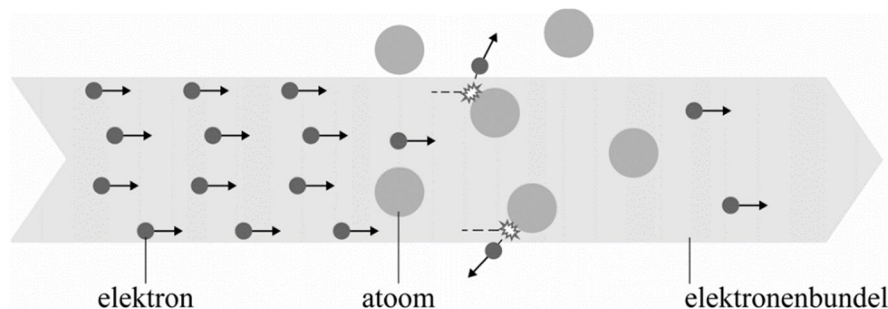


Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

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:

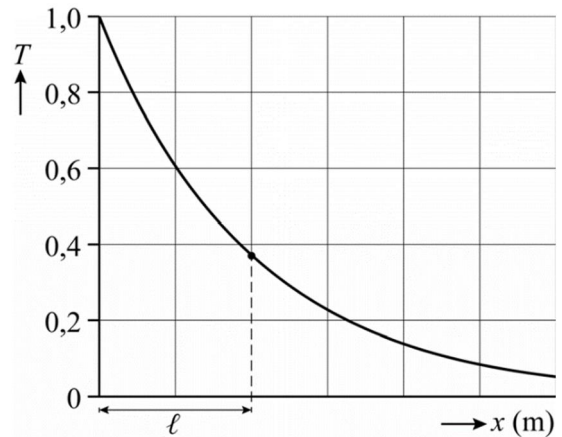
- x de afstand die door de bundel in het gas is afgelegd in m;
- ℓ de gemiddelde vrije weglengte, dat wil zeggen de gemiddelde afstand die een elektron aflegt voordat het botst, in m;
- I de intensiteit van de bundel na een afstand x in $1/(m^2 s)$;
- I_0 de intensiteit van de bundel bij de bron in $1/(m^2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

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} .



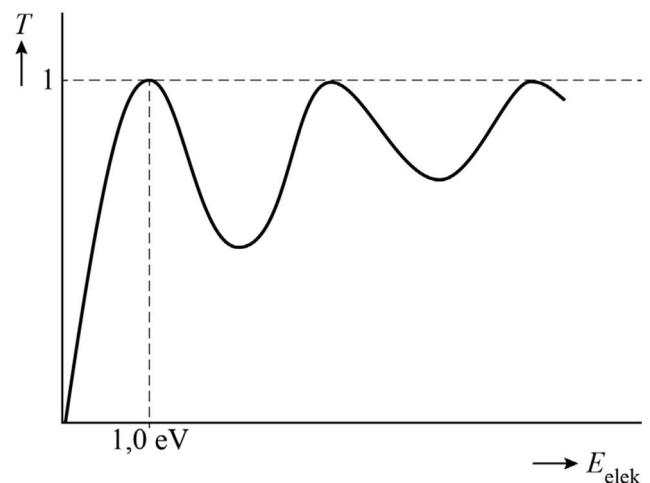
Carl Ramsauer

John Townsend

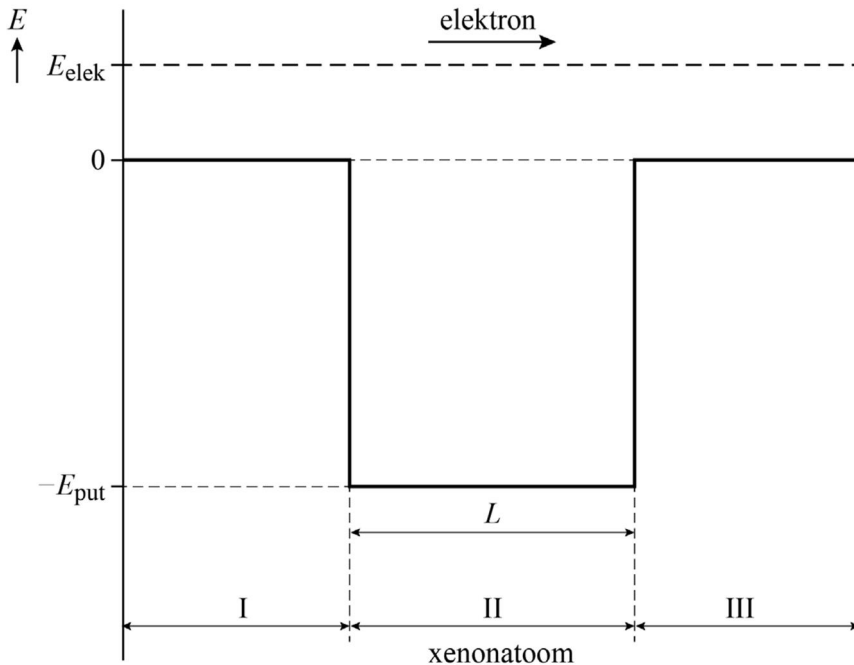
In nebenstaande afbeelding staat een (T, E_{elek}) -diagram van metingen aan xenongas. Bij een elektronenenergie E_{elek} van 1,0 eV gebeurt er iets verrassends: de elektronen lijken plotseling geen hinder meer te ondervinden van de xenonatomen. De transmissie wordt dan gelijk aan 1, ongeacht de grootte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

In ziekenhuizen wordt gebruik gemaakt van de technetium isotoop ^{99m}Tc voor radiodiagnostiek. De 'm' achter het massagetal betekent dat de kern in een aangeslagen toestand is. Bij terugvallen uit deze aangeslagen toestand komt γ -straling vrij. De energie per γ -foton is 340 keV.

a) **Bereken** de frequentie van deze γ -straling.

Het technetium ontstaat in het laboratorium van het ziekenhuis als vervalproduct van een β -straler.

b) Geef de reactievergelijking van dit verval.

Als het technetium direct in de grondtoestand ontstaat, hebben de β -deeltjes maximaal een energie van 1,23 MeV.

c) **Bereken** de energie die de β -deeltjes maximaal kunnen hebben als het technetium in de gewenste aangeslagen toestand ^{99m}Tc ontstaat.

Noteer jouw antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

De halveringstijd van het γ -verval van de isotoop ^{99m}Tc is 6,0 uur. Bij toepassing in de medische praktijk is ook de biologische halveringstijd van belang. Dit is de tijd die het lichaam gemiddeld nodig heeft om de helft van de aanwezige hoeveelheid technetium uit te scheiden. Deze biologische halveringstijd is 3,0 uur. Iemand krijgt een injectie met een ^{99m}Tc houdende oplossing. De activiteit van deze injectie is 50 MBq. De patiënt kan nu opgevat worden als een stralingsbron. Door de invloed van de biologische halveringstijd neemt de activiteit van deze stralingsbron sneller af dan wanneer alleen het radioactieve verval van ^{99m}Tc een rol zou spelen. Neem aan dat alle γ -fotonen het lichaam verlaten. Het bezoeken begint 5,0 uur na de injectie.

d) **Bereken** de activiteit van de patiënt op dat moment.

