

# Astronomia para o Ensino de Ciências (ACH-4116)

## 2ª lista de exercícios

*Roberto Ortiz – Professor Livre-Docente  
EACH/USP*

*Se precisar, utilize: constante de Planck  $h = 6,626075 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4,13567 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ ; velocidade da luz  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ; massa do elétron  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ; constante de Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5,67 \times 10^{-9} \text{ (S.I.)}$  ou  $5,67 \times 10^{-5} \text{ (CGS)}$ ;  $T_{sol} = 5780 \text{ K}$ . Para os dados sobre os níveis atômicos, consulte os slides da aula sobre “Luz e Radiação”.*

1-) Em Astronomia utilizam-se algarismos romanos para denotar o grau de ionização de um elemento químico. O número I romano refere-se ao elemento em seu estado neutro, o número II representa o primeiro estado ionizado, o III o segundo estado ionizado e assim por diante. Utilizando esta notação, preencha os espaços abaixo:

- a) HII =  $\text{H}^+$
- b) NaI =  $\text{Na}^0$
- c) SiIII = \_\_\_\_\_
- d) FeVIII = \_\_\_\_\_
- e) MgIV = \_\_\_\_\_
- f)  $\text{Fe}^{+5}$  = \_\_\_\_\_
- g)  $\text{S}^+$  = \_\_\_\_\_
- h)  $\text{O}^{2+}$  = \_\_\_\_\_
- i)  $\text{Ni}^{9+}$  = \_\_\_\_\_

2-) Suponha que exista uma estrela com o mesmo tamanho que o Sol, mas que sua temperatura seja de 7000 K. Qual seria a sua luminosidade? Repita o cálculo para  $T=10\ 000\text{K}$ .

3-) Complete a tabela abaixo:

<i>Nome</i>	<i>Luminosidade relativa ao Sol</i>	<i>Temperatura (K)</i>	<i>Raio (em raios solares)</i>
Sirius A	25,4	9940	
Procyon A	6,93	6530	
61 Cygni A		4526	0,665
Antares	75 900	3660	
Canopus		7400	71
$\alpha$ Centauri A		5790	1,22
Hamal	91		14,9

- 4-) Dê a classe de luminosidade (sequência principal, gigante, etc.) de cada estrela do exercício anterior e sua respectiva notação espectroscópica (de I a V).
- 5-) Plote as estrelas do exercício 3 em um diagrama HR. No eixo das ordenadas coloque o logaritmo da luminosidade relativa ao Sol.
- 6-) Uma estrela apresenta linhas de absorção intensas do CaII e do FeI. Qual é o seu tipo espectral mais provável? Qual é a sua temperatura, aproximadamente?
- 7-) Qual é a principal diferença entre um espectro estelar tipo *O* e um de tipo *B*?
- 8-) Para que ocorra a primeira ionização do hélio é necessário ceder a este átomo uma energia de 24,59 eV. Essa energia pode ser cedida por meio de colisões, por exemplo. Calcule: (a) o valor da energia de ionização do HeI, em Joules; (b) a velocidade mínima de um elétron para que este promova ionização colisional. Compare seu resultado com a velocidade da luz.
- 9-) Além de colisões, fótons podem ionizar os átomos de uma estrela. A este processo chamamos *fotoionização*. Calcule o comprimento de onda máximo de um fóton para que ocorra *fotoionização* do HeI, em Angstroms. Em que região do espectro estão os fótons capazes de ionizar o HeI?
- 10-) Considere duas estrelas, *A* e *B*, com a mesma luminosidade. A estrela *A* é mais fria que a estrela *B*. Qual delas é a maior?

### ***Respostas dos Exercícios***

- 1-) (c) Si<sup>2+</sup>; (d) Fe<sup>7+</sup>; (e) Mg<sup>3+</sup>; (f) FeVI; (g) SII; (h) OIII; (i) NiX.
- 2-) Utilizamos a relação:  $L_*/L_s = (R_*/R_s)^2 (T_*/T_s)^4$ . Neste caso, temos  $R_*/R_s=1$ , logo  $L_*/L_s=(T_*/T_s)^4$ , onde  $T_s=5780K$ . Substituindo os valores de temperatura, obtemos para a primeira estrela:  $L_*/L_s=2,15$  e para a segunda estrela  $L_*/L_s=8,96$ .
- 3-) Sírius 1,7; Procyon 2,06; 61 Cyg A 0,17; Antares 687; Canopus 13 544;  $\alpha$  Cen A 1,50; Hamal 4624.
- 4-) Sírius = sequência principal (V); Procyon = sequência principal (V); 61 Cyg A = sequência principal (V); Antares = supergigante (I); Canopus = gigante brilhante (II);  $\alpha$  Cen A = sequência principal (V); Hamal = gigante (III).
- 5-) Faça você mesmo. Utilize o slide número 7 da aula sobre espectros como modelo. Lembre-se que num diagrama HR a temperatura aumenta da direita para a esquerda.
- 6-) É mais provável que seja do tipo K, embora ela também possa ser tipo G ou M. Sua temperatura aproximada é entre 4000 e 5000K.

7-) Espectros de tipo *O* contém linhas do HeII, que por sua vez são ausentes em estrelas de tipo *B*.

8-) (a) Se 1 eV é a energia de um elétron acelerado por uma d.d.p. de 1 Volt, então sua energia é de  $qV$  (sua carga multiplicada pela d.d.p.). Logo  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Joule}$ . A energia de ionização do HeI é portanto  $24,59 \times 1,602 \times 10^{-19} = 3,94 \times 10^{-18} \text{ J}$ ; (b) Igualamos essa energia à energia cinética de um elétron:  $E = \frac{1}{2} m_e V_e^2$ . Obtém-se  $V_e = 2,94 \times 10^6 \text{ m/s}$ , que equivale a cerca de 1% da velocidade da luz.

9-) A energia de um fóton é igual a  $E = hc/\lambda$ . Logo,  $\lambda_{\text{max}} = hc/E = (4,13567 \times 10^{-15}) \times (2,998 \times 10^8)/24,59 = 5,042 \times 10^{-8} \text{ m} = 504,2 \text{ \AA}$ . Os fótons capazes de ionizar o HeI estão na região ultravioleta do espectro (e também raios-X e  $\gamma$ , embora estes sejam mais raros).

10-)  $L/L_{\text{sol}} = (R/R_{\text{sol}})^2 (T/T_{\text{sol}})^4$ . Portanto, para uma dada luminosidade (considerada fixa ou “constante”), o produto dos termos à direita na equação deve ser constante. Se aumenta-se o raio, diminui-se a temperatura (e vice-versa), de modo que a  $L/L_{\text{sol}}$  seja constante. Observe o slide número 8 da aula sobre espectros. Localize duas estrelas quaisquer no diagrama HR, de modo que ambas tenham a mesma luminosidade, mas temperaturas diferentes (*Vega* e *Arcturus*, por exemplo). Observe as linhas de iso-raio. Note que o raio da estrela aumenta em direção à diagonal superior direita do diagrama. Neste caso, *Arcturus* é maior do que *Vega*. Neste exercício a estrela *A* é maior do que *B*, assim como *Arcturus* é maior do que *Vega*.