

Lista de exercícios – 8
Nebulosas gasosas fotoionizadas

1. Demonstre a eq. 8.15 do Maciel a partir da equação de equilíbrio de fotoionização.
2. Demonstre a eq. 8.38 do Maciel a partir da equação de equilíbrio de fotoionização.
3. (Maciel, 8.1) A Tabela 8.2 relaciona as temperaturas efetivas (T_{ef}) e raios (R_*) de estrelas quentes da sequência principal. Considere esses dados e estime o número de fótons ionizantes emitidos pelas estrelas por segundo. Use fluxos de corpo negro, e compare seus resultados com os valores dados na tabela, os quais foram obtidos com o uso de modelos de atmosferas.
4. (Maciel, 8.2) A emissão livre-livre (*bremsstrahlung*) do H pode dar uma contribuição à função resfriamento em regiões HII. Para um íon com densidade n_i e carga Z_i , a perda de energia por cm^3 e por segundo é dada por

$$\Lambda_{ji} = \frac{2^5 \pi e^6 Z_i^2}{3 \sqrt{3} h m_e C^3} \sqrt{\frac{2 \pi k T}{m_e}} n_i n_e g_h .$$

- (a) Estime $\Lambda_{ji} / n_p n_e$ para uma região HII de H puro com $T = 10^4$ K. Tome o fator de Gaunt $g_{ji} = 1$.
 - (b) Estime $\Lambda_{ji} / n_p n_e$ para uma região HII contendo H e H_e . Admita que ambos estão uma vez ionizados, e considere uma abundância normal para o H_e . (c) Compare seus resultados com os valores equivalentes obtidos para o resfriamento devido à excitação colisional.
5. (Maciel, 8.3) Medidas das intensidades das linhas do oxigênio e enxofre na nebulosa planetária NGC 6302 produzem os seguintes resultados, já corrigidos pela extinção interestelar, em uma escala onde $I(\text{H}\beta) = 100$; [OIII]: $I(4959) = 361,4$; $I(5007) = 1352,0$; $I(4363) = 17,0$; [OII]: $I(3729) = 51,1$; $I(3726) = 53,9$; [SII]: $I(6716) = 11,3$; $I(6731) = 11,1$.

(a) Estime a temperatura e a densidade da nebulosa com base nas linhas do OII e OIII.

(b) Faça o mesmo usando as linhas de enxofre e compare os resultados.
 6. (Maciel, 8.4) Uma estrela com $2,0 M_\odot$ na sequência principal alcança o ramo das gigantes, onde mantém uma taxa de perda de massa de $10^{-6} M_\odot / \text{ano}$ por período de 10^6 anos. No topo do ramo assintótico das gigantes (AGB), ejeta uma nebulosa planetária com massa M_{np} , cuja estrela central evolui para tornar-se uma anã branca com massa de $0,7 M_\odot$. (a) Qual é a massa da nebulosa planetária? (b) Admitindo que a escala de tempo da nebulosa planetária seja de 20 mil anos, qual é a taxa de perda de massa média necessária ao processo de formação da nebulosa? Despreze a perda de massa durante a sequência principal.
 7. (Maciel, 8.5) A massa ionizada de uma nebulosa planetária pode ser escrita:

$$M_j = (4/3) \pi R_j^3 \mu n_e \epsilon m_H,$$

onde R_j é o raio ionizado, μ é o peso molecular médio, n_e é a densidade eletrônica, ϵ é o fator de

preenchimento, que leva em conta a distribuição do gás ionizado na nebulosa e m_H é a massa do átomo de H. Pode-se mostrar que a densidade eletrônica é proporcional a

$$F^{1/2} \epsilon^{-1/2} R_j^{-3/2} d,$$

onde F é o fluxo livre-livre observado em 5 GHz e d é sua distância.

(a) Mostre que a massa ionizada pode ser escrita na forma

$$\int j = \text{constante} \times F^{1/2} \epsilon^{1/2} \theta^{3/2} d^{5/2},$$

onde $\theta = R_j/d$ é o raio angular da nebulosa.

(b) Mostre que a distância da nebulosa pode ser escrita

$$d = K F^{-1/5} \epsilon^{-1/5} \theta^{-3/5} M_j^{2/5},$$

onde K é uma constante. Este é método de SHKLOUSKY para determinação de distâncias de nebulosas planetárias. (c) A constante $K = 50$ se o fluxo em 5GHz estiver em mJy, θ em segundos de arco, M_j em massas solares e d em kpc. Determine a distância da nebulosa NGC 7009, com os seguintes dados: $F = 700\text{mJy}$, $\epsilon = 1$, $\theta = 15''$ e $M_j = 0,2M_\odot$. [$1 \text{ mJy} = 10^{-29} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$].