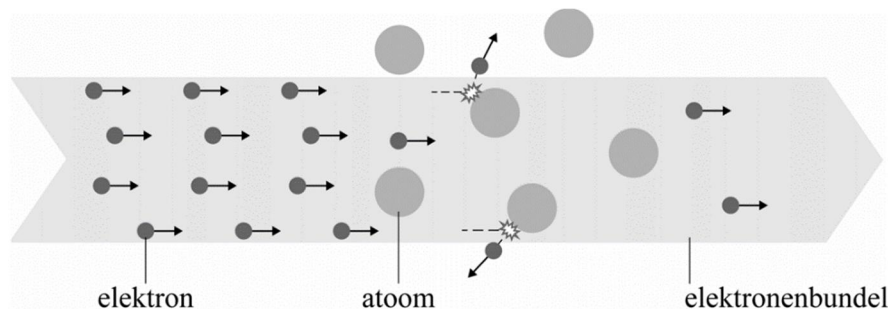


Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Opgave 1

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.



a) **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:

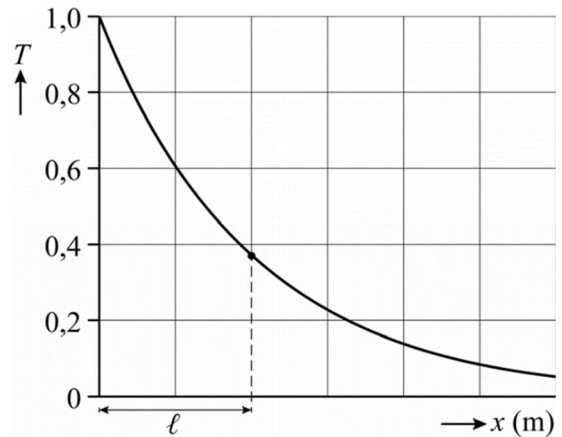
- x de afstand die door de bundel in het gas is afgelegd in m;
- ℓ de gemiddelde vrije weglengte, dat wil zeggen de gemiddelde afstand die een elektron aflegt voordat het botst, in m;
- I de intensiteit van de bundel na een afstand x in $1/(m^2 s)$;
- I_0 de intensiteit van de bundel bij de bron in $1/(m^2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

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

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

b) Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de halveringsdikte $d_{1/2}$ aan.
- Toon aan, met behulp van een berekening, dat ℓ in nebenstaand diagram 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} .



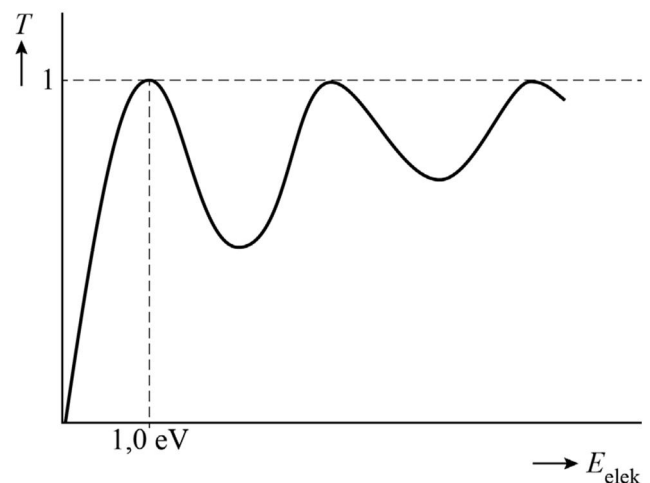
Carl Ramsauer

John Townsend

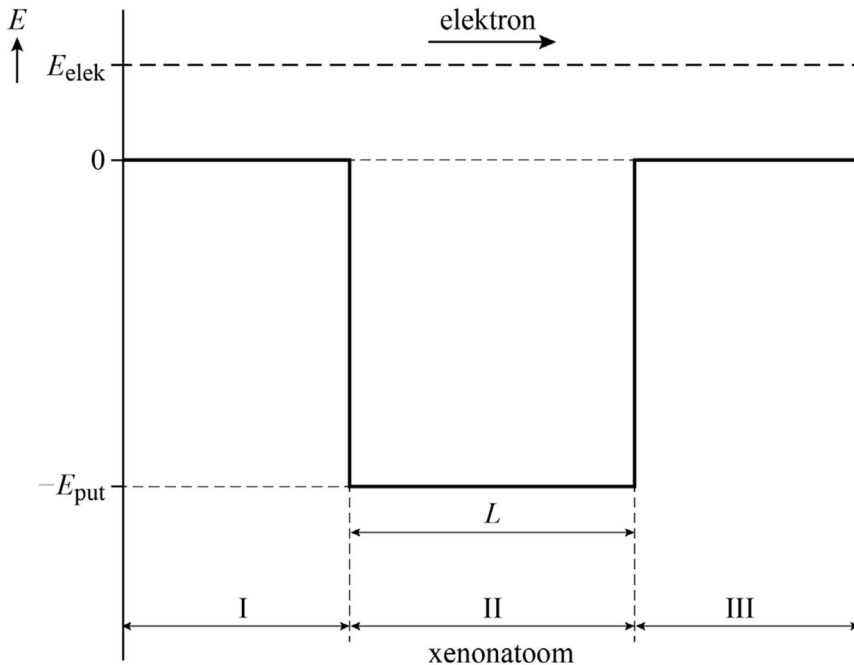
In nebenstaande afbeelding staat een (T, E_{elek}) -diagram van metingen aan xenongas. Bij een elektronenenergie E_{elek} van 1,0 eV gebeurt er iets verrassends: de elektronen lijken plotseling geen hinder meer te ondervinden van de xenonatomen. De transmissie wordt dan gelijk aan 1, ongeacht de grootte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

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

c) **Bereken** de de Broglie-golflengte van een vrij elektron met een energie van 1,0 eV.



Ramsauer en Townsend benaderden het xenonatom als een eindimensionale energieput met een diepte E_{put} en een lengte L . In onderstaande afbeelding 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).



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:

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

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

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

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

In bovenstaand (T, E_{elek}) -diagram 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.

d) 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 bovenstaand (T, E_{elek}) -diagram hoort bij $n = 1$ in de formule van deze energieniveaus.

De diameter van het xenonatoom is 0,22 nm .

e) **Bereken** E_{put} in eV. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Opgave 2

Met een inktwisser kun je koningsblauwe vulpeninkt onzichtbaar maken. Dit type inktwisser is al in 1930 door de firma Pelikan uitgevonden. De inktwisser verandert via een chemische reactie de geometrie van het kleurstofmolecuul van de koningsblauwe inkt.

Het kleurstofmolecuul in de inkt absorbeert geelgroen licht met een golflengte van 550 nm. De kleurstofmoleculen in de inkt bevatten een vrij elektron dat je kunt beschouwen als een deeltje in een eendimensionaal doosje. De overgang van de grondtoestand van dit elektron naar de eerste aangeslagen toestand komt overeen met de energie van het geabsorbeerde foton.

a) **Bereken** de grootte van het kleurstofmolecuul.

De inktwisser bevat sulfiet dat een reactie aangaat met het kleurstofmolecuul. Deze reactie zorgt voor een vormverandering van het kleurstofmolecuul zodat de lengte van het doosje precies twee keer zo klein wordt.

b) **Leg uit** of het energieverval tussen de grondtoestand en de eerste aangeslagen toestand hierdoor groter of kleiner wordt en **bereken** met welke factor die energie groter of kleiner wordt.

In plaats van geelgroen licht absorbeert het nieuwe molecuul een ander van het elektromagnetisch spectrum.

Leg uit in welk deel van het elektromagnetisch spectrum de golflengte van de geabsorbeerde straling zich bevindt.

