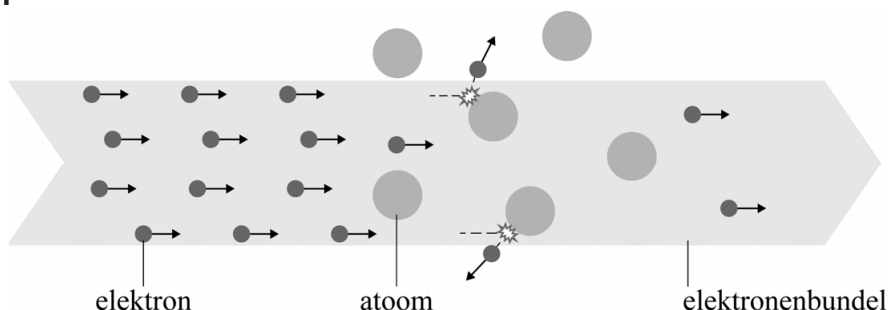


Het botsende-deeltjesmodel is een veelgebruikt model om verschijnselen in materie te verklaren. In dit model worden atomen en elektronen beschouwd als kleine, harde knikkertjes die tegen elkaar botsen. Het botsende-deeltjesmodel is een klassiek model.

In een experiment wordt een bundel elektronen door een gas geschoten. Dit proces beschrijven we met een model waarin de gasatomen stilstaan en de elektronen bewegen. De intensiteit van de bundel is gedefinieerd als de grootte van de elektronenstroom in de richting van de bundel per oppervlakte-eenheid. De bewegende elektronen kunnen botsen met de gasatomen, waardoor de intensiteit van de bundel kan veranderen. Zie figuur 1 voor een schematische tekening.

figuur 1



- 2p 21 Leg uit met behulp van het botsende-deeltjesmodel dat de intensiteit van de bundel afneemt naarmate er een grotere afstand door het gas is afgelegd.

De transmissie T is de verhouding tussen de intensiteit van de bundel nadat hij een afstand x door het gas heeft afgelegd en de intensiteit van de bundel bij de bron. Volgens het botsende-deeltjesmodel geldt voor T :

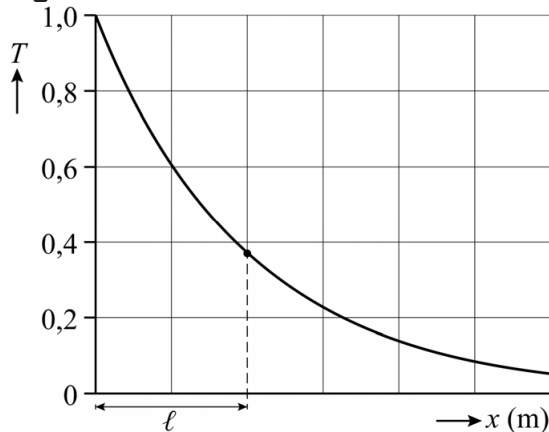
$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\frac{x}{\ell}} \quad (1)$$

Hierin is:

- x de afstand die door de bundel in het gas is afgelegd in m
- ℓ de gemiddelde vrije weglengte, dat wil zeggen de gemiddelde afstand die een elektron aflegt voordat het botst, in m
- I de intensiteit van de bundel na een afstand x in $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- I_0 de intensiteit van de bundel bij de bron in $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$

In figuur 2 is T als functie van x weergegeven. In de figuur staat ook ℓ aangegeven.

figuur 2



De vorm van het (T, x) -diagram is vergelijkbaar met die van een doorlaatkromme bij ioniserende straling.

Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p 22 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de halveringsdikte $d_{\frac{1}{2}}$ aan.
- Toon aan, met behulp van een berekening, dat ℓ in figuur 2 correct is weergegeven.

Quantumrevolutie: het Ramsauer-Townsend-effect

Rond 1920 deden de wetenschappers Carl Ramsauer en John Townsend (zie figuur 3), los van elkaar, een verrassende ontdekking. Bij experimenten met xenongas bleek de transmissie T van de elektronen sterk afhankelijk te zijn van de energie van de elektronen E_{elek} .

figuur 3



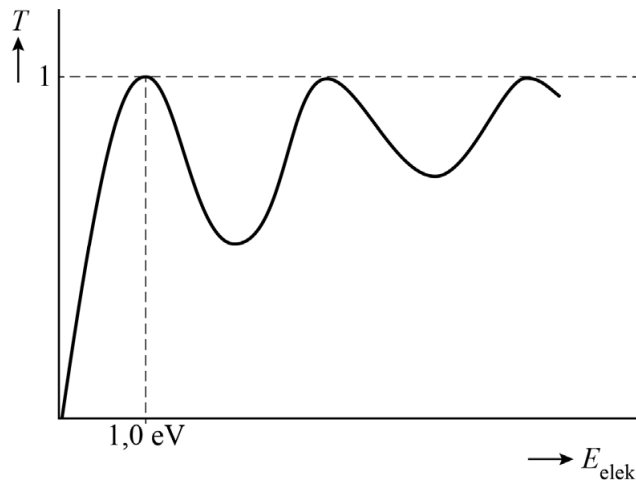
Carl Ramsauer



John Townsend

Figuur 4 is een (T, E_{elek}) -grafiek van metingen aan xenongas. Bij een elektronenenergie E_{elek} van 1,0 eV gebeurt er iets verrassends: de elektronen lijken plotseling geen hinder meer te ondervinden van de xenonatomen. De transmissie wordt dan gelijk aan 1, ongeacht de grootte van de afgelegde weg.

figuur 4

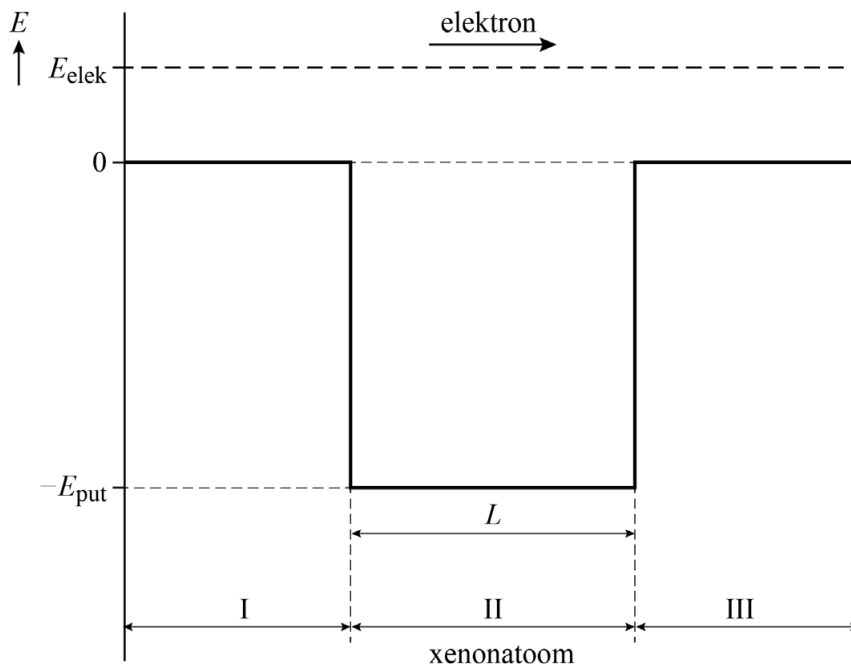


Om dit effect te verklaren beschreven Ramsauer en Townsend het elektron niet als een deeltje, maar als een golf met bijbehorende de Broglie-golflengte.

- 3p **23** Bereken de de Broglie-golflengte van een vrij elektron met een energie van 1,0 eV.

Ramsauer en Townsend benaderden het xenonatom als een eendimensionale energieput met een diepte E_{put} en een lengte L . In figuur 5 is schematisch de situatie getekend van een elektron dat een xenonatom passeert. Het elektron beweegt van gebied I (voor het xenonatom) via gebied II (het xenonatom) naar gebied III (na het xenonatom).

figuur 5



Bij bepaalde waarden van E_{elek} blijkt de golf van het elektron te resoneren in gebied II. Deze resonantie leidt ertoe dat het elektron ongehinderd zijn weg kan vervolgen naar gebied III.

Resonantie in gebied II treedt op als aan de volgende voorwaarde wordt voldaan:

$$L = n \left(\frac{\lambda_{\text{II}}}{2} \right) \quad (2)$$

Hierin is:

- L de diameter van het xenonatom
- n een positief geheel getal (1, 2, 3, ...)
- λ_{II} de de Broglie-golflengte van het elektron in gebied II

Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

Voor de kinetische energie van het elektron in gebied II geldt:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{elek}} + E_{\text{put}} \quad (3)$$

In figuur 4 zijn meerdere pieken te zien waarbij $T = 1$. Er zijn dus verschillende waarden van E_{elek} waarbij resonantie optreedt. Dit is te verklaren met behulp van de formules (2) en (3) en ten minste één formule uit het informatieboek.

4p **24** Geef deze verklaring.

De waarden van de energie E_{kin} in gebied II, waarbij resonantie optreedt, komen overeen met de energieniveaus van een deeltje in een eendimensionale energieput met oneindig hoge wanden. Neem aan dat de eerste piek in figuur 4 hoort bij $n = 1$ in de formule van deze energieniveaus.

De diameter van het xenonatoom is 0,22 nm.

4p **25** Bereken E_{put} in eV. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.