TRANSPORTE DE ENERGIA EM ASTROFISICA
AGA 0506 – PROVA 2 – 2019

1.0

1. Assinale a alternativa incorreta:
   (a) A energia térmica armazenada no Sol é suficiente para manter sua luminosidade por um período de alguns bilhões de anos.
   (b) Na fase de contração pré-sequência principal a maior parte da energia das estrelas é de origem gravitacional.
   (c) A energia nuclear do Sol é produzida na região interna, onde $T \sim 10^7$ K.
   (d) A maior parte da luminosidade do Sol deve-se à queima de H em seu núcleo.
   (e) Na região subfotosférica do Sol o principal mecanismo de transporte de energia é a convecção.

2. Considere uma região no interior de uma estrela de 10 massas solares, onde cerca de 10% da massa da estrela está contida. Esta região seria dominada pelo transporte radiativo ou convectivo? Justifique sua resposta.

3. Considerando que os neutrinos movem-se à velocidade da luz, quanto tempo levariam para escapar do Sol? Quanto tempo levariam para chegar até à Terra?

4. Suponha que a função resfriamento para as temperaturas características do meio internuvens seja $\Lambda/n_H^2 \simeq 3 \times 10^{-26}$ erg cm^3 s^{-1}. Um modelo obtido por Bakes e Tielens (1994) prediz uma taxa de aquecimento da ordem de 7×10^{-27} erg/s, dada por átomo de H. Qual é a densidade n_H desta região interestelar?

5. Considere um átomo X que pode ocupar os estágios de ionização X^r e X^{r+1}, com densidades $n(X^r)$ e $n(X^{r+1})$, respectivamente. Chamando $\beta(X^r)$ a taxa de ionização e $\alpha(X^r)$ o coeficiente de recombinação total, escreva a equação de equilíbrio de ionização deste átomo. Qual é o significado físico desta equação?

6. (a) Estime o tempo médio necessário para uma colisão entre duas estrelas do disco galáctico. Considere o disco como um cilindro com raio $R_d = 30\,\text{kpc}$ e altura $h_d = 1\,\text{kpc}$, contendo $N = 2 \times 10^{11}$ estrelas. As estrelas têm raios iguais ao do Sol, $R = R_\odot = 6.96 \times 10^{10}$ cm e sua dispersão de velocidades é $v \simeq 10\,\text{km/s}$.

   (b) A idade do disco é de aproximadamente 13 Gano. Compare o valor obtido em (a) com esta escala de tempo. Que conclusões v. pode tirar?

7. Um aglomerado globular esférico contém $N = 2 \times 10^5$ estrelas com massa $m = 1\, M_\odot$. A velocidade média das estrelas do aglomerado é $v \simeq 10\,\mathrm{km/s}$. Considere que o aglomerado está em equilíbrio (virializado) e

(a) Estime seu raio (em pc).

(b) Estime o tempo médio de cruzamento (em anos) das estrelas do aglomerado.

(Questões 1, 2, 3, 4: 1 ponto, Questões 5, 6, 7: 2 pontos)

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

NOME [redacted] N.º USP

CURSO

DISCIP

DATA ___/___/___

NOTA	EXAMINADORES
8.5	oito e meio

1.0

2) Para estrelas muito massivas, como aquela citada de $10M_\odot$, há existência de regiões centrais convectivas e camadas externas radiativas.

Para essas estrelas, quanto maior a massa maior proporção da mesma estará na zona convectiva por conta dos altos gradientes de temperatura.
Como as camadas externas dessas estrelas são suficientemente quentes p/ que o gás esteja ionizado, tais regiões passam a ser opticamente finas e portanto, garantindo que o transporte radiativo seja eficiente.

1.0

3) $v = c = 3.10^5 \, km/s$

$R_\odot \cong 7.10^5 \, km$

Assumindo neutrinos produzidos no interior do Sol, o tempo para que os mesmos escapem será:

$$c = \frac{R_\odot}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t \cong \frac{7.\cancel{10^5}\,\cancel{km}}{3.\cancel{10^5}\,\cancel{km}/s} \Rightarrow \underline{\Delta t \cong 2{,}3\,s}$$

C

Para que os mesmos cheguem à Terra, o tempo será:

$$c = \frac{1UA}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t \cong \frac{1{,}5.\,10^8\,\cancel{km}}{3.10^5\,\cancel{km}/s} \Rightarrow \underline{\Delta t \cong 500\,s}$$

C

0.5

4) Função resfriamento: $\frac{\Lambda}{n_H^2} = 3.10^{-26} \, erg \, \frac{cm^3}{s}$

Taxa aquecimento: $\Gamma = 7.10^{-27} \, erg/s$ por H

$\overrightarrow{n_H}$

Para o regime estacionário: $\Lambda = \Gamma$

$$\left.\begin{array}{l} \Lambda = \Gamma = 7.10^{-27} \, erg/s \\ \frac{\Lambda}{n_H^2} = 3.10^{-26} \, \frac{erg.\,cm^3}{s} \end{array}\right\} \Rightarrow n_H = \frac{7.10^{-27}\,\cancel{erg}/\cancel{s}}{3.10^{-26}\,\cancel{erg}/\cancel{s}\,cm^3}$$

resposta certa, raciocinio incorreto

$$\boxed{n_H \cong 0{,}23 \, cm^{-3}}$$

$\Gamma = \lambda \quad 7\,10^{-27} \, n_H = 3\,10^{-26} \, n_H^2$

1.0

5) eq. de equilíbrio de ionização:

$$\sum_i n_i(X^r)\,\beta_{if} = \sum_i n_i(X^{r+1}).\,n_e\,\alpha_i$$

β_{if} → taxa ionização $\qquad$ α_i → coef. recombinação

$n_e \equiv$ densidade eletrônica

Na fotoionização, um fóton de certa energia dá origem a um elétron a partir da ionização de um átomo do meio. A energia do elétron contribui para o aquecimento do meio. Nesse contexto, porém, o ganho de energia do meio deve ser menor que a energia do elétron já que parte da mesma deve ser perdida na recombinação.

Portanto a equação de equilíbrio de ionização diz que a contribuição de energia via fotoionização para o aquecimento do meio é igual à energia dissipada para resfriamento do meio via recombinações. Nessas circunstâncias o gás deverá apresentar temperatura constante caso esses sejam os únicos mecanismos de aquecimento e resfriamento operando naquele meio.

?

nº de ionizações por cm^3 por s = nº recombinações por cm^3 por s

$1pc \cong 3,1 \cdot 10^{18} cm$

2.0

6) $R_d = 30kpc$; $h_d = 1kpc$; $N = 2 \cdot 10^{11}$ ★

$R_★ = R_\odot = 6,96 \cdot 10^{10} cm$; $v \cong 10 km/s$

volume do disco: $V_d = \pi R_d^2 \cdot h_d$

dens. do disco (nº★/v): $n = \dfrac{N}{\pi R_d^2 h_d}$

a) caminho livre médio: $l = \dfrac{1}{n \cdot \sigma}$

tal que σ é a seção de choque: $\sigma = \pi R_★^2$

tempo entre colisões: $\Delta t = l/v$

Ficamos com: $\Delta t = \dfrac{1}{v n \sigma} = \dfrac{\cancel{\pi} R_d^2 h_d}{v \cdot N \cancel{\pi} R_\odot^2}$

substituindo: $\Delta t \cong 2,7 \cdot 10^{19} s$

como $1 ano \cong 3 \cdot 10^7 s \Rightarrow \Delta t \cong 10^{12}$ anos 10^3 Gano

ou 1000 giga anos

b) idade do disco: 13 Gano

Comparando as escalas de tempo da idade do disco com o tempo p/ uma colisão de estrelas, pode-se concluir que tais eventos são muito raros e, provavelmente, nunca ocorreram ao longo da história da Galáxia, já que $\Delta t_{(item\ a)} \gg$ idade do disco.

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

NOME [redacted] N.º USP

DATA ___/___/___

NOTA	EXAMINADORES

2.0

7) $N = 2 \cdot 10^5 \star$; $m = 1 M_\odot$; $v \cong 10\ km/s = 10^4 \frac{m}{s}$

↳ Aglomerado virializado!

Teorema do Virial: $2E_c + E_p = 0$

a) $E_c = \frac{1}{2} m v^2$; $E_p = -\frac{mMG}{R}$; $M \equiv$ massa do aglomerado.

logo: $\cancel{2}\left(\frac{1}{\cancel{2}} \cancel{m} v^2\right) = \frac{\cancel{m} MG}{R}$; $M = N \cdot m$

↳ $R = \frac{NmG}{v^2} \Rightarrow R \cong 2{,}7 \cdot 10^{17} m$

10^{19} cm

8.7 ✗

$1 M_\odot = 2 \cdot 10^{30}\ Kg$; $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ m^3 kg^{-1} s^{-2}$

$1pc \cong 3{,}1 \cdot 10^{16} m$ → logo: $\boxed{R \cong 10pc}$

(típico de aglomerado globular)

b) tempo de cruzamento: $t_c \cong \frac{R}{v}$

logo: $t_c \cong \frac{10\,pc}{10\,km/s} = \frac{10 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{16}\,\cancel{m}}{10 \cdot 10^{3}\,\cancel{m}/s}$

$$t_c \cong 3 \cdot 10^{13}\,s \Rightarrow \boxed{t_c \cong 10^{6}\ \text{anos}}$$