

Lista 3 - Estrelas Gabarito

Questão 01: O que é um diagrama HR? Qual sua importância? Que informações precisamos ter para construir um? Como podem ser estimados os observáveis necessários para a construção do D-HR? Quais os principais grupos de estrelas que podemos claramente observar nesta diagrama?

O D-HR é um gráfico que correlaciona grandezas físicas como Luminosidade (L) ou Magnitude Absoluta (M) com temperatura (T), Índice de cor (IC), Cor e Tipo Espectral (TE).

Representa uma das maiores sínteses da astrofísica, já que é possível traçar os “caminhos” evolutivos que as estrelas realizam.

Os observáveis necessários para construção do D-HR (L ou M, T, IC, Cor e TE)

Podemos identificar 4 grandes grupos: Sequencia Principal (onde se encontra a maior parte das estrelas ~80%); Gigantes Vermelhas; Supergigantes Vermelhas e Anãs Brancas.

Questão 02: Como podemos obter a massa de uma estrela através de observações diretas e indiretas? Explique

I- Via Direta só através de Sistemas Binários, onde podemos obter a massa individual através de 2 etapas:

1a etapa - aplicando a 3a Lei de Kepler - SOMA das MASSAS

$$m_1 + m_2 = \frac{(a)^3}{P^2}$$

2a etapa - Utilizando a RAZÃO das MASSAS

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

que para tanto, precisamos ter informação dos observáveis **a e p**

II- Via indireta através da Relação M/L --> L ≈ M^{3,3}

Questão 03: Qual é a fase evolutiva mais duradoura de uma estrela? Como é chamada a região do diagrama HR (D-HR) onde essas estrelas se encontram?

A fase em que se encontra na **SP**, onde está sendo realizada a queima do H em He. **85% das estrelas encontram-se nesta fase**

Lista 3 - Estrelas Gabarito

Questão 04: Uma estrela tem magnitude aparente $m=12$ e está a uma distância $d=1000$ pc. Qual sua magnitude absoluta?

Solução:

dados: $m=12$ e $d=1.000$ (pc)

Pela equação do Módulo de Distância $\rightarrow m - M = 5 \times \log d(\text{pc}) - 5$

então $M = m - 5\log d(\text{pc}) + 5 = -15 + 17 \rightarrow M = 2$

Questão 05: O tempo de vida de uma estrela que se localiza na porção superior da SP no diagrama HR que possui uma massa $M = 20M_{\odot}$ e luminosidade $L = 10.000 L_{\odot}$ vai viver quanto tempo? E no caso de uma estrela que tem $M=0,1 M_{\odot}$ e $L=0,001L_{\odot}$?

Solução 1: $T_v = M(M_{\odot}) / L(L_{\odot}) \times T_{v\text{Sol}} = (20/10.000) \times (1 \times 10^{10}) = 2 \times 10^7$ anos

Solução 2: $T_v = M(M_{\odot}) / L(L_{\odot}) \times T_{v\text{Sol}} = (0,1/0,001) \times (1 \times 10^{10}) = 10^{12}$ anos

Questão 06: Um gás perfeito pode ser descrito pela equação de estado $PV = n k T$, onde P é a pressão, V = volume, n = densidade de partículas, T = temperatura e k = constante de Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin. Assim, se este gás estiver sujeito a um aumento da temperatura, a pressão também será afetada. Entretanto, existe uma situação no interior de estrelas onde o gás se transformou em plasma e este mecanismo não é respeitado, ou seja, um aumento de temperatura não implicará em uma diminuição da pressão. Que tipo de gás seria este? Explique.

Quando ocorre a exaustão do H no centro da estrela a pressão de radiação deixa de existir pois não há a queima do H. A estrela então deixa o estado de equilíbrio entre a F_g e $F_p(\text{gás})$ e entra em colapso, aumentando muito a temperatura e, conseqüentemente, a densidade ($d=10^7$ g/cm³). Nestas condições físicas limites a matéria se encontra em um estado que não satisfaz mais as leis clássicas da física, e portanto o gás não será mais descrito pela equação citada acima.

Este gás a altas temperaturas e altas densidades se compõem essencialmente de elétrons livres que estão no estado DEGENERADO. Trata-se, portanto, de um gás onde o aumento da T não provoca uma diminuição da P , que se ocorresse, deveria causar uma expansão da estrela e conseqüente resfriamento. (ver Roteiro 13, slide 76)

Questão 07: Vimos durante as aulas de evolução estelar que quando a estrela está em equilíbrio isto significa que a força da gravidade é contrabalançada por outra força. No caso das estrelas da SP esta força é a pressão do gás alimentada pela pressão de radiação gerada na fusão do H. No caso de estrelas de neutrons e anãs brancas, qual é a

Lista 3 - Estrelas Gabarito

força que equilibra estas estrelas ?

No caso de anãs brancas, pela pressão de degenerescência de elétrons. No caso de estrelas de neutrons, e pressão de degenerescencia de neutrons.

Questão 08: Explique, como podemos determinar a temperatura superficial de uma estrela?

Medindo-se a intensidade da luz em 2 filtros (B e V, por ex.) e então ajustar uma curva de corpo negro.

Questão 09: Sabendo que cientistas usam a magnitude aparente (m) e a distância de estrelas para estimar a magnitude absoluta (M), utilizando a Lei do Quadrado Inverso para estimar qual a magnitude que uma estrela teria se estivesse a uma distância de 10pc, determine:

a) A magnitude absoluta de uma estrela que tem $m=12$ e está a uma distância $d = 1000\text{pc}$

$$m - M = 5 \log d - 5 \rightarrow M = -5 \log d + 5 + m \rightarrow M = -5 \log 10^3 + 5 + m \rightarrow M = -15 + 5 + 12 = 2 \text{ mag}$$

b) A magnitude absoluta de uma estrela $M=9$ e é 4 magnitudes menos luminosa do que uma estrela com magnitude 5. Qual a luminosidade desta estrela?

4 magnitudes menos que $M=9$ --> é $M=5$

então $(2,5)^4 \sim 38$ vezes menos luminosa que uma estrela de $M=5$

Uma estrela com $M=5$ tem luminosidade igual a do Sol, ou seja, $L_{\text{sol}} = 25 \times 10^{26} \text{ W}$.
Portanto, $L (M=5) = 4 \times 10^{26} \text{ W} / 38 = 1,52 \times 10^{28} \text{ W}$

Questão 10: Explique como a explosão de uma Supernova pode engatilhar a formação de novas estrelas.

A onda de choque produzida na explosão comprime o gás do MIS que gera condições físicas (T , P), que vão engatilhar o colapso do gás, para formação de novas estrelas.

Questão 11: Se buracos negros não podem emitir luz, qual a estratégia usada para tentar detectá-los?

Sabemos que em um Sistema Binário onde existe um buraco negro é possível observar somente uma das estrelas. Nas observações espectroscópicas desta estrela percebemos a "dança" de linhas espectrais, indicando a presença de outro astro. Como o sistema binário está em rotação, a queda de material da estrela companheira (GV) do BN vai gerar um disco de acreção devido a conservação do momento angular e a energia

Lista 3 - Estrelas Gabarito

gerada pela queda deste material aquece o disco de acreção e gera emissão em R-X. Se o Sistema Binário emite nesta frequência, podemos inferir a presença do BN. Buracos negros isolados, não podem ser detectados. (ver aula 18, slide 21)

Questão 12: Quais os estágios finais de estrelas de baixa e alta massa e qual a razão de terem finais de vida diferentes. Explique qual o produto final de evolução em cada caso mencionado.

Estágios finais de estrelas de baixa massa evoluem essencialmente por 6 fases: Gigante Vermelha, Ramo Assintótico das Gigantes, seguido das Nebulosas Planetárias e Anãs Brancas (que terminam como Anãs Negras).

Estágios finais de estrelas de alta massa **isoladas** evoluem essencialmente para Supergigantes Vermelhas, Supernovas tipo II, Estrelas de Neutrons, Pulsares e Buracos Negros.

No caso de estrelas em Sistemas Binários teremos Novas, Novas Recorrentes, Supernovas do tipo I.

A razão de terem caminhos evolutivos diferentes se deve ao fato de que a atuação da força gravitacional é mais robusta em estrelas de alta massa, aumentando a temperatura e permitindo a realização de reações termonucleares. Estrelas mais massivas conseguem produzir elementos químicos mais pesados do que o Carbono, já que as Reações Termonucleares (ou queima, ou fusão) conseguem ser realizadas devido a altas temperaturas atingidas no centro, justamente devido a força gravitacional provocada pelas mais massivas.

Questão 13: Explique: Porque os aglomerados de estrelas são úteis para se estudar os efeitos da evolução estelar em diferentes estágios de suas vidas?

Essencialmente porque as estrelas em aglomerados possuem a mesma composição química inicial, mesma distância, mesma idade. Como estrelas em aglomerados possuem massas diferentes elas estão também em estágios diferentes de evolução. Estes diferentes estágios estão relacionados a mudanças nas condições físicas da vida de uma estrela causadas pelos vários ciclos de exaustão de combustível e podem ser inferidos a partir das posições ocupadas por estas estrelas no D-HR. (Ver Aula 19, slide 5)

Questão 14: Considerando que uma nuvem interestelar possui 10^{60} átomos e que 90% destes átomos são de hidrogênio (H) e 10% de hélio (He), qual a massa da nuvem, sabendo que a massa por átomo de hidrogênio é 2×10^{-27} kg e que cada átomo de He tem 4 vezes mais massa do que um átomo de H. ($M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$ Kg)

$$M = (10^{60} \times 0,9 \times 2 \times 10^{-27}) + (10^{60} \times 0,1 \times 4 \times 2 \times 10^{-27}) = 2,6 \times 10^{33} \text{ kg}$$

$$\text{portanto, } M/M_{\odot} = 2,6 \times 10^{33} / 2 \times 10^{30} = 1300 M_{\odot}$$

Lista 3 - Estrelas Gabarito

Questão 15: Para que a nuvem de gás interestelar do problema acima colapse, a velocidade média dos átomos de hidrogênio em um gás ($V_m = 160 \sqrt{T}$ m/s) deve ser **menor** do que a velocidade de escape ($V_{esc} = \sqrt{Gm/r}$). Utilize o valor da massa obtida na Questão 14, um raio $r=10pc$; temperatura $T=10k$; $G=6,67 \times 10^{-11}$. A nuvem colapsa?

$$V_{esc} = \sqrt{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 1300 \times 2 \times 10^{30} / 10 \times 3,1 \times 10^{16}} \approx 1000 \text{ m/s}$$

$$\text{Como } V_m = 160 \sqrt{T} \text{ m/s} \rightarrow V_m = 160 \sqrt{10} \text{ m/s} \rightarrow \mathbf{506 \text{ m/s} < 1000 \text{ m/s}} \rightarrow$$

Portanto, satisfeita a condição de colapso ($V_{esc} > V_{atms}$) a **nuvem contrai**

Questão 16: Qual é a luminosidade de uma estrela anã marrom com raio $r= 0.1r_{solar}$ e com temperatura $T= 600K$?

A luminosidade da Anã Marrom é 0,1 vezes a luminosidade do Sol...

$$\dots \text{Como } L \approx R^2 T^4, \text{ temos então } L = (0,1)^2 \times (0,1)^4 = 1 \times 10^{-6} L_{\odot}$$