

Capítulo 38(40): Fótons, Elétrons e Átomos

- Número de aulas: 3 aulas
- Seções do livro texto: 38.8(40.9) *Espectro contínuo*; 38.2 *O Efeito Fotoelétrico*; 38.7(40.8) *Efeito Compton* e 38.3 *Espectro Atômico de Linhas e Níveis de Energia*; 38.4 *O Núcleo do Átomo* e 38.5 *O Modelo de Bohr* (40.3 a 40.6).
- Exercícios sugeridos: 38.42(40.36), 38.77(40.65), 38.42(40.36), 38.77(40.65), 38.4(40.2), 38.12(40.8), 38.13(40.7), 38.14(40.9), 38.18(40.12), 38.55(40.47), 38.36(40.32), 38.38(40.30), 38.41(40.33), 38.74(40.64), 38.76(40.59), 38.25(40.19), 38.27(40.21), 38.59(40.49), 38.63(40.55), 38.79(40.67), 38.80(40.68).

38.42 Determine λ_m , o comprimento de onda do pico da distribuição de Planck, e a frequência f correspondente nas seguintes temperaturas: a) 3,0 K; b) 300 K; c) 3000 K.

38.77 a) Escreva a lei da distribuição de Planck em termos da frequência f em vez do comprimento de onda λ para obter $I(f)$.
b) Mostre que

$$\int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4$$

em que $I(\lambda)$ é a fórmula da distribuição de Planck da Equação (38.32). (*Sugestão*: troque a variável de integração de λ para f .)
Você precisará usar a seguinte integral obtida em tabelas:

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^{\alpha x} - 1} dx = \frac{1}{240} \left(\frac{2\pi}{\alpha} \right)^4$$

c) O resultado do item (b) é I , que possui a forma da lei de Stefan-Boltzmann, $I = \sigma T^4$, indicada na Equação (38.28). Calcule a constante obtida no item (b) para mostrar que σ possui o valor dado na Seção 38.8.

$$I = \sigma T^4 \quad (38.28)$$

(lei de Stefan-Boltzmann para um corpo negro)

$$I(\lambda) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (38.32)$$

(lei da radiação de Planck)

$$\sigma = 5,670400(40) \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

38.4 Um laser usado para soldar retinas descoladas emite luz com comprimento de onda igual a 652 nm através de pulsos que duram 20,0 ns. A potência média durante cada pulso é igual a 0,6 W. a) Qual é a energia de cada pulso em joules? E em elétrons-volt? b) Qual é a energia de um fóton em joules? E em elétrons-volt? c) Quantos fótons são emitidos em cada pulso?

38.12 A função trabalho para o efeito fotoelétrico em uma superfície de potássio é 2,3 eV. Se uma luz com comprimento de onda igual a 250 nm incide sobre o potássio, calcule qual é a) o potencial de corte em volts; b) a energia cinética em elétrons-volt dos elétrons emitidos com maior energia; c) a velocidade desses elétrons.

38.13 Quando um feixe de luz ultravioleta de 254 nm incide sobre uma superfície polida de cobre, o potencial de corte necessário para impedir a emissão de fotoelétrons é igual a 0,181 V. a) Qual é o comprimento de onda de corte dessa superfície de cobre? b) Qual é a função trabalho dessa superfície, e como o valor que você obteve se compara ao fornecido na Tabela 38.1?

Tabela 38.1 Função trabalho de diversos elementos.

Elemento	Função trabalho (eV)
Alumínio	4,3
Carbono	5,0
Cobre	4,7
Níquel	5,1
Ouro	5,1
Prata	4,3
Silício	4,8
Sódio	2,7

38.14 O momento linear de um fóton é $8,24 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. a) Qual é a energia desse fóton? Expresse a resposta em joules e em elétrons-volt. b) Qual é o comprimento de onda associado a esse fóton? Em que região do espectro eletromagnético ele está?

38.18 O diagrama de níveis de energia para o elemento hipotético *sears-zemanskium* é indicado na Figura 38.36. A energia potencial é igual a zero quando a distância entre o elétron e o núcleo é infinita. a) Qual é a energia necessária (em elétrons-volt) para ionizar um elétron a partir do nível fundamental? b) Um fóton de 18 eV é absorvido pelo átomo de *sears-zemanskium* em seu nível fundamental. Quando o átomo retorna para seu nível fundamental, quais são as energias possíveis para os fótons emitidos? c) O que ocorreria se um fóton de 8 eV colidisse com um átomo de *sears-zemanskium* em seu nível fundamental? Por quê? d) Fótons emitidos por um átomo de *sears-zemanskium* nas transições $n = 3 \rightarrow n = 2$ e $n = 3 \rightarrow n = 1$ produzem fotoelétrons quando incidem sobre um metal desconhecido; porém, os fótons emitidos na transição $n = 4 \rightarrow n = 3$ não produzem fotoelétrons. Qual é o intervalo de valores possíveis (o valor máximo e o mínimo) para a função trabalho desse metal desconhecido?

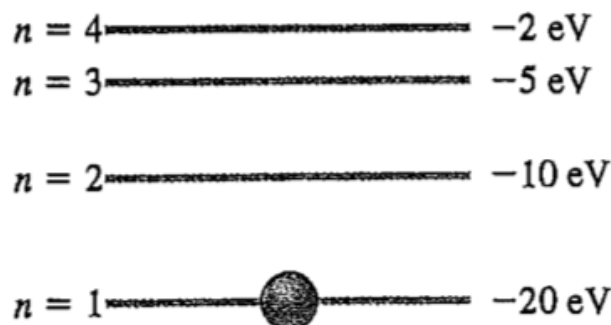


Figura 38.36 Exercício 38.18.

38.55 a) O comprimento de onda da luz que incide sobre uma superfície metálica se reduz de λ_1 para λ_2 (λ_1 e λ_2 são menores do que o comprimento de onda de corte para a superfície). Quando o comprimento de onda é reduzido desse modo, qual é a variação do potencial de corte para os fotoelétrons emitidos por essa superfície? b) Calcule a variação do potencial de corte para $\lambda_1 = 295 \text{ nm}$ e $\lambda_2 = 265 \text{ nm}$.

38.36 Raios X são produzidos em um tubo submetido a 18,0 kV. Depois de emergirem no tubo, os raios X que possuem um comprimento de onda mínimo atingem um alvo e sofrem um espalhamento Compton de um ângulo igual a $45,0^\circ$. a) Qual é o comprimento de onda do raio X original? b) Qual é o comprimento de onda do raio X espalhado? c) Qual é a energia (em elétrons-volt) dos raios X espalhados?

38.38 Um feixe de raios X de comprimento de onda igual a 0,05 nm sofre espalhamento Compton por elétrons em uma amostra. Qual deve ser o ângulo de observação em relação à direção do feixe incidente para que se possa encontrar raios X cujos comprimentos de onda sejam de: a) 0,0542 nm?; b) 0,0521 nm?; c) 0,05 nm?

38.41 Complete a dedução da fórmula do espalhamento Compton, Equação (38.23), seguindo os passos indicados da Equação (38.24) até a Equação (38.27).

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \phi) \quad (38.23)$$

(espalhamento Compton)

Nesse exercício, sugerimos vocês olharem o livro para acompanharem a explicação associada às equações no intervalo entre a Equação 38.24 e a Equação 38.27, citadas no enunciado.

38.74 Um fóton de raios X é espalhado por um elétron (massa m) em repouso. O comprimento de onda do fóton espalhado é λ' e a velocidade final do elétron é igual a v . a) Qual era o comprimento de onda λ inicial do fóton? Expresse sua resposta em termos de λ' , v e m . (*Sugestão*: use a expressão relativística para a energia cinética do elétron.) b) Através de qual ângulo ϕ o fóton é espalhado? Expresse sua resposta em termos de λ , λ' e m . c) Avalie seus resultados dos itens (a) e (b) para um comprimento de onda do fóton espalhado igual a $5,1 \times 10^{-3}$ nm e para uma velocidade final do elétron igual a $1,8 \times 10^6$ m/s. Forneça ϕ em graus.

38.76 a) Calcule o aumento máximo do comprimento de onda de um fóton que pode ocorrer durante um espalhamento Compton.
 b) Qual é a energia (em elétrons-volt) do fóton de raios X de menor energia em que o comprimento de onda dobra de valor durante um espalhamento Compton?

38.25 Um átomo de berílio triplamente ionizado Be^{3+} (um átomo de berílio que perdeu três elétrons) apresenta um comportamento semelhante ao do átomo de hidrogênio, a não ser pelo fato de ter uma carga nuclear quatro vezes maior do que a do hidrogênio. a) Qual é a energia do nível fundamental do berílio? Como ela se compara à energia do nível fundamental do átomo de hidrogênio? b) Qual é a energia de ionização do Be^{3+} ? Como ela se compara à energia de ionização do átomo de hidrogênio? c) Para o átomo de hidrogênio, o comprimento de onda do fóton emitido na transição $n = 2$ para $n = 1$ é igual a 122 nm (Exemplo 38.6, Seção 38.5). Qual é o comprimento de onda quando o íon Be^{3+} realiza a mesma transição? d) Para um dado valor de n , como se compara o raio da órbita do íon Be^{3+} ao raio da órbita do mesmo nível do átomo de hidrogênio?

Exemplo 38.6

EXPLORANDO O MODELO DE BOHR Determine a energia cinética, a energia potencial e a energia total do átomo de hidrogênio em seu primeiro nível excitado; e calcule o comprimento de onda do fóton emitido na transição do primeiro nível excitado até o nível fundamental.

SOLUÇÃO

IDENTIFICAR: este problema utiliza as idéias do modelo Bohr discutidos nesta seção.

PREPARAR: usamos as equações (38.16), (38.17) e (38.18) encontrar as energias do átomo. Para encontrar o comprimento de onda λ do fóton, usamos a Equação (38.6), que relaciona a energia e o comprimento de onda de um fóton emitido com as energias iniciais e finais do átomo.

EXECUTAR: podemos calcular as equações (38.16), (38.18) para o nível n substituindo os valores de m , e , ϵ_0 e l podemos simplificar os cálculos comparando com a Equação (38.14), que mostra que a constante que aparece nas equações (38.14), (38.16) é igual a hcR e é experimentalmente igual a 13,6 eV:

$$\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = hcR = 13,6 \text{ eV}$$

Usando essa expressão, podemos reescrever as equações (38.16), (38.17) e (38.18) na forma

$$K_n = \frac{13,6 \text{ eV}}{n^2} \quad U_n = \frac{-27,2 \text{ eV}}{n^2} \quad E_n = \frac{-13,6 \text{ eV}}{n^2}$$

O primeiro nível excitado corresponde ao nível $n = 2$, em que $K_2 = 3,4 \text{ eV}$, $U_2 = -6,8 \text{ eV}$ e $E_2 = -3,4 \text{ eV}$.

O nível fundamental corresponde ao nível $n = 1$, de energia $E_1 = -13,6 \text{ eV}$. A energia do fóton emitido é $E_2 - E_1 = -3,4 \text{ eV} - (-13,6 \text{ eV}) = 10,2 \text{ eV}$. A energia do fóton é igual a hc/λ , portanto,

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{(4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s})(3,0 \times 10^8 \text{ m/s})}{10,2 \text{ eV}} = 1,22 \times 10^{-7} \text{ m} = 122 \text{ nm}$$

O resultado anterior corresponde ao comprimento de onda da linha 'Lyman alfa', o comprimento de onda mais longo situado na série de Lyman do espectro do átomo de hidrogênio (ver Figura 38.9).

AVALIAR: nossos resultados mostram que a energia mecânica total é negativa e igual à metade da energia potencial. É interessante notar que encontramos a mesma relação de energias para as órbitas do satélite na Seção 12.4. O motivo para a semelhança entre as duas situações é que tanto a força eletrostática quanto a força gravitacional são inversamente proporcionais a $1/r^2$.

38.27 a) Usando o modelo de Bohr, calcule a velocidade do elétron no átomo de hidrogênio para os níveis $n = 1, 2$ e 3 . b) Calcule o período orbital para cada um desses níveis. c) A vida média para o primeiro nível excitado do átomo de hidrogênio é $1,0 \times 10^{-8}$ s. No modelo de Bohr, quantas voltas completas o elétron daria no nível $n = 2$ antes de o elétron voltar para seu nível fundamental?

38.59 O múon negativo possui carga igual à do elétron, porém sua massa é 207 vezes maior. Considere um átomo semelhante ao átomo de hidrogênio constituído por um próton e um múon. a) Qual é a massa reduzida do átomo? b) Qual é a energia do nível fundamental (em elétrons-volt)? c) Qual é o comprimento de onda da radiação emitida na transição do nível $n = 2$ para o nível $n = 1$?

38.63 a) Qual é a menor quantidade de energia em elétrons-volt que deve ser fornecida a um átomo de hidrogênio que está inicialmente em seu nível fundamental, de modo que ele emita a linha $H\alpha$ da série de Balmer? b) Quantas possibilidades diferentes existem no espectro de linhas de emissão para esse átomo quando o elétron está inicialmente no nível $n = 3$ e por fim termina no nível fundamental? Calcule o comprimento de onda do fóton emitido em cada caso.

38.79 a) Mostre que, no modelo de Bohr, a frequência da revolução de um elétron em uma órbita circular estacionária em torno do núcleo do átomo de hidrogênio é dada por $f = me^4/4\epsilon_0^2 n^3 h^3$. b) Na física clássica, a frequência da revolução de um elétron é igual à frequência da radiação que ele emite. Mostre que, quando n é muito grande, a frequência da revolução é, na verdade, igual à frequência da radiação calculada pela Equação (38.6) para uma transição do nível $n_1 = n + 1$ até o nível $n_2 = n$. (Esse item ilustra o

princípio de correspondência de Bohr, que é muito usado para conferir cálculos da mecânica quântica. Quando n é pequeno, a mecânica quântica fornece resultados muito diferentes dos obtidos pela física clássica. Quando n é grande, a diferença entre esses resultados é desprezível e os dois métodos são 'correspondentes'. De fato, quando Bohr estudou o problema do átomo de hidrogênio pela primeira vez, ele procurou determinar f em função de n , de modo a obter um resultado correspondente ao da física clássica para valores de n elevados.)

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = E_i - E_f \quad (38.6)$$

(energia do fóton emitido)

38.80 Considere um feixe de luz monocromática com intensidade I incidindo sobre uma superfície completamente absorvedora perpendicular à direção do feixe. Use o conceito de fóton para mostrar que a pressão da radiação exercida pela luz sobre a superfície é dada por I/c .