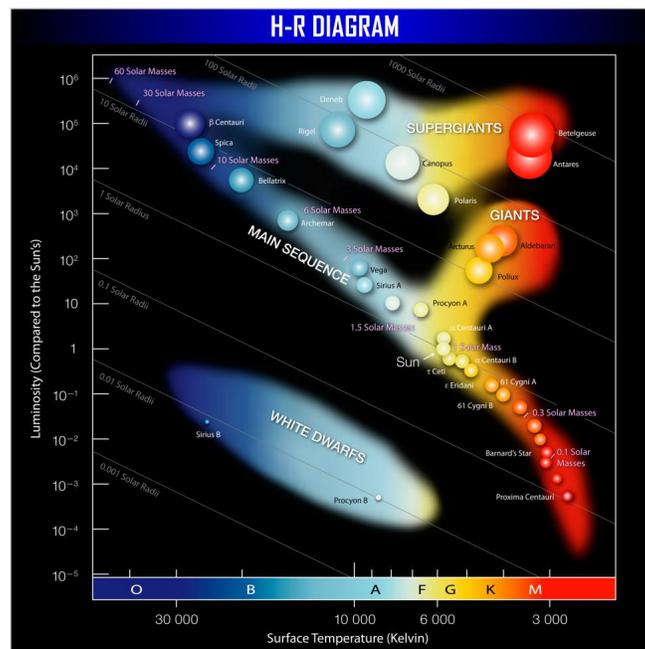


AGA0215 - Fundamentos de Astronomia

Gabarito - Aula 11

PROBLEMAS

1. Faça um esboço do Diagrama HR, colocando as linhas de mesmo raio. Nomeie os principais grupos.



2. Deduza a expressão do tempo de vida para estrelas na Sequência Principal (SP), com massas próximas a do Sol, usando a relação $L = (M/M_{sol})^{3.3}$.

Partindo da relação massa-luminosidade ($L \propto M^\alpha$) e utilizando $\alpha \approx 3.3$:

$$\frac{L}{L_{Sol}} = \left(\frac{M}{M_{Sol}} \right)^{3.3} \rightarrow L = L_{Sol} \left(\frac{M}{M_{Sol}} \right)^{3.3} .$$

Sabemos que, por definição, a luminosidade é a quantidade de energia que um corpo irradia por unidade de tempo ($L = E/t$), onde a energia total produzida pela queima de hidrogênio é $E \propto Mc^2$ (apenas uma fração da massa total da estrela está sendo convertida em energia).

Logo,

$$\frac{E}{t_{SP}} = \frac{E_{Sol}}{t_{Sol}} \left(\frac{M}{M_{Sol}} \right)^{3.3} \rightarrow \frac{Mc^2}{t_{SP}} = \frac{M_{Sol}c^2}{t_{Sol}} \left(\frac{M}{M_{Sol}} \right)^{3.3}$$

$$t_{SP} = t_{Sol} \left(\frac{M_{Sol}}{M} \right)^{3.3} \frac{Mc^2}{M_{Sol}c^2} \quad \therefore \quad \boxed{t_{SP} = 10^{10} \left(\frac{M_{Sol}}{M} \right)^{2.3} \text{ anos}}$$

onde $t_{Sol} \approx 10^{10}$ anos.

3. Mostre como se deduz a idade de um aglomerado aberto e um globular típicos, a partir do ponto de saída da Sequência Principal (SP).

Após a construção do diagrama HR, partimos da luminosidade das estrelas do ponto saída da SP para utilizá-la na relação massa-luminosidade para que, finalmente, possamos usar a equação deduzida no exercício anterior para determinação da idade de um aglomerado aberto ou globular.

4. Explique por que a maior parte das estrelas estão na SP, a partir do potencial de energia nuclear para reações de fusão.

A sequência principal é a etapa da vida de uma estrela onde ocorre a conversão de hidrogênio em hélio em seu núcleo. Como o reservatório de hidrogênio é maior que o reservatório de qualquer outro elemento usado como “combustível” em alguma outra etapa e a fusão de H extrai 80% da energia disponível para qualquer tipo de fusão nuclear, portanto, o tempo na sequência principal é maior.

5. Descreva a evolução do Sol até o ponto de saída da SP, anotando os mecanismos de energia e os tempos típicos.

- Pré sequência principal:

O Sol originou-se de uma parte de uma nuvem de gás e poeira que colapsou gravitacionalmente. O Proto-Sol levou ~ 30 milhões de anos até que houvesse o equilíbrio entre a pressão-gravidade e iniciasse a “queima” de hidrogênio.

- Sequência principal (SP):

O Sol entrou na SP quando começou a reação de fusão termonuclear em seu caroço central através da cadeia pp (“queima” de hidrogênio). O tempo de duração nesta fase é de $t_{Sol} \approx 10^{10}$ anos.

- Ponto de saída da SP:

A partir do momento em que o processo de conversão de hidrogênio em hélio em seu núcleo for finalizado, o Sol começará a sair da sequência principal em direção ao ramo das gigantes vermelhas.

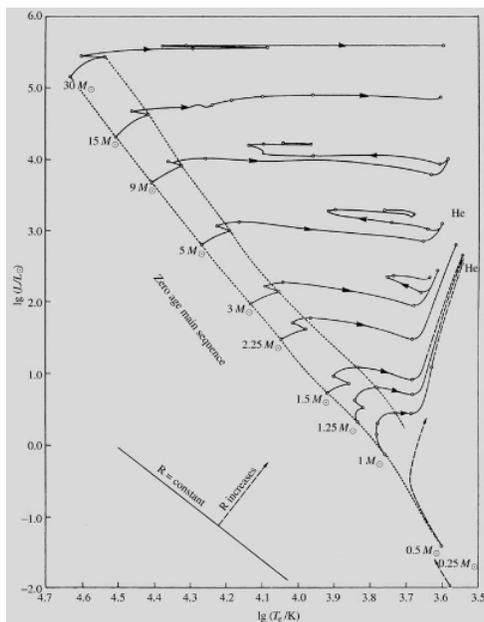


Figura 1: Fonte: Fundamental Astronomy (Karttunen et al.)

6. Faça um esboço da dependência das cadeias PP, CNO e triplo-alfa em função da energia.

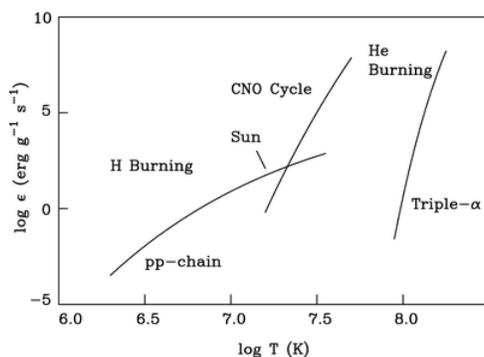


Figura 2: Fonte: Maciel W.J. (2016)

7. Explique o problema dos neutrinos solares e o que ele revela sobre a massa dos neutrinos. O problema dos neutrinos solares consistiu na diferença do número de neutrinos detectados na Terra e o previsto teoricamente. A causa desta diferença se deve ao fato da existência de

três tipos de neutrinos (até então era detectado apenas o neutrino do elétron), com massas diferentes e não nulas.

8. Dado que o raio de ação da força nuclear atrativa de um próton é de 1 fermi (10^{-15} m) e que na temperatura do interior do Sol a média dos prótons só consegue se aproximar um do outro a 1000 fermis, como se explica a fusão próton-próton?

A fusão ocorre porque a barreira coulombiana é vencida através do efeito de tunelamento quântico.

9. O que é o pico de Gamow? Use gráficos para ilustrar.

É a região de energia (da curva resultante da multiplicação da probabilidade de tunelamento com a distribuição de Maxwell-Boltzmann) com a maior probabilidade de ocorrência de reações nucleares.

