

1 Een elektronenmicroscop

Als je een lichtstraal door een zeer smalle opening stuurt (breedte $d \approx \lambda$), weet je niet waar het licht aan de andere kant terechtkomt.

a Hoe heet dit verschijnsel?

► In 1931 realiseerde Ruska de eerste doorlaat-elektronenmicroscop, gebaseerd op het idee van De Broglie dat elektronen ook golfkarakter kunnen vertonen. Voor λ_b van elektronen geldt:

$$\lambda_b = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$
 met U de versnelspanning.

b¹ Toon dat aan.

b² Laat zien dat je ook kunt schrijven:

$$\lambda_b = \frac{1,23}{\sqrt{U}}$$
 met λ_b in nm.

b³ Bereken λ_b als $U = 100$ kV.

► Een elektron door een nauwe opening (het diafragma) schieten, geeft hetzelfde probleem als bij vraag **a**: je weet niet waar de elektronen achter de opening terechtkomen. Voor een bruikbare elektronenmicroscop geldt deze voorwaarde:

$$\lambda_b \ll \text{diameter van het diafragma.}$$

c¹ Kies je U groot of klein?

► Je wilt λ_b vijf keer zo klein maken.

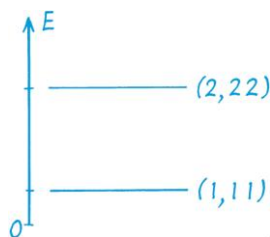
c² Met welke factor verander je U ?

2 Een model voor het H-atoom

Stel we benaderen het H-atoom door een nanokubus met een ribbe L die één elektron bevat. Voor de energieniveaus in een nanokubus geldt net zo'n formule als voor het nanobuisje, maar dan in drie richtingen:

$$E = (n_1^2 + n_2^2 + n_3^2) \cdot \frac{h^2}{8mL^2}$$

Dit zijn twee niveaus van het energieschema:



a Hoeveel niveaus zitten er tussen 1,1,1 en 2,2,2?

b Bereken het energieverschil tussen 1,1,1 en 2,2,2 als $L = 0,4$ nm.

c¹ Bereken welke golflengte wordt uitgezonden bij een overgang tussen deze niveaus.

c² Wat voor soort licht is dat?

d Bereken de onbepaaldheid in de energie van het foton als je weet dat het atoom $2,0 \cdot 10^{-8}$ s op niveau 222 bleef.

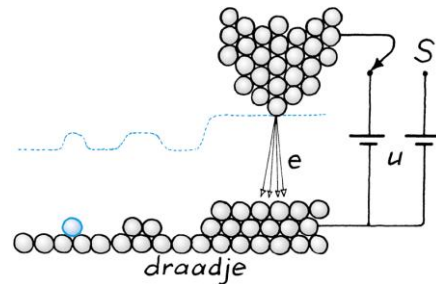
e Noem een groot verschil tussen het energieschema van Bohr en dat van het doosjesmodel en leg daarmee uit dat het doosjesmodel slecht van toepassing is op het H-atoom.

3 Een STM

Een koperdraadje met een lengte van 20 nm wordt gescand.

a Bereken met het doosjesmodel de energie van een elektron in het draadje in de grondtoestand ($n = 1$).

► De tip van de STM tast het oppervlak van het draadje af.



b Wat gebeurt er met λ_b als het elektron versneld naar het draadje tunnelt?

► De schakelaar S wordt omgezet.

c Verandert hierdoor de werking van de STM?

d Hoe blijkt uit de figuur dat deze STM werkt met een constante stroomsterkte?

De antwoorden staan op de volgende pagina's.

De antwoorden van de toets

1 Een elektronenmicroscop

a Buiging.

$$b^1 \quad E = e \cdot U = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{mv^2}{2m} = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p^2 = 2meU \quad \lambda_b = h/p$$

$$\text{Als je alles invult, krijg je: } \lambda_b = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

$$b^2 \quad \frac{h}{\sqrt{2me}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}} = 1,23 \cdot 10^{-9} \Rightarrow \lambda_b = \frac{1,23}{\sqrt{U}} \text{ (in nm)}$$

b³ Na invullen van $U = 1,00 \cdot 10^5$ V vind je : $\lambda_b = 3,88 \cdot 10^{-12}$ m

c¹ λ_b moet klein worden, dus U groot.

c² Dan moet U 25 keer zo groot worden.

2 Een model voor het H-atoom

a Je hebt dan de niveaus: 2,1,1 / 1,2,1 / 1,1,2 / 2,2,1 / 2,1,2 / en 1,2,2 Dus 6 in totaal.

$$b \quad \Delta E = (3 \cdot 2^2 - 3 \cdot 1^2) \cdot \frac{h^2}{8mL^2} = 9 \cdot \frac{(6,626 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (0,4 \cdot 10^{-9})^2} = 33,9 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 21,2 \text{ eV}$$

$$c^1 \quad \lambda = h \cdot c / E \Rightarrow \lambda = 59 \text{ nm}$$

c² UV

$$d \quad \Delta E \cdot \Delta t > h/4\pi \Rightarrow \Delta E \approx 3 \cdot 10^{-27} \text{ J}$$

e Bij het schema van Bohr komen de energieniveaus steeds dichterbij elkaar te liggen als n toeneemt.
Bij het doosjesmodel worden de afstanden tussen de niveaus steeds groter.

3 Een STM

$$a \quad E = 1^2 \frac{h^2}{8mL^2} \quad \text{Invullen leidt tot: } E_1 = 1,5 \cdot 10^{-22} \text{ J}$$

b De energie neemt toe, dus de impuls neemt toe. $\lambda_b = h/p \Rightarrow \lambda_b$ neemt af.

c Nee, de elektronen gaan nu naar de tip toe, maar dat maakt voor het beeld niet uit.

d Uit het plaatje blijkt dat het hoogteverschil constant gehouden wordt door een computer.
De stroomsterkte blijft dus constant.