AULAS PREPARATÓRIAS PARA A OBA - SELETIVAS INTERNACIONAIS

Aula 7
Diagrama HR e evolução estelar

Como as estrelas nascem, evoluem e terminam suas vidas?

Isabelle Gios Martimiano

09/10/2026

1. O que é o Diagrama Hertzsprung–Russell?

O **Diagrama HR** organiza as estrelas usando duas propriedades físicas fundamentais.

Eixo vertical

Normalmente mostra:

$$\boxed{\text{luminosidade } L}$$

ou, em alguns diagramas,

$$\boxed{\text{magnitude absoluta } M}$$

Eixo horizontal

Normalmente mostra:

$$\boxed{\text{temperatura efetiva } T}$$

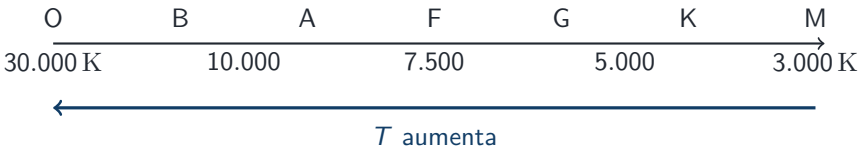
ou a classe espectral:

$$\boxed{\mathrm{O} - \mathrm{B} - \mathrm{A} - \mathrm{F} - \mathrm{G} - \mathrm{K} - \mathrm{M}}$$

O HR funciona como um mapa das propriedades e dos estágios evolutivos das estrelas.

2. Como ler os eixos do HR?

A primeira pegadinha é que o eixo de temperatura costuma aparecer **invertido**.



Guarde isto

- lado esquerdo: estrelas **mais quentes e azuladas**;
- lado direito: estrelas **mais frias e avermelhadas**;
- quanto mais alto no gráfico, maior a luminosidade.

3. As grandes regiões do Diagrama HR

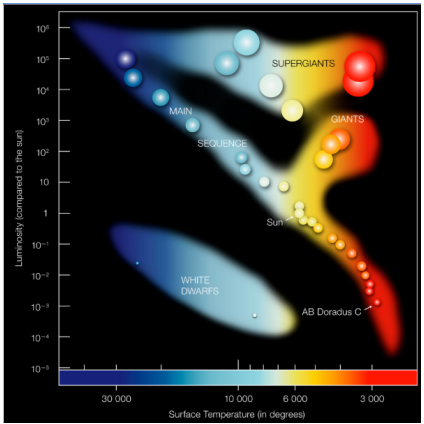


Imagem: ESO

Como ler rapidamente

- **Main Sequence** = **sequência principal**: faixa diagonal onde está a maior parte das estrelas.
- **Giants** = **gigantes**: estrelas luminosas, em geral com raios grandes.
- **Supergiants** = **supergigantes**: luminosidades extremamente altas.
- **White Dwarfs** = **anãs brancas**: quentes, mas pouco luminosas por terem pequeno raio.

Temperatura diminui para a direita; luminosidade aumenta para cima.

4. A sequência principal

A **sequência principal** é a fase mais longa da vida da maioria das estrelas.

O que acontece no núcleo?

- há fusão de **hidrogênio em hélio**;
- essa fusão fornece a energia que sustenta a estrela;
- a estrela permanece relativamente estável por grande parte de sua vida.

Ao longo da sequência principal

- estrelas mais massivas ficam na região superior esquerda;
- estrelas menos massivas ficam na região inferior direita;
- o Sol está atualmente na sequência principal.

Cuidado

Classe espectral indica principalmente **temperatura**. Ela não informa, sozinha, o tamanho da estrela nem seu estágio evolutivo.

5. Massa e sequência principal

Na **sequência principal**, massa, temperatura e luminosidade estão fortemente relacionadas.

Maior massa

Em geral, estrelas mais massivas são:

- mais quentes;
- mais azuladas;
- muito mais luminosas.

Menor massa

Em geral, estrelas menos massivas são:

- mais frias;
- mais avermelhadas;
- menos luminosas.

Essa relação entre massa e posição no HR é especialmente útil na sequência principal.

6. O raio também está escondido no HR

A relação de Stefan–Boltzmann conecta luminosidade, raio e temperatura:

$$\boxed{L = 4\pi R^2 \sigma T^4}$$

Para comparar uma estrela com o Sol:

$$\boxed{\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot}\right)^4}$$

Leitura rápida

- mesma temperatura: a mais luminosa tem **maior raio**;
- mesma luminosidade: a mais fria precisa ser **maior**;
- mesma luminosidade: a mais quente precisa ser **menor**.

7. O que podemos concluir pelo Diagrama HR?

Podemos inferir

- temperatura superficial;
- luminosidade ou magnitude absoluta;
- classe espectral;
- região da estrela no HR;
- raio aproximado, combinando L e T.

Não diretamente

- distância da estrela;
- velocidade no espaço;
- composição química detalhada;
- massa apenas pela posição, se estiver fora da sequência principal.

posição no HR $\Rightarrow$ T, L, região e raio aproximado

8. Como nascem as estrelas?

As estrelas se formam em regiões frias e densas do meio interestelar, ricas em gás e poeira.

Do gás à protoestrela

1. uma região da nuvem começa a colapsar pela gravidade;
2. o material fica cada vez mais concentrado;
3. a temperatura e a pressão internas aumentam;
4. forma-se uma **protoestrela**.

Entrada na sequência principal

Quando o núcleo fica quente o suficiente para sustentar fusão de hidrogênio:

$$\boxed{\text{protoestrela} \rightarrow \text{sequência principal}}$$

A estrela passa a produzir energia de maneira estável.

9. Por que uma estrela não desaba?

Durante grande parte de sua vida, a estrela permanece em **equilíbrio hidrostático**.

Gravidade

Puxa o material para o centro:

$$\text{gravidade} \Rightarrow \text{compressão}$$

Pressão interna

A energia produzida no interior sustenta a pressão do gás e da radiação:

$$\text{pressão} \Rightarrow \text{expansão}$$

$$\text{gravidade para dentro} \approx \text{pressão para fora}$$

Quando o combustível do núcleo muda, esse equilíbrio também muda

É justamente isso que faz a estrela sair da sequência principal e iniciar novas fases evolutivas.

10. A massa inicial decide o destino

A propriedade mais importante para determinar a evolução de uma estrela é sua **massa inicial**.

Baixa e intermediária massa

Caminho geral:

SP $\rightarrow$ gigante vermelha

$\rightarrow$ nebulosa planetária $\rightarrow$ anã branca

Alta massa

Caminho geral:

SP $\rightarrow$ supergigante

$\rightarrow$ supernova $\rightarrow$ remanescente compacto

A massa inicial determina quanto combustível existe e, principalmente, quão rápido ele será consumido.

11. Evolução de uma estrela semelhante ao Sol no HR

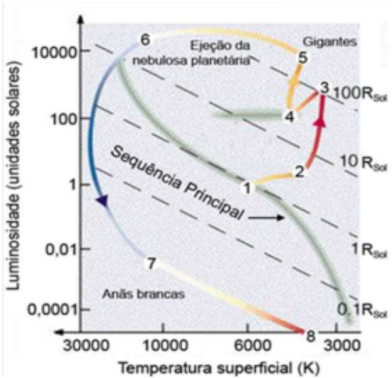


Imagem: http://physics.weber.edu/palen/phsx1040/lectures/lplanneb.html (adaptada)

- **1** – sequência principal: fusão de hidrogênio no núcleo.
- **2** – esgotamento do hidrogênio central e saída da sequência principal.
- **3** – gigante vermelha: o raio cresce muito.
- **4** – reorganização interna e queima de hélio.
- **5** – nova expansão, com raio e luminosidade elevados.
- **6** – ejeção das camadas externas: nebulosa planetária.
- **7** – resta o núcleo quente: anã branca.
- **8** – a anã branca esfria e fica menos luminosa.

Linhas tracejadas

Representam aproximadamente **linhas de raio constante**, em unidades de $R_\odot$.

12. Gigante vermelha: o que muda?

Quando o hidrogênio do núcleo se esgota, a estrela deixa de produzir energia ali da mesma forma que antes.

No interior

- o núcleo se contrai e aquece;
- a fusão de hidrogênio passa a ocorrer em uma **casca** ao redor do núcleo;
- novas condições físicas são alcançadas no centro.

Na superfície

- o envelope externo se expande muito;
- o raio cresce;
- a superfície fica mais fria;
- mesmo assim, a luminosidade pode aumentar muito.

raio $\uparrow$ $\quad T_{\text{superfície}} \downarrow \quad L$ pode $\uparrow$

13. Queima de hélio e flash de hélio

Em estrelas de baixa massa, quando o núcleo atinge condições adequadas, inicia-se a fusão do hélio.

$$3\,{}^{4}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}\mathrm{C} + \text{energia}$$

Queima de hélio

O núcleo passa a transformar hélio principalmente em carbono, alterando novamente a estrutura da estrela.

Flash de hélio

Em estrelas de baixa massa, o início dessa fusão pode ocorrer de maneira muito rápida no núcleo, fenômeno chamado **flash de hélio**.

Para a prova

O mais importante é reconhecer que o flash de hélio é uma **mudança interna da estrela**, não uma explosão observada como supernova.

14. Nebulosa planetária e anã branca

Depois das fases de gigante, uma estrela semelhante ao Sol perde grande parte de suas camadas externas.

Nebulosa planetária

- as camadas externas são ejetadas;
- o gás expelido pode ser iluminado pelo núcleo quente;
- apesar do nome, não tem relação com planetas.

Anã branca

- é o núcleo remanescente da estrela;
- possui raio muito pequeno;
- inicialmente é muito quente;
- não sustenta mais fusão nuclear normal no núcleo.

$$\boxed{\text{quente} + \text{pequeno raio} \Rightarrow \text{anã branca pouco luminosa}}$$

15. Anãs brancas: massa, raio e limite de Chandrasekhar

As anãs brancas apresentam uma relação surpreendente entre massa e tamanho.

Relação massa–raio

Em geral:

$$\boxed{M \uparrow \Rightarrow R \downarrow}$$

Ou seja, uma anã branca mais massiva tende a ter **raio menor**.

Limite de Chandrasekhar

Existe um limite aproximado de massa para uma anã branca estável:

$$\boxed{M_{\mathrm{Ch}} \approx 1{,}4\, M_{\odot}}$$

Acima desse valor, uma anã branca isolada não pode permanecer estável nesse estado.

Esse conceito aparece com frequência em questões sobre o destino final de estrelas.

16. O caminho das estrelas massivas

Estrelas de alta massa evoluem de maneira diferente das estrelas semelhantes ao Sol.

Antes da explosão

- consomem combustível muito rapidamente;
- tornam-se supergigantes;
- conseguem realizar sucessivas etapas de fusão nuclear;
- produzem elementos cada vez mais pesados no interior.

Quando o núcleo não consegue mais se sustentar

O colapso do núcleo pode desencadear uma explosão de **supernova**.

$$\boxed{\text{supergigante} \rightarrow \text{supernova}}$$

17. Depois da supernova: o que sobra?

O destino do núcleo remanescente depende principalmente de sua massa.

Estrela de nêutrons

Pode se formar quando o núcleo colapsado permanece extremamente compacto, mas não chega ao estágio de buraco negro.

Buraco negro

Se o remanescente for suficientemente massivo, o colapso pode prosseguir até a formação de um buraco negro.

$$\text{estrela massiva} \rightarrow \text{supernova} \rightarrow \begin{cases} \text{estrela de nêutrons} \\ \text{buraco negro} \end{cases}$$

18. Massa e tempo de vida

Pode parecer estranho, mas as estrelas que têm mais combustível são justamente as que vivem menos.

maior massa $\Rightarrow$ maior luminosidade $\Rightarrow$ consumo mais rápido

Estrelas massivas

- têm muito combustível;
- produzem energia em taxas enormes;
- evoluem rapidamente.

Estrelas pouco massivas

- produzem energia mais lentamente;
- consomem o combustível devagar;
- podem permanecer muito tempo na sequência principal.

Maior massa inicial significa, em geral, menor tempo de vida estelar.

19. Os dois grandes caminhos evolutivos

Baixa/intermediária massa

nuvem → protoestrela

→ sequência principal

→ gigante vermelha

→ nebulosa planetária → anã branca

Alta massa

nuvem → protoestrela

→ sequência principal

→ supergigante

→ supernova → remanescente compacto

20. Kit mental da Aula 7

Diagrama HR

- esquerda = mais quente;
- direita = mais fria;
- acima = mais luminosa;
- $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$;
- na sequência principal, massa maior tende a significar T e L maiores.

Evolução estelar

- massa inicial controla o destino;
- baixa/intermediária massa $\rightarrow$ anã branca;
- alta massa $\rightarrow$ supernova;
- supernova pode deixar estrela de nêutrons ou buraco negro;
- maior massa $\Rightarrow$ vida mais curta.

O Diagrama HR mostra onde a estrela está; a evolução estelar explica por que ela chegou ali.

Resolução dos exercícios

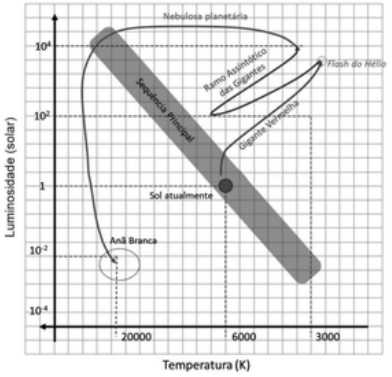
Provas de 2021 a 2025

Questões comentadas

Resolução dos exercícios

Q15 - P1 2021

15) O gráfico a seguir é o Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR, da evolução teórica do Sol, desde seu estágio atual, até o seu estágio final como uma Anã Branca, em termos de Luminosidade (solar) e Temperatura superficial (K).



Baseado no gráfico, coloque F (falso) ou V (verdadeiro) na frente de cada afirmação.

( ) Quando o Sol virar uma Gigante Vermelha ele será mais frio do que agora, porém mais luminoso.

( ) Em seu estágio de Nebulosa Planetária (ejeção das suas camadas externas), a temperatura do Sol irá aumentar muito sem, no entanto, alterar muito sua luminosidade.

( ) Espera-se que o Sol atinja sua máxima temperatura superficial após seu estágio de Nebulosa Planetária.

( ) Quando iniciar o "Flash do Hélio" o Sol se tornará numa Super Gigante Vermelha.

( ) Em seu estágio final, o Sol será muito quente e mais luminoso do que agora.

Q15 - P1 2021

A afirmação "Quando o Sol virar uma Gigante Vermelha ele será mais frio do que agora, porém mais luminoso." é Verdadeira, pois vemos no gráfico que é isso que acontece.

A afirmação "Em seu estágio de Nebulosa Planetária (ejeção das suas camadas externas), a temperatura do Sol irá aumentar muito sem, no entanto, alterar muito sua luminosidade." é verdadeira, pois vemos no gráfico que sua trajetória é horizontal, da direita para a esquerda.

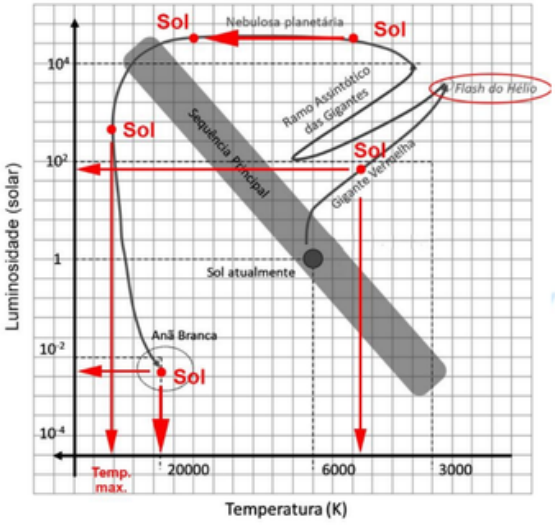
A afirmação "Espera-se que o Sol atinja sua máxima temperatura superficial após seu estágio de Nebulosa Planetária." é Verdadeira, pois vemos no gráfico que é isso que acontece.

A afirmação "Quando iniciar o "Flash do Hélio" o Sol se tornará numa Super Gigante Vermelha." é Falsa, pois quando iniciar o "Flash de Hélio" o Sol se afasta da região das Super Gigantes Vermelhas.

A afirmação "Em seu estágio final, o Sol será muito quente e mais luminoso do que agora." é Falsa, pois vemos no gráfico que seu estágio final de Anã Branca o Sol será menos luminoso do que atualmente.

Resolução dos exercícios

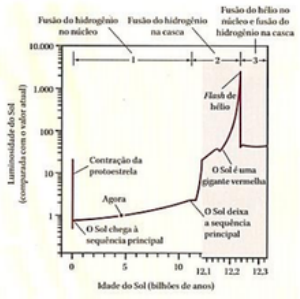
Q15 - P1 2021



Resolução dos exercícios

Q10 - P2 2021

10) O gráfico a seguir mostra o comportamento da luminosidade do Sol à medida que a nossa estrela evolui. Note a mudança na escala do eixo horizontal em 12 bilhões de anos.



Analisando o gráfico, um estudante faz três afirmações:

I – Na fase da Sequência Principal, a luminosidade do Sol aumentou cerca de 1,5 vez.
II – A luminosidade solar máxima (*Flash* de hélio) será cerca de 2500 vezes maior que a atual.
III – Ao deixar a Sequência Principal, a fusão do hidrogênio na casca supera a fusão do hidrogênio no núcleo e a luminosidade solar diminui.

Está correto o que se a firma em:

a) I e II
b) I
c) I, II e III
d) II e III

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

Q10 - P2 2021

I – Correta. Temos que a luminosidade do Sol passará de cerca de 0,7 $L_{\odot}$ para 2,2 $L_{\odot}$, quando deixará a Sequência Principal. Logo, a luminosidade do Sol aumentou aproximadamente 1,5 $L_{\odot}$ na fase da Sequência Principal.

II – Correta. Analisando o gráfico, temos que na situação de luminosidade máxima (*Flash* de hélio) o Sol terá luminosidade cerca de 2500 $L_{\odot}$.

III – Incorreta. De acordo com o gráfico, ao deixar a Sequência Principal, a fusão do hidrogênio na casca supera a fusão do hidrogênio no núcleo e a luminosidade solar **aumenta**.

Resolução dos exercícios

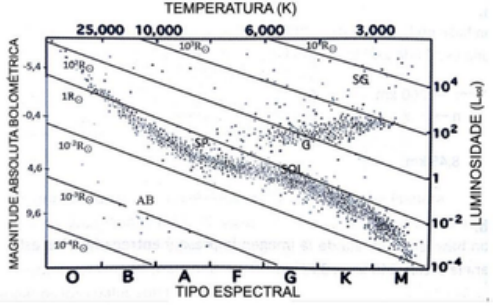
Q20 - P2 2021

20) **ESTA QUESTÃO FOI ANULADA POR NÃO TER UMA OPÇÃO CORRETA**

Utilize o diagrama HR abaixo para classificar as estrelas segundo suas características:

Anãs Brancas (AB), Sequência Principal (SP), Gigantes (G) e Supergigantes (SG).

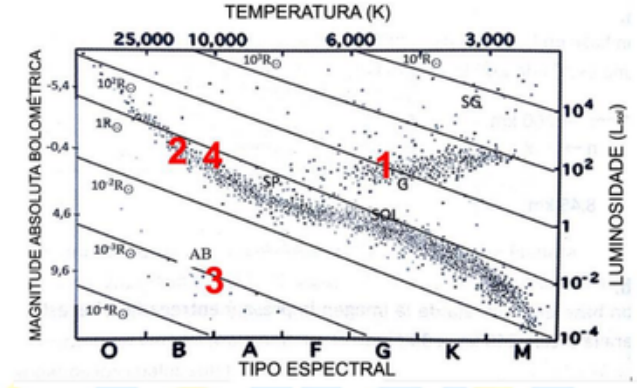
Atenção: A luminosidade no diagrama é dada em função da Luminosidade do Sol.



Estrela 1: tipo espectral G e 10^2 R_{Sol};
Estrela 2: tipo espectral B e 1 R_{Sol};
Estrela 3: temperatura superficial de 10.000 K e 10^{-2} L_{Sol};
Estrela 4: temperatura superficial de 10.000 K e magnitude absoluta M = 0.

Q20 - P2 2021

A Resposta correta seria: G, SP, AB, SP



Q8 - P1 2022

8) Escreva **V** ou **F** Verdadeiro ou Falso) na frente de cada afirmação.

( ) Em um sistema binário, a estrela mais massiva está sempre mais próxima do centro de massa do sistema.

( ) Uma estrela mais massiva permanece mais tempo no estágio da Sequência Principal.

( ) A zona habitável do Sol se estende de 5 UA a 10 UA, aproximadamente.

( ) Estrelas com massas semelhantes à massa do Sol terminam seus dias explodindo como supernovas e eventualmente se tornando buracos negros.

( ) O céu nos parece azul porque a atmosfera dispersa mais os comprimentos de onda longos da luz do Sol.

Q8 - P1 2022

Resposta:

A afirmação "Em um sistema binário, a estrela mais massiva está sempre mais próxima do centro de massa do sistema." é Verdadeira pela própria definição de centro de massa de um sistema binário.

A afirmação "Uma estrela mais massiva permanece mais tempo no estágio da Sequência Principal." é Falsa, pois quanto mais massa possuiu uma estrela, mais curto é o seu tempo de vida.

A afirmação "A zona habitável do Sol se estende de 5 UA a 10 UA, aproximadamente." é Falsa, pois a Terra, que está a 1 UA do Sol, está, obviamente, dentro da Zona Habitável do Sol.

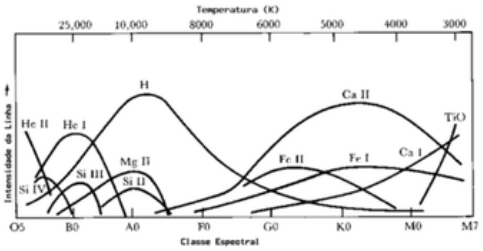
A afirmação "Estrelas com massas semelhantes à massa do Sol terminam seus dias explodindo como supernovas e eventualmente se tornando buracos negros." é Falsa, pois o Sol não tem massa suficiente para no futuro explodir como uma supernova. O Sol acabará seus dias como uma Anã Branca.

A afirmação "O céu nos parece azul porque a atmosfera dispersa mais os comprimentos de onda longos da luz do Sol." é Falsa, pois a atmosfera dispersa os comprimentos de onda curtos, como o azul e o violeta.

Resolução dos exercícios

Q18 - P2 2022

18) O gráfico a seguir traz a intensidade relativa de algumas linhas espectrais em função da temperatura ou da classe espectral das estrelas.



Nos espectros das estrelas do tipo M também se observam linhas (ou bandas) correspondentes a moléculas.

Assinale a opção que explica este fenômeno.

a) As estrelas do tipo M são gigantes vermelhas.

b) Suas altas temperaturas facilitam a formação de moléculas.

c) A temperatura não é alta o suficiente para dissociar a maioria das moléculas.

d) Estas estrelas possuem um raio muito pequeno, o que facilita a formação de moléculas.

e) As estrelas do tipo M estão fora da Sequência Principal e, portanto, não mais estáveis.

ASTRONOMIA E ASTRONAUTICA

Q18 - P2 2022

Resposta: c) A temperatura não é alta o suficiente para dissociar a maioria das moléculas.

As estrelas do tipo M, com temperatura superficial entre 4000 K e 3000 K podem tanto ser anãs (como Próxima Centaur1) quanto gigantes (como Betelgeuse).

As altas temperaturas promovem a dissociação das moléculas.

O raio da estrela nada tem a ver com a formação de moléculas.

Temos estrelas do tipo M dentro e fora da Sequência Principal.

Resolução dos exercícios

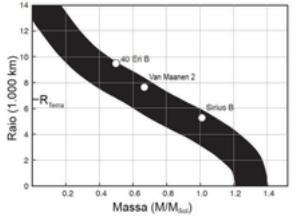
Q11 - P1 2023

11) O estudo sobre as Anãs Brancas iniciou-se em 1850 com a descoberta da estrela secundária de Sirius, chamada Sirius B. Observou-se ser uma estrela 10.000 vezes menos luminosa do que Sirius A, mas com uma massa de 0,98 massa solar. Sua temperatura, sendo da ordem de 10.000 K, seu raio deveria ser extremamente pequeno. Como estrelas com essa temperatura externa são brancas, esse tipo de estrela passou a ser chamado de Anã Branca.

Até 1917 três estrelas com características de Anãs Brancas eram conhecidas: Sírius B, 40 Eridani B, e Van Maanen 2.

Sírius B foi visualizada pela primeira vez em 1862, pelo norte-americano Alvan Graham Clark Jr. (1832-1897), fabricante de telescópios, 40 Eridani B (40 Eri B) foi descoberta em 1914 pelo também norte-americano Henry Norris Russell (1877-1957) e Van Maanen 2 foi descoberta em 1917 pelo astrônomo holandês-americano Adriaan van Maanen.

Entre 1931 e 1939, Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) construiu modelos rigorosos descrevendo a estrutura destas estrelas. O gráfico a seguir traz a relação massa-raio, segundo estes modelos. A espessura da linha traduz as incertezas dos modelos e na composição exata das anãs brancas. As três primeiras anãs brancas descobertas são mostradas no diagrama, assim como o raio da Terra.



Baseado neste gráfico e em seus conhecimentos, avalie as seguintes afirmações e assinale a opção correta.

I – Agora, com o poderoso telescópio James Webb seremos capazes de descobrir Anãs Brancas com 1,5 vezes a massa do Sol ou até mais massivas.

II – Uma Anã Branca com a mesma massa do Sol é menor do que a Terra.

III – Uma Anã Branca com metade da massa do Sol pode ter 10 vezes o tamanho da Terra.

IV – A Anã Branca Van Maanen 2 tem mais massa e é maior do que 40 Eri B.

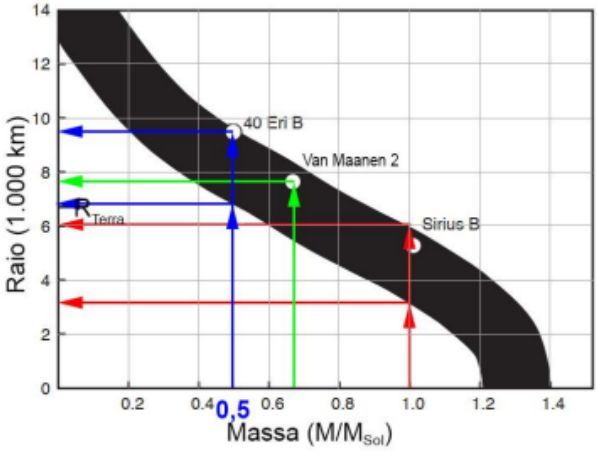
Q11 - P1 2023

Comentários:

- A afirmação I está errada pois vemos no gráfico que pelo modelo o limite máximo de massa que uma Anã Branca pode ter é 1,4 massa solar, limite no qual seu raio tenderia a zero.
- A afirmação II está correta, pois mesmo com as incertezas do modelo, vemos no gráfico que os raios mínimo e máximo para uma Anã Branca de mesma massa do Sol são inferiores ao raio da Terra.
- A afirmação III está errada, pois mesmo com as incertezas do modelo, vemos no gráfico que os raios mínimo e máximo para uma Anã Branca metade da massa do Sol vão de 7 mil à aproximadamente 10 mil km.
- A afirmação IV está errada, pois a Anã Branca Van Maanen 2 tem mais massa do que 40 Eri B, porém é menor do que esta.

Resolução dos exercícios

Q11 - P1 2023



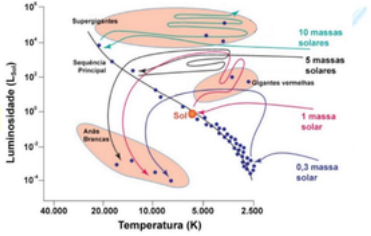
Resolução dos exercícios

Q8 - P2 2023

8) O Diagrama HR, ou Diagrama de Hertzsprung-Russell, é um gráfico que mostra a relação entre a luminosidade e a temperatura das estrelas. Ele é uma ferramenta essencial para entender a evolução das estrelas.

A maioria das estrelas está localizada em uma faixa diagonal no Diagrama HR, chamada de Sequência Principal (SP). Estrelas na SP estão "queimando" hidrogênio em seu núcleo, e sua luminosidade e temperatura estão relacionadas à sua massa. Estrelas que estão fora da SP estão em diferentes estágios de sua evolução.

O gráfico a seguir traz a evolução teórica, dentro do Diagrama HR, de 4 estrelas com massas diferentes.



Baseado nas informações fornecidas e em seus conhecimentos, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I – Estrelas com 10 massas solares nem passam pela Sequência Principal. Elas já evoluem para o ramo das Gigantes e Supergigantes.

II – Após sair da Sequência Principal, a luminosidade do Sol poderá chegar acima de 1000 vezes o seu valor atual.

III – Após deixar o ramo das Gigantes Vermelhes, rumo ao ramo das Anãs Brancas, o Sol voltará novamente à Sequência Principal.

IV – Uma estrela com apenas 0,3 M_{Sol} nunca chegará a ser uma Gigante Vermelha, evoluindo direto para uma Anã Branca após deixar a SP.

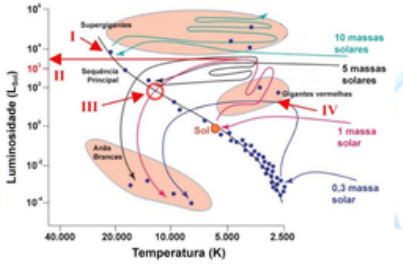
Resolução dos exercícios

Q8 - P2 2023

Resposta: a) Apenas a afirmação II está correta.

Comentários:

- A afirmação I está INCORRETA, pois vemos que estrelas com 10 M_{Sol} entram na SP no topo da faixa diagonal e depois evoluem para Supergigantes.
- A afirmação II está CORRETA, pois vemos que a curva evolutiva do Sol tem um máximo acima dos 10^3 L_{Sol}.
- A afirmação III está INCORRETA, pois apesar da curva evolutiva do Sol cruzar a SP, o Sol não estará mais "queimando" hidrogênio em seu núcleo.
- A afirmação IV está INCORRETA, pois vemos no gráfico que sua curva evolutiva passa pelo ramo das Gigantes vermelhas. Se a estrela tem cerca de 0,2 M_{Sol} a 0,5 M_{Sol} é massiva o suficiente para se tornar uma gigante vermelha, mas não tem massa suficiente para iniciar a fusão do hélio.



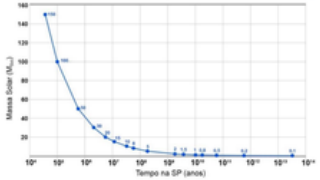
Resolução dos exercícios

Q14 - P3 2023

14) Uma estrela passa quase toda a sua vida em equilíbrio hidrostático, onde a gravidade a puxa para seu centro enquanto a pressão térmica a empurra para fora. Este estado é conhecido como Sequência Principal, durante o qual inúmeros átomos de hidrogênio se fundem para formar átomos de hélio e liberam energia (radiação) no processo.

Podemos prever quanto tempo esta radiação constante irá durar com base na massa da estrela. Poderíamos pensar que estrelas mais massivas têm mais combustível para queimar e, como resultado, queimarão por mais tempo. Embora mais massa signifique mais combustível, também significa maior temperatura e pressão, o que significa uma maior taxa de fusão. Na verdade, estrelas massivas vivem uma vida muito mais curta do que as menos massivas - a vida útil é aproximadamente proporcional a $M^{-2.5}$, onde M é a massa da estrela.

O gráfico a seguir traz tempo aproximado que uma estrela passa na Sequência Principal (SP) como uma função de sua razão de massa em relação ao Sol.



Baseado nas informações fornecidas no gráfico e em seus conhecimentos, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I – Uma estrela com o dobro da massa do Sol não chega a viver nem 1 bilhão de anos na SP.

II – Uma estrela com uma expectativa de vida na SP de 1/5 da expectativa do Sol tem 5 M_{sol}.

III – Uma estrela com apenas 20% da massa do que o Sol tem uma expectativa de vida na SP de quase 1 trilhão de anos.

IV – Uma estrela 100 vezes mais massiva do que o Sol tem uma expectativa de vida na SP de cerca de 100.000 anos.

a) Somente as afirmações III e IV estão corretas.

b) Somente as afirmações I e II estão corretas.

c) Somente a afirmação III está correta.

d) Somente a afirmação IV está correta.

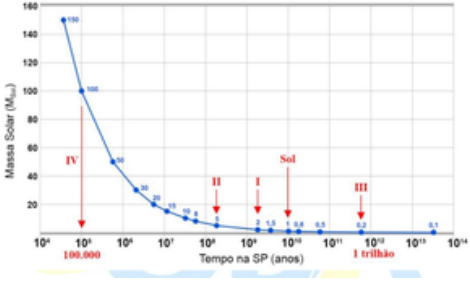
e) Somente a afirmação II está correta.

Resolução dos exercícios

Q14 - P3 2023

Resposta: a) Somente as afirmações III e IV estão corretas.

- A afirmação I está INCORRETA, pois vemos no gráfico que a expectativa de vida de uma estrela com 2,0 M_{Sol} está entre 1 bilhão e 10 bilhões de anos.
- A afirmação II está INCORRETA, pois vemos no gráfico que a expectativa de vida do sol é de 10 bilhões de anos e 1/5 disso seria 2 bilhões de anos. O gráfico mostra que uma estrela com 5 M_{Sol} tem uma expectativa de vida entre 100 milhões e 1 bilhão de anos
- A afirmação III está CORRETA, pois vemos no gráfico que a expectativa de vida de uma estrela com 0,2 M_{Sol} chega quase a 1.000.000.000.000 (1 trilhão) de anos.
- A afirmação IV está CORRETA, pois vemos no gráfico que a expectativa de vida de uma estrela com 100 M_{Sol} é de 100.000 anos.



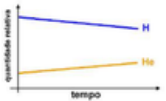
Resolução dos exercícios

Q12 - P1 2024

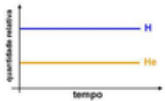
12) As reações de fusão são aquelas em que dois núcleos de átomos de massas menores se unem para a formação de um núcleo maior. A fusão nas estrelas se dá no seu centro, onde as enormes pressões e as altas temperaturas permitem que este processo aconteça. No núcleo do Sol, na transformação do hidrogênio em hélio, a cada segundo, o Sol converte cerca de 600 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio, em virtude desse processo.

Baseado nos seus conhecimentos e nas informações dadas, assinale o gráfico abaixo que mostra com mais precisão como as quantidades relativas de hidrogênio e hélio no Sol mudam ao longo do tempo.

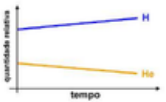
a)



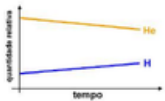
b)



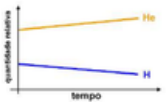
c)



d)



e)



Q12 - P1 2024

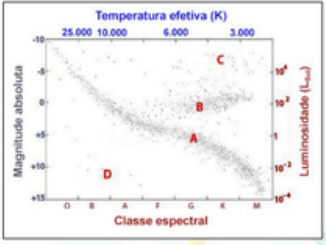
Resposta: gráfico a)

Comentário: no gráfico a) vemos que o hidrogênio em maior quantidade vai aos poucos diminuindo e o hélio, em menor quantidade, vai aumentando aos poucos.

Q14 - P3 2024

14) O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR, foi publicado independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva (ou superficial).

A imagem abaixo traz um diagrama HR com quatro estrelas: A, B, C e D. Em seguida temos várias afirmações. Cada afirmação pode ser FALSA, VERDADEIRA ou INCONCLUSIVA.



Assinale a opção que traz a afirmação inconclusiva.

a) A estrela **A** é semelhante ao Sol.

b) A estrela **B** é mais massiva que o Sol.

c) A estrela **C** é mais fria que as outras estrelas.

d) O raio da estrela **B** é maior que o da estrela **C**.

e) A estrela **D** é uma estrela da Sequência Principal.

Resolução dos exercícios

Q14 - P3 2024

Resposta: b) A estrela **B** é mais massiva que o Sol.

Comentários:

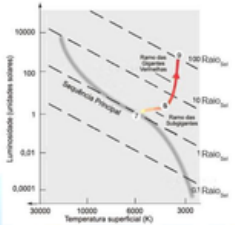
- A afirmação "A estrela A é semelhante ao Sol" é VERDADEIRA, pois a estrela A é da Sequência Principal, como o Sol, e sua luminosidade está em torno de 1 L_{Sol}.
- A afirmação "A estrela **B** é mais massiva que o Sol." é INCONCLUSIVA, pois a relação luminosidade/massa é válida para estrelas da Sequência Principal, que não é o caso da estrela B. Se a estrela B fosse da Sequência Principal e fosse mais luminosa do que o Sol, aí, sim, poderíamos afirmar que ela seria mais massiva do que o Sol.
- A afirmação "A estrela C é mais fria que as outras estrelas" é VERDADEIRA, pois ela se encontra o mais à direita de todas no Diagrama HR, cuja temperatura decresce da esquerda para direita.
- A afirmação "O raio da estrela B é maior que o da estrela C" é FALSA, pois a estrela B está na região das Gigantes, mas a estrela C está na região das Super Gigantes, portanto com maior raio.
- A afirmação "A estrela D é uma estrela da sequência principal" é FALSA, pois ele se encontra na região das Anãs Brancas.

Resolução dos exercícios

Q1 - P1 2025

1) O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como **Diagrama HR**, foi publicado independentemente pelo dinamarquês EjnarHertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como **uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva**.

A figura a seguir traz o Diagrama HR para o Sol, que atualmente está na posição **(7)**, na Sequência Principal, mas que num futuro distante passará para a posição **(8)** e depois para a posição **(9)**.



Comparado com sua posição atual, quando o Sol atingir a região das Gigantes Vermelhas (9) ele ficará

a) mais luminoso.

b) mais quente.

c) mais massivo.

d) mais denso.

e) mais rápido.

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONAUTICA

Resolução dos exercícios

Q1 - P1 2025

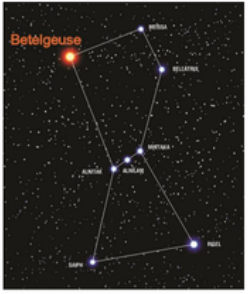
Resposta: a) mais luminoso.

Comentários:

- No gráfico a Luminosidade cresce de baixo para cima, portanto a posição 9 é mais “luminosa” que a posição 7.
- No gráfico a temperatura superficial cresce da direita para a esquerda, portanto a posição 9 é mais “fria” que a posição 7.
- No gráfico não é possível tirar informações sobre a massa do Sol. No entanto, sabemos que o Sol perde massa o tempo todo através do vento solar. Quando ele se tornar uma Gigante Vermelha, seu vento solar ficará mas intenso e, portanto, o Sol estará menos massivo na posição 9.
- Mesmo que a massa do Sol não mudasse, ao se tornar uma Gigante Vermelha, por ter um volume maior, o Sol ficará menos denso na posição 9.
- No gráfico não é possível tirar qualquer informação sobre a rapidez do Sol, seja ela em torno do seu eixo, ou através do espaço.

Q8 - P1 2025

8) Durante uma noite de verão no Hemisfério Sul, é possível observar a Constelação de Órion. Uma de suas estrelas mais famosas é Betelgeuse, uma supergigante vermelha em fase avançada de evolução.



O que significa o fato de Betelgeuse ser uma "supergigante vermelha"?

a) É uma estrela em formação.

b) É uma estrela da Sequência Principal.

c) É uma estrela que nunca realizará fusão nuclear.

d) É uma estrela de massa elevada e em fase final de vida.

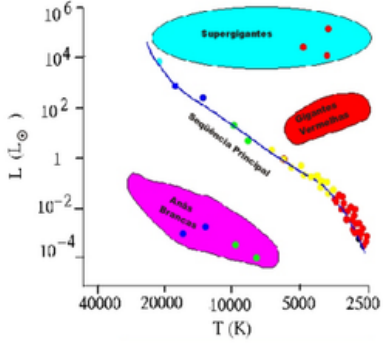
e) É uma estrela com baixa massa que se tornará uma Anã Marrom.

Q8 - P1 2025

Resposta: d) É uma estrela de massa elevada e em fase final de vida.

Comentário: Supergigantes vermelhas são estrelas massivas que já consumiram grande parte do seu combustível nuclear, pois estão em uma fase avançada de evolução.

As supergigantes vermelhas estão fora da Sequência Principal.



Q12 - P1 2025

12) O Sol emite radiação em todo o espectro eletromagnético, mas a maior parte da energia chega à Terra na forma de luz visível e radiação infravermelha.

Qual processo físico é a principal fonte de energia do Sol?

a) Decaimento radioativo.

b) Fissão nuclear espontânea.

c) Combustão química de gases.

d) Reações elétricas na Coroa Solar.

e) Fusão nuclear de hidrogênio em hélio.

Resolução dos exercícios

Q12 - P1 2025

Resposta: e) Fusão nuclear de hidrogênio em hélio.

Comentários: A principal fonte de energia do Sol é a fusão nuclear no seu núcleo, onde átomos de hidrogênio se unem sob alta temperatura e pressão para formar átomos de hélio, libertando uma quantidade massiva de energia na forma de luz e calor.

Resolução dos exercícios

Q9 - P2 2025

9) O Diagrama de Hertzsprung-Russell (HR) é o mapa do tesouro dos astrofísicos! Ele mostra a vida das estrelas, relacionando a luminosidade delas com a sua temperatura. A gente sabe que a luminosidade de uma estrela (L) depende do seu raio (R) e da sua temperatura efetiva (T) pela Lei de Stefan-Boltzmann:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

Imagine que, em um desses diagramas, a gente encontrou duas estrelas muito interessantes:

- Estrela Alfa: Uma estrela quente e azul da Sequência Principal, com temperatura de 20.000 K e luminosidade 1.000 vezes a do Sol ($10^3 L\ Sol$).
- Estrela Beta: Uma supergigante vermelha, bem mais fria, com temperatura de apenas 4.000 K, mas com uma luminosidade impressionante de 400.000 vezes a do Sol ($4 * 10^5 L\ Sol$).

Com base nessas informações, quantas vezes o raio da Estrela Beta é maior que o raio da Estrela Alfa?

a) 5 vezes

b) 20 vezes

c) 100 vezes

d) 500 vezes

e) 2.000 vezes

Resolução dos exercícios

Q9 - P2 2025

Comentários: A relação entre luminosidade (L), raio (R) e temperatura (T) é $L \propto R^2T^4$ (lê-se: *L é proporcional ao Raio elevado a 2 vezes a Temperatura elevada a 4*).

Para comparar as estrelas Alfa e Beta, isolamos a razão dos raios:

$$\frac{R_{Beta}}{R_{Alfa}} = \sqrt{\frac{L_{Beta}}{L_{Alfa}}} \cdot \left(\frac{T_{Alfa}}{T_{Beta}}\right)^2$$

Substituindo os valores dados:

$$\frac{R_{Beta}}{R_{Alfa}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^5}{10^3}} \cdot \left(\frac{20.000}{4.000}\right)^2$$

Logo,

$$\frac{R_{Beta}}{R_{Alfa}} = \sqrt{400} \cdot (5)^2$$

$$\frac{R_{Beta}}{R_{Alfa}} = 20 \cdot 25 = 500$$

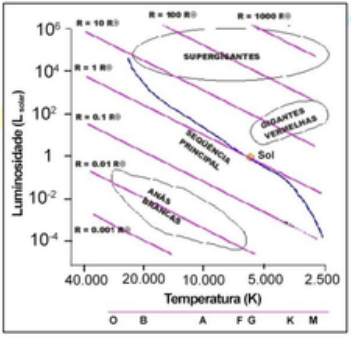
Portanto, o raio da Estrela Beta é 500 vezes maior que o da Estrela Alfa.

Resolução dos exercícios

Q19 - P2 2025

19) O Diagrama HR, a seguir, mostra a relação entre a Luminosidade e a Temperatura efetiva das estrelas e outras informações correlatas, como o raio estelar **R**, em função do raio do Sol, e o tipo espectral.

Nele podemos ver a Sequência Principal, além das regiões das gigantes vermelhas, supergigantes e anãs-brancas.



Baseado em seus conhecimentos e no diagrama apresentado, analise as afirmações a seguir e assinale a resposta certa.

I. Uma estrela de tipo espectral **K** tem o mesmo raio do que uma estrela de tipo espectral **B**. Portanto, a estrela do tipo **B** é mais luminosa.
II. Quanto maior a Luminosidade e maior a temperatura efetiva de uma estrela, necessariamente maior será seu raio.
III. É impossível para uma estrela ser ao mesmo tempo maior, menos luminosa e mais fria que outra uma estrela.

a) Somente a I está correta.
b) Somente a II está correta.
c) Somente a III está correta.
d) Somente a I e III estão corretas
e) Somente a II e III estão corretas.

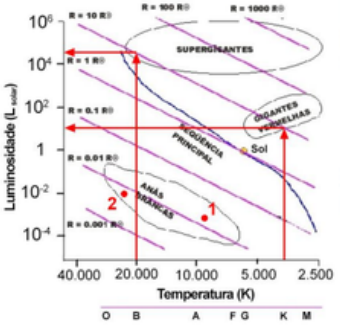
Resolução dos exercícios

Q19 - P2 2025

I - **CORRETA**: No Diagrama podemos ver que uma Gigante Vermelha do tipo K pode ter o mesmo raio que uma Supergigante do tipo B, sendo que a do tipo B é bem mais luminosa.

II - **INCORRETA**: Vemos no Diagrama que ao aumentar a temperatura e a luminosidade, estamos indo para o canto superior esquerdo. Dependendo do quanto um desses parâmetros aumenta em relação ao outro, podemos ir tanto para a direção que aumenta o raio, quanto para a direção que diminui o raio. Logo, não podemos afirmar que a relação em II é sempre verdadeira.

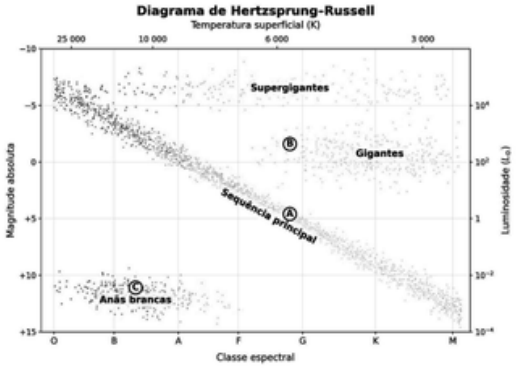
III - **INCORRETA**: Na região das Anãs-Brancas, por exemplo, podemos ter a estrela **1** mais a direita (mais fria) e mais abaixo (menos luminosa) que a estrela **2**, porém com raio superior a esta ($R_1 > 0{,}01$ raio solar $> R_2$).



Resolução dos exercícios

Q7 - P1 2026

7. O diagrama de Hertzsprung-Russell relaciona a luminosidade das estrelas com sua temperatura superficial. Os pontos A, B e C representam três estrelas.



Com base na posição das estrelas no diagrama, assinale a alternativa correta.

a) As estrelas A e B apresentam temperaturas semelhantes, mas a estrela B é mais luminosa e possui maior raio.
b) A estrela B é mais fria e menos luminosa que a estrela A.
c) A estrela C apresenta baixa temperatura superficial e elevada luminosidade.
d) A estrela C pertence ao grupo das gigantes vermelhas.
e) As três estrelas apresentam aproximadamente o mesmo raio.

Resolução dos exercícios

Q7 - P1 2026

Solução: Alternativa a): correta.

A e B possuem temperaturas semelhantes, pois estão quase alinhadas verticalmente. Como B apresenta maior luminosidade, ela deve possuir maior raio.

Alternativa b): incorreta.

A estrela B não é menos luminosa que A. Sua posição mais elevada no diagrama indica maior luminosidade.

Alternativa c): incorreta.

A estrela C apresenta temperatura elevada e baixa luminosidade, pois está na região das anãs brancas.

Alternativa d): incorreta.

A estrela C não pertence ao grupo das gigantes vermelhas, mas à região das anãs brancas.

Alternativa e): incorreta.