

## Lista de exercícios 1: Física Quântica

1. O que é um corpo negro e quais são as características da radiação por ele emitida?
2. O comprimento de onda da radiação térmica que o Sol emite mais intensamente é aproximadamente 500 nm. Supondo que o Sol é um corpo negro qual seria a temperatura em sua superfície?
3. Um corpo negro foi aquecido de temperatura 100 °C até 400 °C. Determine em quantas vezes mudou a potência total da radiação emitida por este corpo.
4. A temperatura de um corpo negro diminui de 1000 K para 750 K. Determine como mudou o comprimento de onda que corresponde ao máximo de emissão do espectro de radiação deste corpo.
5. A medida do comprimento de onda para a qual a distribuição  $\mathcal{R}(\lambda)$  é máxima indica que a temperatura da superfície da estrela é 3000 K. Se a potência irradiada pela estrela é 100 vezes maior que a potência irradiada pelo Sol, qual seria o tamanho da estrela? Dado: temperatura da superfície do Sol = 5800 K. Dica: para um corpo negro  $R = P/A$ , onde  $R$  é a potência irradiada por unidade de área,  $P$  a potência total irradiada e  $A$  a área do corpo, e suponha que as estrelas são corpos negros.
6. Quais foram os argumentos de Einstein para introduzir o conceito de fótons e como ele explicava as falhas na teoria clássica?
7. (a) A energia necessária para que um elétron seja removido do sódio é de 2,3 eV. O sódio apresenta efeito fotoelétrico para a luz amarela, com  $\lambda = 589$  nm? (b) Qual o comprimento de onda de corte para a emissão fotoelétrica do sódio?
8. O molibdênio metálico tem de absorver radiação com a frequência mínima de  $1.09 \times 10^{15} \text{s}^{-1}$  antes que ele emita um elétron de sua superfície via efeito fotoelétrico. (a) Qual é a energia mínima necessária para produzir esse efeito? (b) Qual comprimento de onda de radiação fornecerá um fóton com essa energia? (c) Se o molibdênio é irradiado com luz com comprimento de onda de 120 nm, qual é a possível energia cinética máxima dos elétrons emitidos?
9. Numa experiência fotoelétrica na qual se usa luz monocromática e um foto-catodo de sódio, encontramos um potencial de corte de 1,85 V para  $\lambda = 300$  nm e de 0,82 V para  $\lambda = 400$  nm. Destes dados, determine (a) o valor da constante de Planck, (b) a função trabalho do sódio em eV, e (c) o comprimento de onda limite para o sódio.
10. Os comprimentos de onda da luz visível vão de 380 nm a 750 nm, aproximadamente. (a) Qual o intervalo de energias, em eVs, dos fótons de luz visível? (b) Em condições normais, o olho humano é capaz de perceber um clarão se aproximadamente 50 fótons chegarem a córnea. Qual a energia associada a esses 50 fótons se o comprimento de onda for 550 nm?
11. Os aparelhos de raio X utilizados pelos dentistas funcionam com uma tensão da ordem de 90 kV para aceleração dos elétrons emitidos por um cátodo. Suponha que os elétrons são emitidos com energia cinética inicial desprezível. Determine o comprimento de onda mínimo dos raios X produzidos por esses aparelhos. Justifique sua resposta explicando como se dá a produção de raios X.
12. Calcule o valor de  $\Delta\lambda$  para um fóton espalhado a um ângulo de 60° (a) por um próton livre; (b) por um elétron livre; (c) por uma molécula de  $N_2$  presente no ar.
13. O comprimento de onda de uma certa linha da série de Balmer é 379.1 nm. A que transição corresponde essa linha?
14. Em uma amostra que poderia conter hidrogênio, entre outros elementos, quatro linhas espectrais são observadas no infravermelho com comprimentos de onda de 7460 nm, 4654 nm, 4103 nm e 3741 nm. Para se descobrir se há hidrogênio e etc na amostra pode-se comparar essas linhas com a dos espectros característicos dos elementos. Quais dessas linhas pertencem ao espectro característico do hidrogênio?
15. O múon é uma partícula idêntica a o elétron exceto pela massa, que é de  $105.7 \text{ MeV}/c^2$  (cerca de 207 vezes a massa do elétron). Um múon pode ser capturado por um próton formando um átomo muônico. Calcule, para este átomo: a) O raio da primeira orbita de Bohr. b) A energia do estado fundamental. c) O comprimento de onda mais curto e o mais longo para a série de Balmer.

16. Considere um átomo de silício que foi ionizado de modo que somente um elétron resta para ocupar seus orbitais. Calcule, para este sistema: a) O raio da primeira órbita de Bohr, isto é  $n = 1$ . b) Determine o espectro de energia  $E_n$  do sistema, e a energia estado fundamental (o estado fundamental é aquele que tem a menor energia). c) Qual seria a energia do fóton emitido numa transição do elétron no estado  $n = 2$  para o estado fundamental do sistema. Compare com o caso do átomo de hidrogênio.
17. (a) Calcule a energia de um elétron na órbita  $n = 1$  do tungstênio, tomando  $Z - 1$  como carga efetiva do núcleo. (b) O valor experimental dessa energia é 69.5 keV. Suponha que a carga nuclear efetiva é  $(Z - \sigma)$ , onde  $\sigma$  é a chamada *constante de blindagem*, e calcule o valor de  $\sigma$  a partir do resultado experimental.
18. Em uma amostra contendo hidrogênio ordinário pode haver também o trítio (isótopo do hidrogênio que tem núcleo com massa aproximadamente três vezes maior). Uma maneira de constatar a presença do trítio é observar os comprimentos de onda da luz emitida pela amostra nas transições quânticas. Determine a diferença dos comprimentos de onda das linhas  $H_\alpha$  que correspondem a transições de  $n = 3$  para  $n = 2$ , do hidrogênio e do trítio.
19. Qual o comprimento de onda de de Broglie para uma bola de futebol de massa  $m = 0.5$  kg se movimentando com uma velocidade de 5 m/s? E para um elétron com energia cinética de 100 eV? E para um objeto muito pequeno, porém macroscópico de massa  $10^{-9}$  g (a massa do elétron é de  $9 \times 10^{-29}$  g!) que se move com a velocidade  $10^{-3}$  m/s? Baseado nestes resultados, porque não observamos efeitos de difração e interferência para tais objetos utilizando fendas?
20. Num aparelho de televisão os elétrons são acelerados por um potencial de 23 kV. Qual é o comprimento de onda dos elétrons?
21. Para uma partícula cuja energia cinética é muito maior do que sua energia de repouso, vale a aproximação  $E = pc$ . Calcule o comprimento de onda de de Broglie de um elétron de 100 MeV de energia usando essa aproximação.
22. Enuncie o princípio da incerteza de Heisenberg e discuta suas consequências.
23. Uma massa de 1 micrograma tem uma velocidade de 1 cm/s. Se a velocidade tem uma incerteza de 1%, qual é a ordem de grandeza da incerteza mínima na sua posição?
24. Os núcleos atômicos são também sistemas quânticos com níveis de energia discretos. Um estado excitado de um certo núcleo tem uma meia vida de  $0.7 \times 10^{-9}$  s. Considerando que este tempo é a incerteza  $\Delta t$  para a emissão de um fóton, use a relação  $\Delta E \Delta t \sim \hbar$  para calcular a incerteza da frequência,  $\Delta f$ , e calcule  $\Delta f/f$  para  $\lambda = 0.01$  nm.
25. A posição e o momento de um elétron de 2 keV são determinados no mesmo instante. Se a posição é determinada com uma precisão de 1 Å, qual é a porcentagem de incerteza em seu momento? (Dica:  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )
26. A energia de um certo estado nuclear pode ser medida com incerteza da ordem de 0.1 eV. Qual é o mínimo tempo de vida desse estado?