Física IV

Fótons e Natureza Ondulatória da Luz

Sears – capítulo 38 - 39

Prof. Nelson Luiz Reyes Marques

Exercício 1

Estime a potência irradiada, à temperatura ambiente, por um objeto cuja superfície é 1 m^2.

$$I = \sigma T^4$$

$$\text{P} = 5{,}67.\,10^{-8}\,\frac{w}{m^2K^4}\,(297\;K)^4.\,1m^2 = 441\;W$$

Exercício 2

Fazendo-se a luz do Sol passar por um prisma e medindo a intensidade da energia para diversas frequências, obtemos uma curva espectral. O pico da curva corresponde à frequência de 5, 6 . 10^{14} Hz. Qual deve ser a temperatura da superfície do Sol?

$$\lambda_{\max} T = 2898\ \mu\mathrm{m}\cdot\mathrm{K}$$

$$T = \frac{2898\ \mu\mathrm{m}\cdot\mathrm{K}}{\lambda_{\max}} = \frac{\nu_{\max}}{c} 2898\ \mu\mathrm{m}\cdot\mathrm{K}$$

$$T = 5.500\ \mathrm{K}.$$

Exercício 3

Determine o valor da função trabalho Φ do sódio a partir da Fig. 38-2.

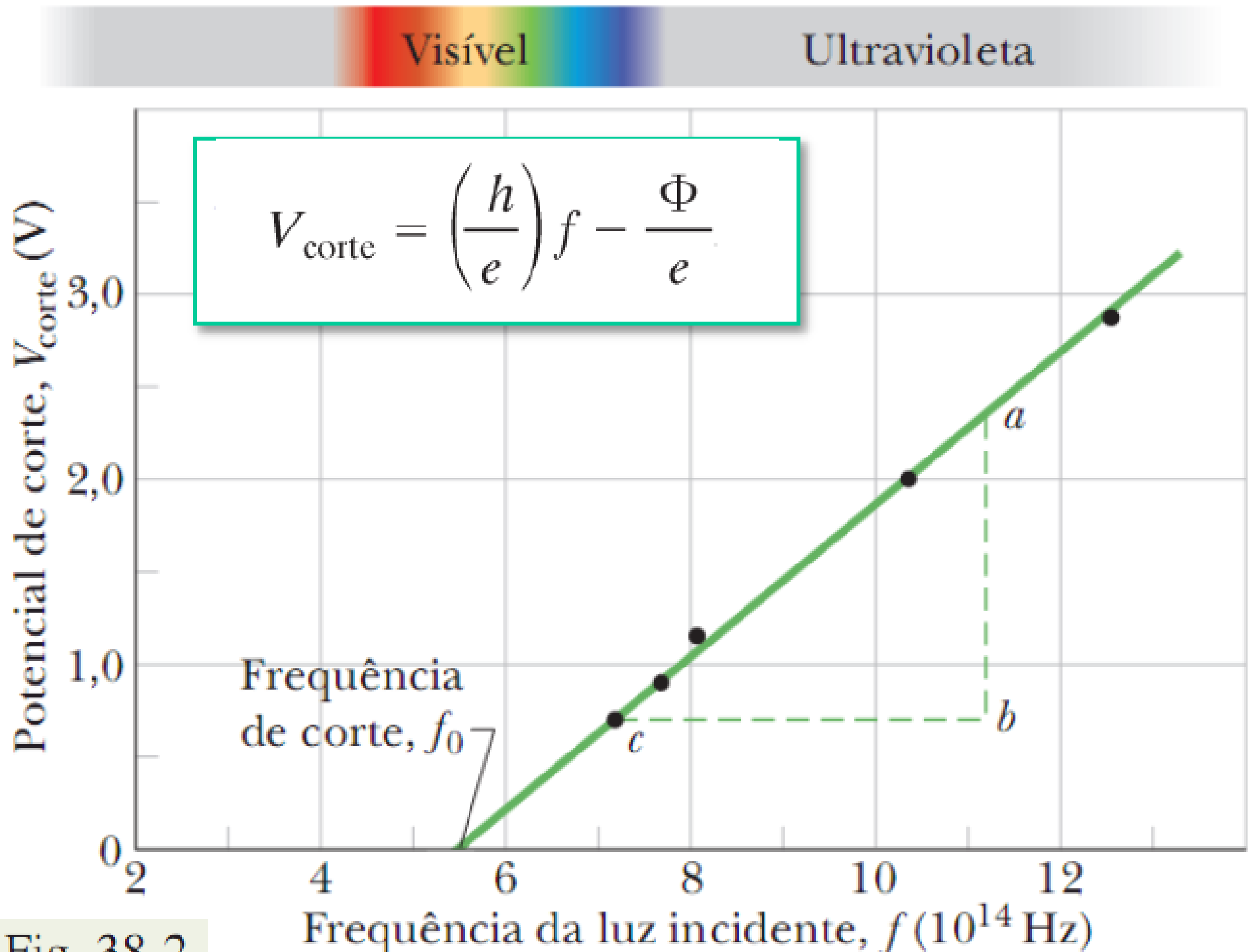


Fig. 38-2.

Exercício 3

$$k = h.f - \emptyset \quad \rightarrow \quad como\; k = 0 \quad \rightarrow \emptyset = h.f$$

$$\emptyset = h.f_0 = (6{,}63.10^{-34}\, j.s)(5{,}5.10^{14} Hz)$$
$$= 3{,}6.10^{-19} j = 2{,}3\; eV$$

Exercício 4

Uma estação de rádio transmite ondas com frequência 89,3 MHz com potencia total igual 43,0 kW.

a) Qual o módulo do momento linear de cada fóton?

b) Quantos fótons ela emite por segundo?

a)

$$E = hf$$

$$E = pc \quad \rightarrow \quad hf = pc \quad \rightarrow \quad p = \frac{hf}{c}$$

$$p = \frac{(6{,}626\,.\,10^{-34} j.s)(89{,}3.\,10^{6} hz)}{3{,}0.\,10^{8} m/s} = 1{,}97.\,10^{-34} kg.m/s$$

Exercício 4

b)

$$E = pc = \left(1{,}97.10^{-34} kg.\frac{m}{s}\right)\left(\frac{3.10^{8}\,m}{s}\right) = 5{,}92.10^{-26} J$$

A estação transmite 43,0.10^{3} joules a cada segundo. A taxa de emissão de fótons é, portanto,

$$\frac{43{,}0.10^{3} J/s}{5{,}92.10^{-26} J/fóton} = 7{,}26.10^{29} fótons/s$$

Exercício 5

Realizando uma experiência do efeito fotoelétrico com uma luz de determinada frequência, você verifica que é necessário uma diferença de potencial invertida de 1,25 V para anular a corrente. Determine:

a) A energia cinética máxima;

b) A velocidade máxima dos fotoelétrons emitidos.

a) $$K_{máx} = eV_0 = (1{,}6.\,10^{-19}C)(1{,}25\,V) = 2{,}0.\,10^{-19}J$$

b)

$$K_{máx} = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v_{máx} = \sqrt{\frac{2K_{máx}}{m}} = \sqrt{\frac{2(2.\,10^{-19}J)}{9{,}11.\,10^{-31}kg}} = 6{,}63.\,10^5 m/s$$

Exercício 6

Uma superfície de sódio é iluminada com radiação com um comprimento de onda de 300 nm. A função de trabalho para o sódio é de 2,64 eV. Calcule:

a) a energia cinética dos foto-eletrons emitidos

b) o comprimento de onda crítico (λc) para o sódio

a) A energia dos fotões incidentes é igual a $E = h\nu = hc/\lambda$

$$E = (6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{Js})\ (3{,}0 \cdot 108\ \text{m/s}) / 300 \cdot 10^{-9}\ \text{m}$$

$$= 6{,}626 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 6{,}626 \times 10^{-19}\ \text{J} / 1{,}60 \cdot 10^{-19}\ \text{J/eV} = 4{,}14\ \text{eV}$$

Usando $K_{max} = hf - \phi$ temos $K_{max} = 4{,}14 - 2{,}46 = 1{,}68\ \text{eV}$

Exercício 6

b) O comprimento de onda crítico pode ser calculado a partir de

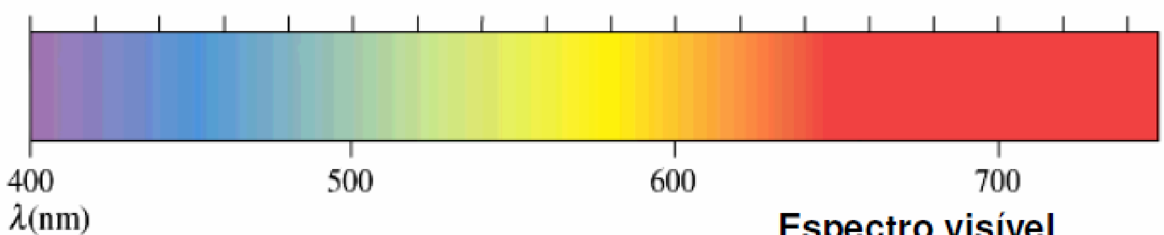
$$\lambda_c = \frac{hc}{\phi}$$

Como ϕ = 2,46 eV = (2,46eV) (1,60 . 10 $^{-19}$ J/eV) = 3,94 . 10 $^{-19}$ J

vem $\lambda_c = \dfrac{hc}{\phi}$ = (6,626.10^{-34} Js) (3,0.10^{8} m/s) / 3, 94.10^{-19} J

= 5,05 . 10 $^{-7}$ m = 505 nm

Este comprimento de onda corresponde a uma radiação na região verde do espectro visível:



Espectro visível

Exercício 7

Qual o valor do quantum de radiação para λ = 1m?

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} = \frac{6,63\times 10^{-34}\,J\cdot s\times 3\times 10^{8}\,ms^{-1}}{1}$$

$$\boxed{E = 1,989\times 10^{-25}\,J = 1,2\times 10^{-6}\,J}$$

Exercício 8

Um fotoelétron do cobre é retirado com energia cinética máxima de 4,2 eV. Qual a frequência do fóton que retirou esse elétron, sabendo-se que a função trabalho W do cobre é de 4,3 eV. 1 eV = $1{,}6.10^{-19}$J.

Solução:

Utilizando a equação fotoelétrica de Einstein, temos:

$$k = E - \emptyset \quad \rightarrow \quad k = h.f - \emptyset$$

$$E = K_{(\max)} + \phi = 4{,}2\,eV + 4{,}3\,eV = 8{,}5\,eV$$

$$E = hf = \left(\frac{6{,}63\times10^{-34}\,J\cdot s}{1{,}6\times10^{-19}\,J} eV \right) v = (4{,}14\times10^{-15}\,eV\cdot s)v$$

$$f = \frac{8{,}5eV}{4{,}14\times10^{-15}\,eV\cdot s} = \boxed{2{,}1\times10^{15}\,s^{-1} = 2{,}1\times10^{15}\,Hz}$$

Exercício 9

Para que a prata exiba o efeito fotoelétrico é necessário que ela tenha uma frequência de corte de $1{,}14.10^{15}$Hz. Determine:

a) A função trabalho (W), em J, para arrancar um elétron de uma placa de prata.

b) Quando uma radiação de frequência de 4.10^{15}Hz atinge a placa de prata, qual a energia cinética máxima dos elétrons emitidos? (massa do elétron = $9{,}1.10^{-31}$kg)

A frequência de corte:

$$E = hf_0 = \phi$$

$$\phi = 6{,}63\times10^{-34}\,J\cdot s\times1{,}14\times10^{15}\,s^{-1} = \boxed{7{,}6\times10^{-19}\,J} = \boxed{4{,}7\,eV}$$

Utilizando a equação fotoelétrica de Einstein, temos:

$$E = K_{(\max)} + W \Rightarrow K_{(\max)} = hf - \phi = 6{,}63\times10^{-34}\times4\times10^{15} - 7{,}6\times10^{-19} =$$

$$K_{(\max)} = 2{,}7\times10^{-18} - 7{,}6\times10^{-19} = 1{,}9\times10^{-18}\,J = \boxed{11{,}8\,eV}$$

Exercício 10

Elétrons em um tubo de raio X são acelerados por uma ddp de 10,0 kV. Sabendo que um elétron produz um fóton na colisão com o alvo, qual é o comprimento de onda mínimo dos raios X produzidos?

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{nin} = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{eV}$$

$$= \frac{(6,626.10^{-34}\ j.s)(3,0.10^{8}\, m/s)}{(1,602.10^{-19}\, C)(10,0.10^{3} V)} = 1,24.10^{-10}\, m = 0,124 nm$$

Exercício 11

Usando os fótons dos raios X do **exercício 10** para o espalhamento Compton, determine:

a) O ângulo para o qual o comprimento de onda do raio X espalhado é 1% maior do que o comprimento de onda do raio X incidente.

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda` = 1\%\ de\ 0{,}124nm = 0{,}00124nm = 1{,}24.10^{-12}m$$

$$\frac{h}{mc} = 2{,}426.10^{-12}m$$

$$\lambda - \lambda` = \Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\phi)$$

$$\cos\phi = 1 - \frac{\Delta\lambda}{h/mc} = 1 - \frac{1{,}24.10^{-12}m}{2{,}46.10^{-12}m} = 0{,}4889$$

$$\phi = 60{,}7^{0}$$

Exercício 11

b) Em que ângulo ele é 0,050% maior?

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda` = 0.050\%\ de\ 0{,}124nm = 6{,}2.10^{-14}m$$

$$\frac{h}{mc} = 2{,}426.10^{-12}m$$

$$\lambda - \lambda` = \Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\phi)$$

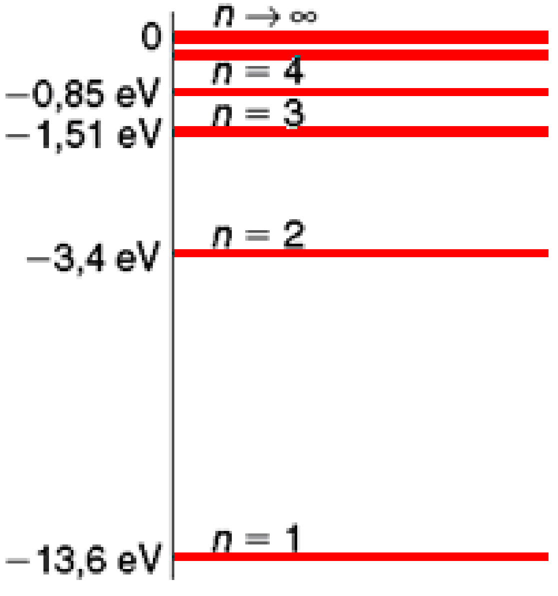
$$\cos\phi = 1 - \frac{\Delta\lambda}{h/mc} = 1 - \frac{6{,}2.10^{-14}m}{2{,}46.10^{-12}m} = 0{,}9744$$

$$\phi = 13{,}0^{0}$$

Exercício 12

Quando o átomo de hidrogênio faz uma transição do estado n=3 para o estado n = 2, quanta energia é emitida

$$E = E_3 - E_2 = -1,5 - (-3,4) = 1,9 \text{ eV}$$



$$f = \frac{E_3 - E_2}{h} = \frac{1,9.1,6.10^{-19}}{6,6.10^{-34}} = 4,61.10^{14}\,Hz$$

Exercício 13

Qual o comprimento de onda de uma bola de pingue-pongue de 2,0g ao ser rebatida com uma velocidade de 5 m/s.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63.10^{-34} J.s}{(2,0.10^{-3} kg)(5m/s)} = 6,6.10^{-32} m$$

Exercício 14

Qual o comprimento de onda de um e- com velocidade de 5,97 x 10^6 m/s?

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{(6{,}63x10^{-34}\,J.s)}{(9{,}11x10^{-28}\,g)x(5{,}97x10^{6}\,m/s)}\left(\frac{1kgm^2/s^2}{1J}\right)\left(\frac{10^3\,g}{1kg}\right)$$

$$= 1{,}22x10^{-10}\,m = 0{,}122nm$$

Exercício 15

Qual o comprimento de onda de um elétron com uma energia cinética de 10 eV.

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$K = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{2mK}$$

$$p = \sqrt{(2)(9{,}11.10^{-31}kg)(10eV)(1{,}60.10^{-19}J/eV)}$$

$$p = 1{,}71.10^{-24}kg.m/s$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6{,}63.10^{-34}J.s}{1{,}71.10^{-24}kg.m/s} = 3{,}88.10^{-10}m = 0{,}39nm$$

Exercício 16

Calcule a velocidade e a energia cinética de um nêutron ($m=1{,}675.10^{-27}$ kg) com comprimento de onda de De Broglie $\lambda=0{,}200$ nm.

$$\lambda = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{\lambda m} = \frac{6{,}626.10^{-34}\,J.s}{(0{,}200.10^{-9}\,m)(1{,}675.10^{-27}\,kg)} = 1{,}98.10^{3}\,m/s$$

A energia cinética é:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1{,}675.10^{-27}\,Kg)(1{,}98.10^{3}\,m/s)^2$$

$$= 3{,}28.10^{-21}\,J = 0{,}0204\,eV$$

Exercício 17

Um cálculo rápido e relativamente simples ilustra as implicações do Princípio da Incerteza, tomando-se um e- movendo-se em um átomo de hidrogênio.

Vamos supor que a velocidade do e- seja de 5 x 10^6 m/s e que podemos conhecer o valor exato dessa velocidade com uma incerteza de 1% e que essa é a única fonte de incerteza no momentum. Utilizando a equação de Heisenberg, Simplificadamente, na forma de uma igualdade, temos:

$$\Delta x \geq \frac{h}{4\pi.m.\Delta v} = \frac{(6{,}63x10^{-34}\,J.s)}{4\pi(9{,}11x10^{-31}\,kg)(5x10^{4}\,m/s)} = 1x10^{-9}\,m$$

Uma vez que o diâmetro de um átomo de hidrogênio é de 2x10^{-10} m, a incerteza é muito maior do que o tamanho do átomo.