as Estrelas

Espectro

- O Sol é uma estrela do tipo espectral G .
 - ① Linhas típicas de metais.
 - ② Fracas linhas do H neutro.
 - ③ Forte linhas do Ca ionizado.
 - ④ Temperatura superficial de aproximadamente 5.700 K.

Classificando as Estrelas

Espectro

- Observação importante: para os astrofísicos, *metais* é tudo que está depois do H e do He na tabela periódica.
- A medida da metalicidade de uma estrela é algo de extrema importância na sua caracterização.

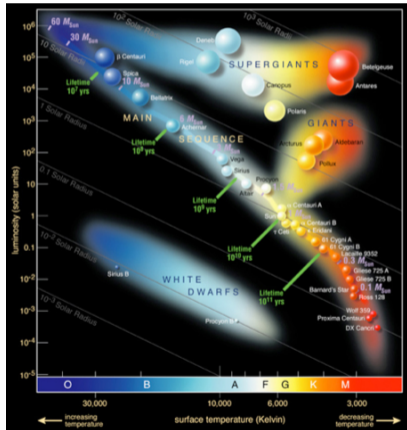
Classificando as Estrelas

Espectro

- As estrelas podem ser classificadas, segundo sua metalicidade da seguinte forma.
 - População I: estrelas de segunda geração, formadas mais recentemente, com alta metalicidade (o Sol, por exemplo).
 - População II; estrelas de primeira geração, com muito baixa metalicidade.
- A existência de metais mesmo para as estrelas de população II sugere que talvez tenham existido estrelas *primordiais*, formadas por H e He , muito massivas que existiram nas primeiras centenas de milhões de anos do Universo: seriam as estrelas de População III, ainda hipotéticas.

Classificando as estrelas

Espectrógrafo



Classificando as estrelas

Usando o diagrama H-R para medir distâncias

- Inicialmente o diagrama de H-R foi construído usando estrelas cujas distâncias foram medidas usando paralaxe.
- Assim, todas as estrelas no diagrama tinham sua luminosidade (energia emitida por unidade de tempo) conhecidas.
- Em outras palavras, conhecemos a *magnitude absoluta* dela (a quantidade real de energia que ela emite) além da *magnitude aparente*, que está relacionada à energia que dela recebemos.

Classificando as estrelas

Usando o diagrama H-R para medir distâncias

- Podemos usar depois o diagrama H-R para medir a distância de estrelas mais longínquas:
 - ① Identificamos o tipo espectral da estrela,
 - ② localizamos sua posição no diagrama H-R,
 - ③ descobrimos assim sua luminosidade absoluta,
 - ④ conhecendo sua luminosidade aparente, determinamos sua distância.
- Tal método funciona até certas distâncias, também não tão grandes, da ordem de kpcs.

Classificando as Estrelas vela padrão



Distância das Estrelas

Cefeidas

- Entre as estrelas cuja distância foi medida por paralaxe, identificou-se uma classe especial chamada de *Cefeidas*.
- As Cefeidas tem um brilho variável, com um período de dias.
- Descobriu-se que o período de variação do brilho de uma Cefeida está diretamente relacionado à sua magnitude absoluta.

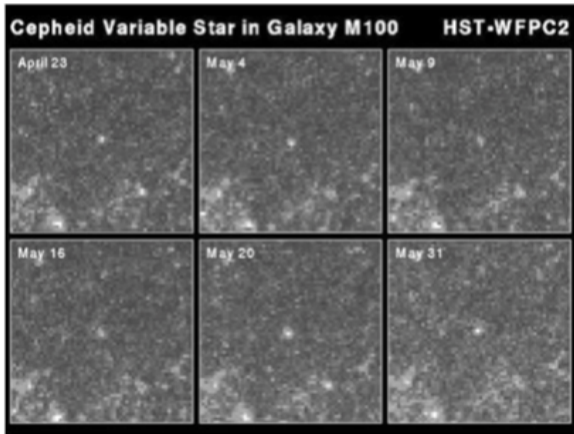
Distância das Estrelas

Cefeida

- A magnitude absoluta M é aquela que está relacionada com a quantidade de luz que a estrela de fato emite.
- Se soubermos a magnitude absoluta de uma estrela e medirmos a aparente, podemos deduzir a distância que está a estrela.
- Uma vez que o período de variabilidade do brilho da Cefeida está relacionada à sua magnitude absoluta, medindo a sua magnitude aparente, sabemos a sua distância.

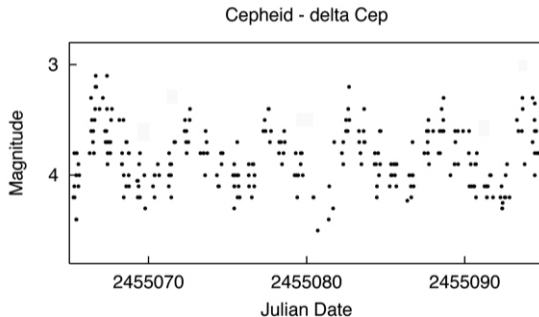
Distância das Estrelas

Cefeida



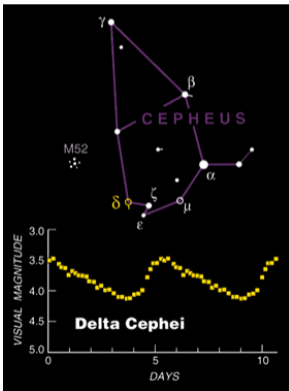
Distância das Estrelas

Cefeida



Distância das Estrelas

Cefeida



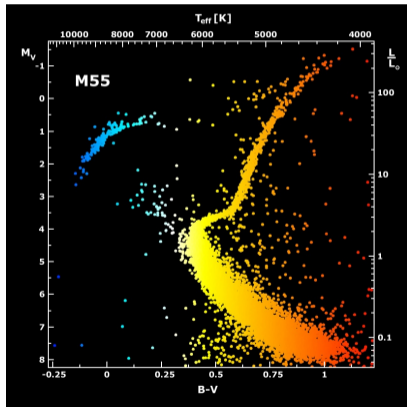
Distância das Estrelas

Cefeida

- As estrelas frequentemente fazem parte de aglomerados, sistemas auto-gravitantes que podem conter até milhões de estrelas.
- Se identificarmos uma cefeida em um aglomerado de estrelas, saberemos a distância do aglomerado.
- Logo, poderemos construir o diagrama H-R para o aglomerado.
- Isto permite, inclusive, determinar a idade do aglomerado.

Classificando as estrelas

O diagrama de Hertzsprung-Russel



Temperatura

Índice de cor

- Observem que a temperatura no último diagrama é dada pelos índices de cor, definido por medidas em bandas específicas.
 - ① Visual - V: 5.500 \AA .
 - ② Azul - B: 4200 \AA .
 - ③ Ultravioleta - U: 3600 \AA .

- Existe ainda a medida em todos os comprimentos de onda, denominada *bolométrica*.

Relação Massa-Luminosidade

Fenomenologia

- De acordo com a massa, as estrelas possuem uma luminosidade relativamente bem definida.
 - $M < 0,5 M_{\odot} \rightarrow L \propto M^{2,5}$.
 - $0,5 M_{\odot} < M < 3 M_{\odot} \rightarrow L \propto M^4$.
 - $3 M_{\odot} < M \rightarrow L \propto M^3$.