

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

Qled-tv

6 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

De quantum-dot zal altijd een foton uitzenden dat maximaal de energie heeft van het invallende foton. Een violet foton heeft meer energie dan een blauw, groen of rood foton.

- inzicht dat het invallende foton minimaal de energie moet hebben van het uitgezonden foton 1
- inzicht dat een violet foton meer energie heeft dan een foton van de genoemde kleuren 1

7 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

De fotonenergie moet groter zijn dan de bandgap. (Dus halfgeleiders met een bandgap kleiner dan 2,75 eV zijn geschikt / halfgeleiders met een bandgap groter dan 3,10 eV zijn niet geschikt.)

halfgeleider	E_{gap} (eV)		
Si	1,12	geschikt	
CdSe	1,74	geschikt	
Si ₃ N ₄	5		ongeschikt
GaAs	1,43	geschikt	
GaP	2,26	geschikt	

- inzicht dat de bandgap niet groter mag zijn dan de fotonenergie 1
- consequent invullen van de tabel 1

Opmerking

Als de kandidaat naast het argument dat de fotonenergie groter moet zijn dan de bandgap ook noemt dat de uitgezonden fotonen zichtbaar licht moeten zijn en dus naast Si₃N₄ ook Si en GaAs als ongeschikt noteert, dit niet aanrekenen.

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

8 maximumscore 5

uitkomst: $\lambda_B = 3 \cdot 10^{-9}$ m

voorbeeld van een antwoord:

– Er geldt: $\lambda_B = \frac{h}{p}$.

Bovendien geldt: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Met $p = mv$ levert dit: $E_k = \frac{p^2}{2m}$

Omschrijven levert: $p = \sqrt{2mE_k}$.

Met $m = m_{\text{eff}}$ levert dit uiteindelijk $\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_{\text{eff}}E_k}}$.

– Invullen levert:

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_{\text{eff}}E_k}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 0,13 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,1,6 \cdot 10^{-19}}} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

- gebruik van $\lambda_B = \frac{h}{p}$ en $p = mv$ 1
- gebruik van $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 1
- completeren van de afleiding 1
- gebruik van $m_{\text{eff}} = 0,13 \cdot m_e$ en opzoeken m_e 1
- completeren van de berekening 1

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

9 maximumscore 4

uitkomst: $C = 6,0 \cdot 10^{-37} \text{ (Jm}^2\text{)}$

voorbeeld van een antwoord:

Voor de nulpuntsenergie van een deeltje in een eendimensionale energieput

met oneindig hoge wanden geldt: $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$ met $n = 1$.

Voor de nulpuntsenergie van de twee (onafhankelijke) deeltjes in de quantum-dot geldt dus

$$E_{\text{nul}} = \frac{h^2}{8m_{\text{eff, elektron}}L^2} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, gat}}L^2} \text{ met } L = R.$$

Voor de fotonenergie geldt $E_f = E_{\text{gap}} + E_{\text{nul}}$ en dus

$$E_f = E_{\text{gap}} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, elektron}}R^2} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, gat}}R^2} = E_{\text{gap}} + \left(\frac{h^2}{8m_{\text{eff, elektron}}} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, gat}}} \right) \frac{1}{R^2}.$$

Dus ($E_f = E_{\text{gap}} + \frac{C}{R^2}$, met) $C = \frac{h^2}{8m_{\text{eff, elektron}}} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, gat}}}.$

Invullen en uitrekenen levert:

$$C = \frac{h^2}{8m_e} \left(\frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,45} \right) = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,45} \right) = 6,0 \cdot 10^{-37} \text{ (Jm}^2\text{)}.$$

- inzicht dat $E_f = E_{\text{gap}} + E_{\text{nul}}$ 1
- gebruik van $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$ met $n = 1$ en $L = R$ 1
- (completeren van de afleiding met het) inzicht dat $C = \frac{h^2}{8m_{\text{eff, elektron}}} + \frac{h^2}{8m_{\text{eff, gat}}}$ 1
- completeren van de berekening 1

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

10 maximumscore 4
uitkomst: $R = 2,4 \text{ nm}$

voorbeeld van een antwoord:

Voor de fotonenergie geldt: $E_f = \frac{hc}{\lambda}$. Invullen levert:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{534 \cdot 10^{-9}} = 3,72 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Omrekenen naar elektronvolt geeft: $E_f = 2,33 \text{ eV}$

Aflezen in figuur 6 geeft:

$$R^{-2} = 0,17 \text{ nm}^{-2} \longrightarrow R^2 = 5,9 \text{ nm}^2 \longrightarrow R = 2,4 \text{ nm.}$$

- gebruik van $E_f = \frac{hc}{\lambda}$ 1
- omrekenen van J naar eV 1
- consequent aflezen van R^{-2} in figuur 6 (met een marge van $0,02 \text{ nm}^{-2}$) 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

Opmerkingen

- *Als de kandidaat E_{gap} bepaalt door extrapoleren van de grafiek naar $R^{-2} = 0$ en vervolgens bij de berekening gebruik maakt van een foutief antwoord uit vraag 9, dit niet aanrekenen.*
- *Als de kandidaat de golflengte omzet in een energie met behulp van het informatieboek, kunnen scorepunt 1 (en eventueel 2) toegekend worden.*