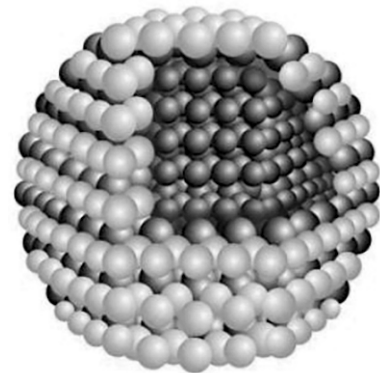


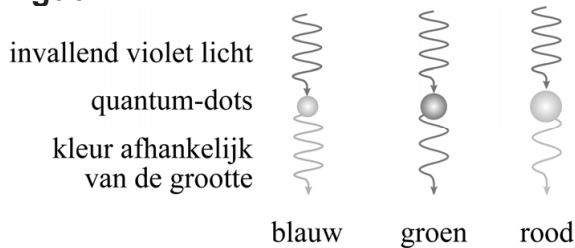
In het scherm van een Qled-tv valt violet licht afkomstig uit leds op een laagje met quantum-dots. Quantum-dots zijn kleine bolletjes met afmetingen variërend van 1 tot 20 nm, gemaakt van een speciaal materiaal. In figuur 1 staat een artist's impression van één quantum-dot (opgebouwd uit atomen). De quantum-dots absorberen het violette licht waarmee ze bestraald worden en zenden daarna zelf licht uit met een andere kleur dan violet.

**figuur 1**



Voor de werking van een Qled-tv zijn quantumdots nodig die blauw, groen of rood licht uitzenden. De kleur van het uitgezonden licht hangt af van de grootte van de quantum-dot. Zie figuur 2.

**figuur 2**



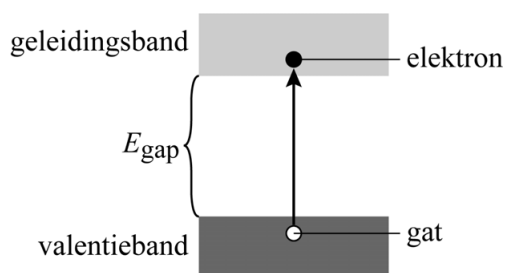
De quantum-dots in een Qled-tv worden met violet licht bestraald.

- 2p **6** Leg uit waarom gekozen is voor violet licht in plaats van een andere kleur uit het zichtbare spectrum.

**Halfgeleider**

Een quantum-dot is gemaakt van een zogenaamd halfgeleidermateriaal. In een halfgeleider kan een elektron slechts in banden van zeer dicht bij elkaar gelegen energieniveaus bestaan. Voor de werking van een quantum-dot zijn slechts twee van deze energiebanden van belang: de valentieband en de geleidingsband. Daartussen zit bij een halfgeleider een energierschil, de zogeheten bandgap  $E_{gap}$ . Zie figuur 3.

**figuur 3**



Als een foton geabsorbeerd wordt maakt het één elektron vrij uit het atoomrooster. De energie van dat foton moet daarvoor groot genoeg zijn. Het elektron gaat dan van een energieniveau in de valentieband naar een energieniveau in de geleidingsband. Dit betekent dat het loskomt uit het atoomrooster van de halfgeleider. Het achterblijvende gat in de valentieband kan worden opgevat als een positief deeltje dat door het rooster beweegt. Het aangeslagen elektron en het achterblijvende gat worden samen een elektron-gatpaar genoemd.

In figuur 4 is van enkele halfgeleiders de bandgap gegeven.

**figuur 4**

halfgeleider	$E_{\text{gap}}$ (eV)
Si	1,12
CdSe	1,74
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	5,00
GaAs	1,43
GaP	2,26

Neem aan dat de fotonenergie van het gebruikte violette licht tussen 2,75 eV en 3,10 eV ligt.

- 2p 7 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor elke halfgeleider aan of deze op grond van de bandgap geschikt is voor gebruik in een Qled-tv. Licht je antwoord toe.

In goede benadering kunnen elektron en gat van een elektron-gatpaar worden opgevat als vrije deeltjes. Als gevolg van de invloed van het atoomrooster op hun beweging zijn de massa's van deze deeltjes echter niet gelijk aan de elektronmassa  $m_e$ . Ze krijgen beide een zogenaamde effectieve massa  $m_{\text{eff}}$ . Voor de halfgeleider die wordt gebruikt in een Qled-tv geldt:  $m_{\text{eff, elektron}} = 0,13 m_e$  en  $m_{\text{eff, gat}} = 0,45 m_e$ .

Voor de de Broglie-golflengte  $\lambda_B$  van het elektron of het gat geldt:

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_{\text{eff}}E_k}} \quad (1)$$

Hierin is:

- $h$  de constante van Planck
- $m_{\text{eff}}$  de effectieve massa
- $E_k$  de kinetische energie

Neem voor de kinetische energie van het elektron  $1 \text{ eV}$ .

5p 8

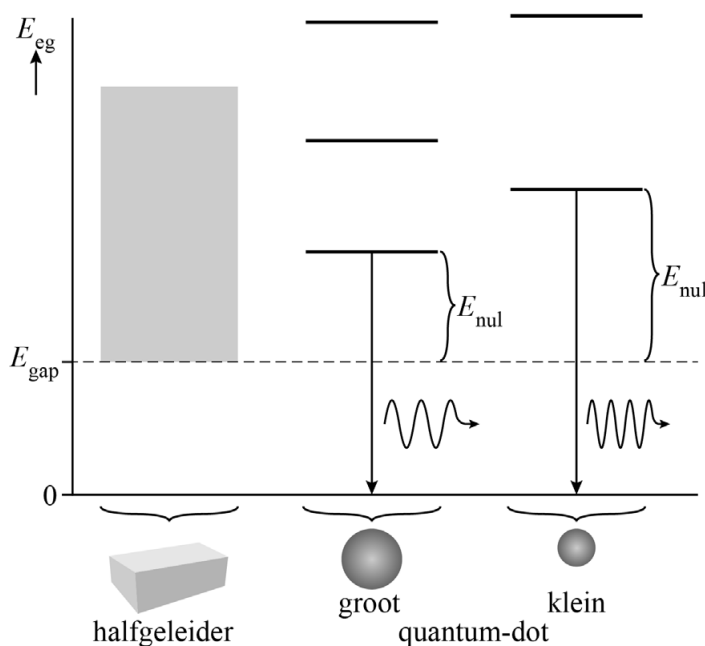
Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.
- Bereken  $\lambda_B$  van het elektron.

### Quantum-dot

In een oneindig grote halfgeleider kan de energie van het elektron-gatpaar  $E_{eg}$  elke waarde hebben boven de bandgap. In een quantum-dot wordt het elektron-gatpaar in een kleine ruimte opgesloten. Daardoor worden de energieniveaus van het elektron-gatpaar gequantiseerd. Hoe kleiner de ruimte, hoe groter de afstand tussen de afzonderlijke energieniveaus. Zie figuur 5.

figuur 5



In een vereenvoudigd model kan de quantum-dot beschouwd worden als een energieput met oneindig hoge wanden. Voor de nulpuntsenergie van een deeltje in deze energieput kan worden uitgegaan van een eendimensionale put, waarvan de lengte  $L$  gelijk is aan de straal  $R$  van de quantum-dot. De energie  $E_{nul}$  in figuur 5 is de som van de nulpuntsenergieën van elektron en gat in deze energieput. Dus

$$E_{nul} = E_{nul,elektron} + E_{nul,gat}.$$

Na zijn ontstaan komt het elektron-gatpaar door wisselwerking met het atoomrooster uiteindelijk in de grondtoestand van de energieput terecht. Als het elektron vervolgens terugvalt in het gat zendt de quantum-dot een foton uit. In figuur 5 is dit schematisch weergegeven.

Voor de energie van het uitgezonden foton  $E_f$  geldt:

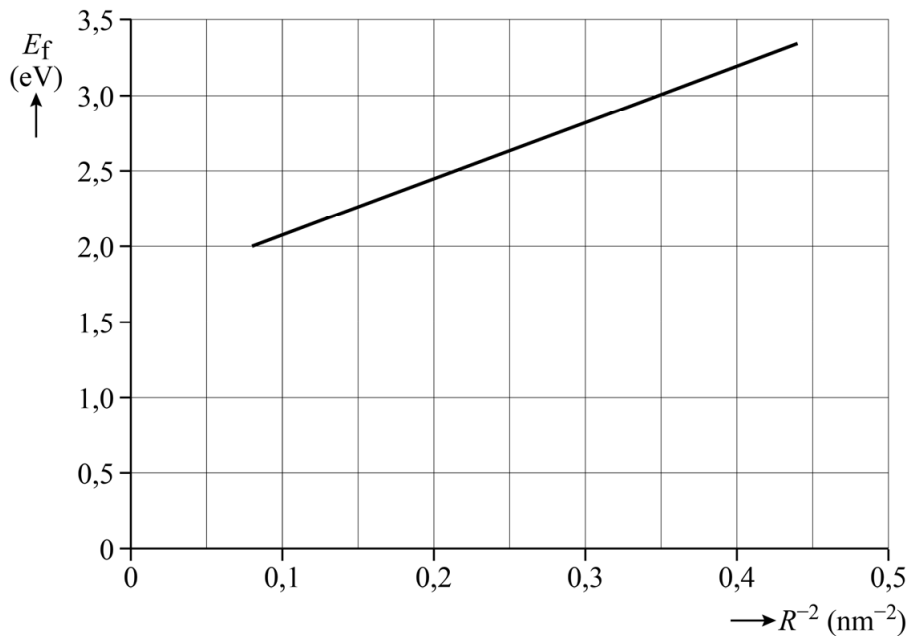
$$E_f = E_{\text{gap}} + \frac{C}{R^2} \quad (2)$$

Hierin is  $C$  een constante met de eenheid  $\text{J m}^2$ , die afhangt van  $m_{\text{eff, elektron}}$ ,  $m_{\text{eff, gat}}$  en  $h$ .

- 4p **9** Bereken de waarde van de constante  $C$ . Leid hiertoe eerst formule (2) af met behulp van een formule uit het informatieboek en figuur 5.

Een fabrikant van Qled-tv's wil quantum-dots selecteren die na bestraling met het violette licht groen licht uitzenden met een golflengte van 534 nm. Door een coördinatentransformatie toe te passen, is van formule (2) een lineaire grafiek gemaakt. Zie figuur 6.

**figuur 6**



- 4p **10** Bepaal met behulp van figuur 6 de straal van de quantum-dots die de fabrikant zoekt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.