

4^a Lista de Exercícios - Estrutura da Matéria

Prof. Wanderlã*

Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

1. Questão

- (a) Esboce um espectro de radiação térmica típico e indique o efeito da variação da temperatura sobre as características do espectro.
- (b) Esboce um espectro atômico típico e explique por que o espectro não é contínuo.
- (c) Explique o significado da expressão “comprimento de onda de um elétron”.
- (d) Explique o que significa a expressão “energia de ponto zero”.
- (e) Explique o significado físico do raio de Bohr.
- (f) Esboce as bandas de energia típicas para metais, isolantes e semicondutores e explique as diferenças entre esses esboços.
- (g) Explique o significado físico da energia de Fermi.
- (h) Explique o que significa a expressão “gap de energia”.

- 2. O comprimento de onda de um raio gama típico é de $1,0 \times 10^{-12}$ m. Qual é a energia de cada fóton nessa radiação? Exprima sua resposta em J e em eV, lembrando que $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.
- 3. Baseado em “Física para Ciências Biológicas e Biomédicas”, E. Okuno, I. L. Caldas, C. Chow, Ed. Harbra, São Paulo, 1982, Calcule o comprimento de onda e a frequência de um fóton com energia de 100 eV.
- 4. Baseado em “Física para Ciências Biológicas e Biomédicas”, E. Okuno, I. L. Caldas, C. Chow, Ed. Harbra, São Paulo, 1982, Uma lâmpada azul com potência de 100 W emite luz com comprimento de onda de 450 nm. Se 12 % da energia correspondem à radiação emitida, quantos fótons são emitidos por segundo?

*Electronic address: wlscope1@gmail.com

5. Baseado em “Física para Ciências Biológicas e Biomédicas”, E. Okuno, I. L. Caldas, C. Chow, Ed. Harbra, São Paulo, 1982, Um cirurgião tenta colar uma retina descolada usando pulsos de raio laser com duração de 20 ms, com potência de 0,60 W. Quanta energia e quantos fótons são emitidos em cada pulso se o comprimento de onda do raio laser em questão é de 643 nm?
6. Baseado em “Física para Ciências Biológicas e Biomédicas”, E. Okuno, I. L. Caldas, C. Chow, Ed. Harbra, São Paulo, 1982, um microscópio eletrônico pode resolver estruturas de pelo menos 10 vezes o comprimento de onda de de Broglie do elétron. Qual o tamanho típico da menor estrutura que pode ser resolvida em um microscópio eletrônico utilizando elétrons com energia de 10 keV?
7. A função densidade de probabilidade radial $P(r)$ para um elétron em um átomo é definida de modo que o produto $P(r)dr$ representa a probabilidade de que o elétron seja encontrado a uma distância no intervalo entre r e $r + dr$. Para o elétron no estado fundamental do átomo de hidrogênio, esta função (obtida a partir da solução de Equação de Schrödinger) é dada por $P(r) = r^2 e^{(-2r/a_0)}$, sendo $a_0 = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$ o raio de Bohr.
 - (a) Faça um esboço da função $P(r)$.
 - (b) Mostre que essa função possui um máximo em $r = a_0$ e interprete o resultado.
 - (c) Calcule o valor numérico de a_0 .
8. Os níveis de energia de um elétron em um átomo de hidrogênio são dados pela expressão

$$E_n = -\left[\frac{m_e}{2\hbar^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2\right]\frac{1}{n^2} \quad (1)$$

onde n o número quântico principal (igual a 1, 2, 3, ...).

- (a) Esboce a distribuição desses níveis de energia para diferentes valores de n .
- (b) Calcule a energia do estado fundamental do elétron no átomo de hidrogênio.
- (c) Calcule a energia de ionização do átomo de hidrogênio, explicando.
- (d) Calcule o comprimento de onda e a frequência da radiação emitida quando o elétron sofre uma transição do estado inicial com $n_i = 2$ para o estado final com $n_f = 1$. Em que região do espectro eletromagnético se encontra essa radiação?

- (e) Repita a questão acima para $n_i = 3$, $n_f = 1$ e para $n_i = 3$, $n_f = 2$.
9. A partir do Problema 13.12 de “Física Quântica”, Eisberg/Resnick.) O cobre é um metal monovalente com densidade igual a $8,95 \text{ g/cm}$ e massa molar $63,55 \text{ g/mol}$. Calcule a energia Fermi (em eV) do cobre em $T = 0 \text{ K}$.
10. As concentrações de elétrons (n_i) e buracos (p_i) em um semiconductor intrínseco variam em função da temperatura absoluta T de acordo com a expressão $n_i = n_0 e^{-E_g/(2k_B T)}$, onde n_0 é uma constante de cada material, k_B é a constante de Boltzmann e E_g é a magnitude do gap de energia.
- (a) Verifique e explique o comportamento de n_i e p_i próximo do zero absoluto.
- (b) Sabendo que $n_0 = 8,0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ para o Ge e $n_0 = 1,7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ para o Si, calcule o valor de n_i à temperatura ambiente para esses materiais (os valores de E_g podem ser obtidos na apresentação utilizada em sala de aula).
- (c) Compare esses valores com as concentrações de elétrons tipicamente encontradas em metais (também fornecidas na apresentação utilizada em sala de aula) e comente.
11. Um semiconductor extrínseco foi formado a partir da substituição de 1 em cada 1 milhão de átomos de Si (valência 4) por 1 átomo de Sb (valência 5). Assumindo que houve ionização completa das impurezas doadoras, calcule a concentração de elétrons nesse semiconductor. (Utilize a densidade do Si = $2,33 \text{ g/cm}$.) Compare esse valor com os valores de n_i calculados à temperatura ambiente no problema anterior e comente o resultado.
12. Baseado no Problema 12.39 de “Ciência e Engenharia de Materiais – uma Introdução”, Callister.) A condutividade elétrica de um semiconductor intrínseco varia em função da temperatura absoluta T de acordo com a expressão $\sigma = \sigma_0 e^{-E_g/(2k_B T)}$, onde σ_0 é uma constante de cada material, k_B é a constante de Boltzmann e E_g é a magnitude do gap de energia. Medidas de condutividade elétrica de um certo semiconductor intrínseco forneceram os valores $0,12$ e $12,25 \text{ } (\Omega m)^{-1}$ nas temperaturas 450 e 550 K , respectivamente. Utilize esses dados para determinar o valor de E_g (em eV) e a condutividade elétrica do material à temperatura ambiente (300 K).