

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
EVOLUÇÃO ESTELAR I
2º Trimestre – 2021
Prof. Carlos Alexandre Wuensche
Série de exercícios nº 1: entregar em 01/07/2021

REVISÃO DE ESTRUTURA ESTELAR

1 - Uma estrela origina-se da contração de uma nuvem de gás: cada átomo, de massa m , é atraído para uma região mais densa, de massa M , a uma distância r . A nuvem se aquece durante a contração devido à conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica. O aumento de temperatura causa um aumento na pressão do gás, sustando assim o colapso. A formação de uma protoestrela ocorre quando a energia térmica e potencial gravitacional se igualam. Calcule a massa de uma protoestrela, a partir dos seguintes dados:

$$M = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_H = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$T = 100 \text{ K}$$

Expresse a temperatura como uma função da razão M/R . As reações nucleares fornecem energia responsável pela emissão de luz das estrelas, mas somente se tornam importantes quando a temperatura atinge cerca de 10^6 K. Calcule o raio de um “proto-Sol” no momento em que ele se tornou uma estrela. Calcule a temperatura central do Sol dado que seu raio atual é 7×10^8 m. Mostre que um corpo como Júpiter ($M_J = 1,9 \times 10^{27}$ kg, $R_J = 7,1 \times 10^7$ m) não pode se tornar uma estrela.

2 - A distância de 1 U.A. do Sol, o vento solar apresenta uma densidade de prótons da ordem de 10 cm^{-3} , deslocando-se a uma velocidade de 400 km/s ($T_{\text{plasma}} \sim 10^5 \text{ K}$). Estime:

a) a taxa de perda de massa do Sol

b) a luminosidade perdida através desse processo comparando-a com a luminosidade radiativa do Sol

c) Repita os cálculos acima para uma gigante vermelha em que $\log(L/L_{\text{Sol}}) = 4$ e $dM/dt = 10^{-6} M_{\text{Sol}}/\text{ano}$.

3 - Faça um diagrama HR ($M_v \times T_s$ ou T_{ef}) indicando de maneira aproximada a localização dos seguintes objetos:

a) Variáveis de longo período

b) Cefeidas clássicas

c) Cefeidas anãs

d) Variáveis RR Lyrae

e) Núcleos de nebulosas planetárias

f) Novas

g) Anãs brancas

h) Variáveis W Virginis

i) Sol

j) Estrelas T-Tauri

4 - Mostre que a equação de equilíbrio hidrostático é um caso particular da equação da conservação da quantidade de movimento (Equação de Euler) no caso estacionário e com simetria esférica.

5 - Calcule o coeficiente de absorção no contínuo ligado-livre para o hidrogênio incluindo apenas o nível de Balmer com $n=2$ e o nível de Lyman com $n=1$. Plote $\log \kappa_{\text{at}} = \kappa$ por átomo como uma função de $\log(\lambda)$ ou $\log(\nu)$. O coeficiente de absorção por elétron no estado quântico n é dado por:

$$a_n = \frac{64\pi^4 m_e e^{10} Z'^4 g}{3\sqrt{3} ch^6 n^5 \nu^3}$$

Em que g é o fator de Gaunt, e é a carga do elétron, m é a massa do elétron, h é a constante de Planck, e ν é a frequência do fóton absorvido. Z' é a carga efetiva do núcleo que está atraindo o elétron. $Z' = 1$ para o átomo de H.

6 - Mostre que se toda a luminosidade solar fosse transportada por convecção através do Sol através de seu ponto médio com um comprimento de mistura de 10^9 cm, o excesso do gradiente de temperatura necessário para esse transporte seria aproximadamente 10^{-6} do gradiente de temperatura.

7 - Mostre que, para cada uma das três cadeias do ciclo PP (PP I, PP II e PP III), a energia gerada é de 26,2 MeV (faça isso mostrando que o excesso de massa envolvido em cada passo da reação libera uma certa quantidade de energia em MeV).