16 Een foton met een golflengte van 1,1950 nm botst frontaal op een stilstaand elektron. Hierdoor krijgt het elektron snelheid. Het foton dat terugkaatst, heeft een golflengte van 1,1999 nm.

a Leg uit waardoor het teruggekaatste foton een grotere golflengte heeft.

b Laat zien dat het bewegende elektron een snelheid heeft van $1{,}22 \cdot 10^6$ m s^{-1}.

Naast de wet van behoud van energie gelden er nog andere behoudswetten voor de botsing tussen een foton en een elektron. Een van die behoudswetten voorspelt dat:

$$\frac{1}{\lambda_{f,na}} + \frac{1}{\lambda_{f,voor}} = \frac{1}{\lambda_e}$$

- $\lambda_{f,voor}$ is de golflengte van het foton voor de botsing.
- $\lambda_{f,na}$ is de golflengte van het foton na de botsing.
- λ_e is de golflengte van het elektron na de botsing.

c Bereken de golflengte van het elektron en laat zien dat de relatie geldt.

Opgave 16

a Bij de botsing krijgt het elektron snelheid en dus kinetische energie. Vanwege de wet van behoud van energie is de energie van het teruggekaatste foton kleiner dan de energie van het foton dat op het elektron botst.

Voor de energie van een foton geldt $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$. Omdat h en c constanten zijn, is de golflengte groter als de fotonenergie kleiner is.

b De snelheid van het elektron bereken je met de formule voor de kinetische energie.
De kinetische energie bereken je met de wet van behoud van energie.
De fotonenergie bereken je met de formule voor de fotonenergie.

$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

$h = 6{,}6260 \cdot 10^{-34}$ (zie BINAS tabel 7)

$c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ m s^{-1} (zie BINAS tabel 7)

$\lambda_{voor} = 1{,}1950$ nm $= 1{,}1950 \cdot 10^{-9}$ m

$$E_{f,voor} = \frac{6{,}6260 \cdot 10^{-34} \times 2{,}9979 \cdot 10^8}{1{,}1950 \cdot 10^{-9}} = 1{,}662266 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$\lambda_{na} = 1{,}1999$ nm $= 1{,}1999 \cdot 10^{-9}$ m

$$E_{f,na} = \frac{6{,}6260 \cdot 10^{-34} \times 2{,}9979 \cdot 10^8}{1{,}1999 \cdot 10^{-9}} = 1{,}655478 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$E_{f,voor} = E_{f,na} + E_k$

$1{,}662266 \cdot 10^{-16}$ J $= 1{,}655478 \cdot 10^{-16}$ J $+ E_k$

$E_k = 6{,}78815 \cdot 10^{-19}$ J

$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$m = m_e = 9{,}10938 \cdot 10^{-31}$ (zie BINAS tabel 7)

$6{,}78815 \cdot 10^{-19} = \frac{1}{2} \times 9{,}10938 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$

$v = 1{,}220 \cdot 10^6$ m s^{-1}

Afgerond: $v = 1{,}22 \cdot 10^6$ m s^{-1}.

c De golflengte van het elektron bereken je met de formule voor de comptongolflengte.

$\lambda_c = \frac{h}{m \cdot v}$

$h = 6{,}6260 \cdot 10^{-34}$ (zie BINAS tabel 7A)

$m = m_e = 9{,}10938 \cdot 10^{-31}$ kg (zie BINAS tabel 7B)

$v = 1{,}22 \cdot 10^6$ m s^{-1}

Invullen levert: $\lambda_c = \frac{6{,}6260 \cdot 10^{-34}}{9{,}10938 \cdot 10^{-31} \times 1{,}22 \cdot 10^6} = 5{,}9621 \cdot 10^{-10}$ m

$$\frac{1}{\lambda_{f,na}} + \frac{1}{\lambda_{f,voor}} = \frac{1}{\lambda_e}$$

$\lambda_{voor} = 1{,}1950$ nm $= 1{,}1950 \cdot 10^{-9}$ m

$\lambda_{na} = 1{,}1999$ nm $= 1{,}1999 \cdot 10^{-9}$ m

$$\frac{1}{1{,}1950 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{1{,}1999 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{5{,}9621 \cdot 10^{-10}}$$

$1{,}670 \cdot 10^9 = 1{,}677 \cdot 10^9$

Verschil is kleiner dan 1%. Dus het klopt.