

Todas as **etapas** de cálculo devem ser **explicitadas**. A entrega pode ser na forma **digital** (upload no **Moodle**) ou na forma escrita. Nesse caso, os cálculos podem ser feitos a lápis, mas as **respostas finais** devem ser escritas à **caneta**. As fórmulas e figura especificadas no texto são apresentadas no final da lista.

**1)** Usando a velocidade quadrática média ( $v_{rms}$ ) estime o caminho livre médio das moléculas de nitrogênio na nossa sala de aula na temperatura ambiente de 300K. Qual é o tempo médio entre colisões? Use 0,1 nm para o raio de uma molécula de nitrogênio e  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$  para a densidade do ar. Uma molécula de nitrogênio contém 28 núcleons (prótons e neutrons).

**2)** Usando os resultados de uma atmosfera plano-paralela em *LTE*, determine a razão entre a temperatura efetiva ( $T_e$ ) de uma estrela e sua temperatura no topo da atmosfera. Se  $T_e = 5777 \text{ K}$ , qual é a temperatura no topo da atmosfera?

**3) (a)** Levando em consideração a distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzmann, qual temperatura seria necessária para dois prótons colidirem se o tunelamento da mecânica quântica fosse desprezado? Suponha que os núcleons que tenham velocidades dez vezes maior que o valor da velocidade quadrática média ( $v_{rms}$ ), na distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzmann, conseguem superar a barreira Coulombiana. Compare sua resposta com a temperatura estimada no centro do Sol.

**(b)** Usando a Equação (1), calcule a razão entre o número de prótons que tenham velocidades dez vezes maiores que o valor da  $v_{rms}$  e o número daqueles que tenham velocidade igual à  $v_{rms}$ .

**(c)** Caso o Sol fosse composto puramente de hidrogênio (o que não é verdade), estime qual seria o número de núcleons do hidrogênio no Sol. Haveriam prótons suficientes movendo-se a uma velocidade dez vezes maior que o valor da  $v_{rms}$  para serem levados em conta na luminosidade do Sol?

**4) (a)** Usando a Equação (2) e desprezando a turbulência, estime, para linha  $H\alpha$  em absorção, a largura à meia altura (*FWHM*:  $(\Delta\lambda)_{1/2}$ ) devida a movimentos térmicos aleatórios na fotosfera solar. Suponha que a temperatura é a temperatura efetiva do Sol.

**(b)** Usando dados de *redshift* em  $H\alpha$  para a granulação solar, estime a *FWHM* quando os movimentos convectivos turbulentos são incluídos aos movimentos térmicos.

**(c)** Qual é a razão entre  $(v_{turb})^2$  e  $2kT/m$ ?

**(d)** Determine a mudança relativa na *FWHM* devida ao alargamento Doppler quando a turbulência é incluída. A turbulência contribui de forma significativa para  $(\Delta\lambda)_{1/2}$  na fotosfera solar?

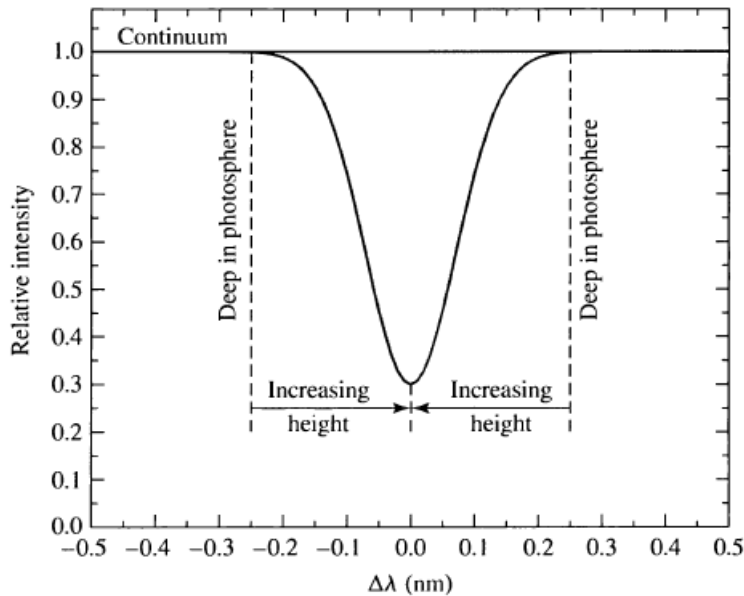
5) Suponha que você pretenda realizar observações através de um gás ópticamente espesso e suponha valores contantes para densidade e temperatura. Adote valores típicos para a fotosfera solar ( $\rho = 2,2 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-3}$  e  $5777\text{K}$ ). Se a opacidade do gás para  $\lambda_1$  é  $\kappa_{\lambda,1} = 0,026 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$  e para  $\lambda_2$  é  $\kappa_{\lambda,2} = 0,030 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ , para cada um desses comprimentos de onda calcule a distância dentro do gás na qual a profundidade óptica vale  $2/3$ . Para qual comprimento de onda você poderá enxergar mais profundamente dentro do gás? Quanto mais profundo? Esse efeito permite aos astrônomos sondarem a atmosfera em diferentes profundidades? (vide Fig. 1).

**Equação (1):** Número de partículas de gás com velocidades entre  $v$  e  $v+dv$

$$n_v dv = n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} 4\pi v^2 dv,$$

**Equação (2):** Largura à meia altura ( $FWHM$ ) do perfil de linha para o alargamento Doppler:

$$(\Delta\lambda)_{1/2} = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT \ln 2}{m}}$$



**Figura 1.** A relação entre a força da linha de absorção e a profundidade da fotosfera para uma típica linha espectral. As asas da linha são formadas mais profundamente na atmosfera do que o centro da linha.