

2025-2026

oefentoets v6 vwo 6

Natuurkunde

Opgavenblad

Bij deze toets hoort een uitwerkbijlage.

Deze toets bestaat uit 20 vragen. Voor deze toets zijn maximaal 63 punten te behalen. Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg of berekening vereist is, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg of berekening ontbreekt.

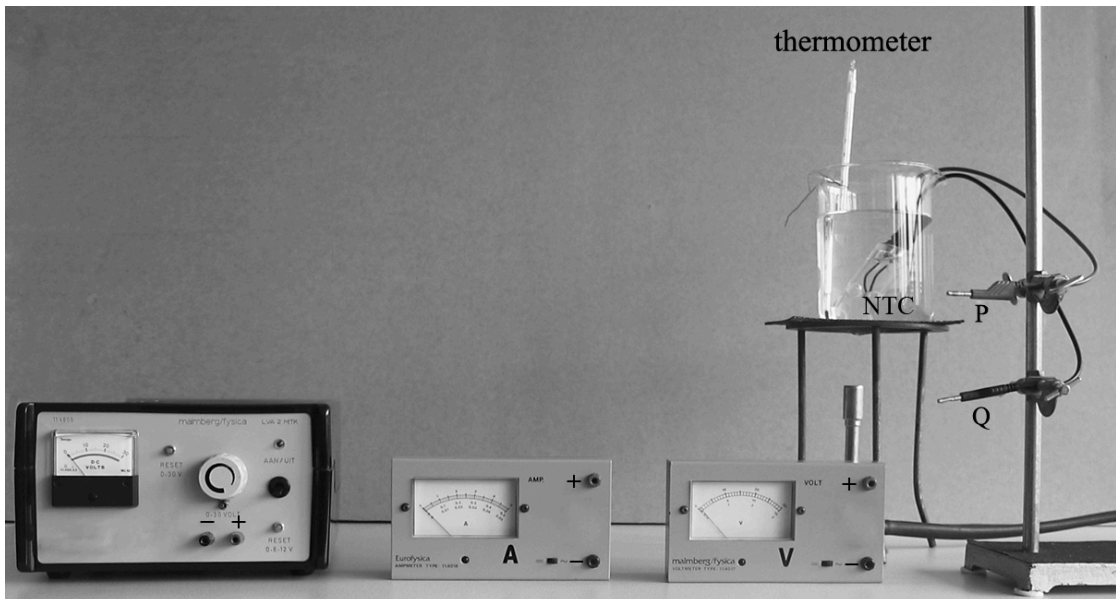
Open vragen

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

WaarschuwingLED

Pierre en Diane maken tijdens een practicum een waarschuwingssysteem waarbij een LED gaat branden als de temperatuur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ of hoger is. Op de practicumtafel staan de volgende spullen klaar (zie figuur 1):

- een driepoot met brander en een glas gevuld met water en ijs;
- een NTC en een thermometer die zich in het water bevinden;
- een regelbare spanningsbron, een volt- en een ampèremeter.



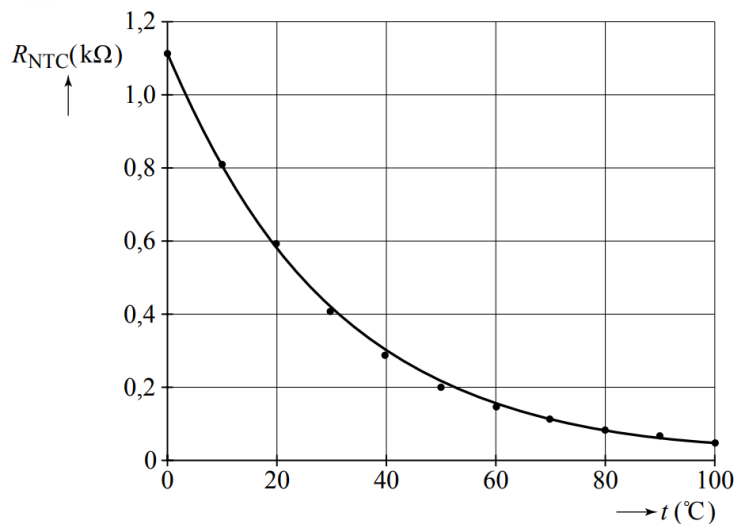
Figuur 1

Zij willen eerst een grafiek maken van de weerstand van de NTC tegen de temperatuur. Daarvoor moet nog een aantal elektrische verbindingen in de practicumopstelling van figuur 1 gemaakt worden. P en Q zijn de aansluitpunten van de NTC.

Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

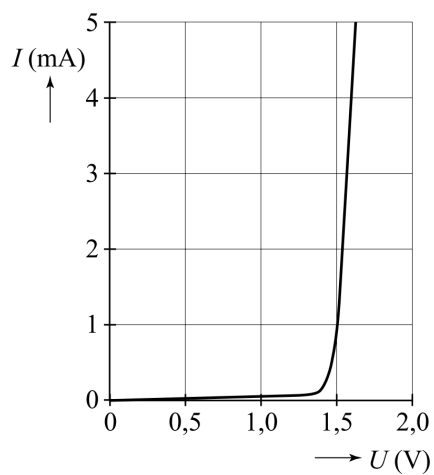
- 3p **1** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de draden die nodig zijn om de metingen voor deze grafiek te kunnen uitvoeren.

In figuur 2 zie je de grafiek die Diane en Pierre hebben gemaakt.



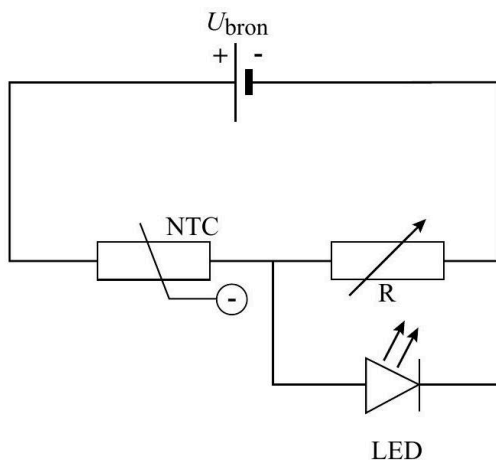
Figuur 2

Voor het waarschuwingssysteem beschikken zij verder nog over een variabele weerstand en een LED. In figuur 3 staat het (I, U) -diagram van de LED.



Figuur 3

De LED geeft licht als er een stroom van ten minste $1,0 \text{ mA}$ door gaat. Diane en Pierre bouwen de schakeling van figuur 4.



Figuur 4

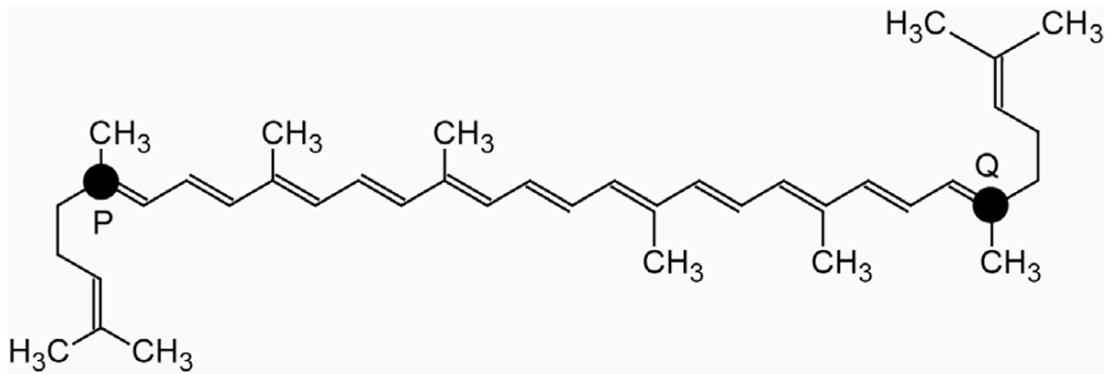
- 4p **2** Leg aan de hand van figuur 2, figuur 3 en figuur 4 uit dat de **LED** niet brandt bij een lage temperatuur en wel brandt bij een hoge temperatuur.

De variabele weerstand wordt zo ingesteld dat de **LED** licht geeft bij een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en hoger. De spanning van de spanningsbron is $5,0\text{ V}$.

- 5p **3** Bepaal de waarde waarop de variabele weerstand wordt ingesteld.

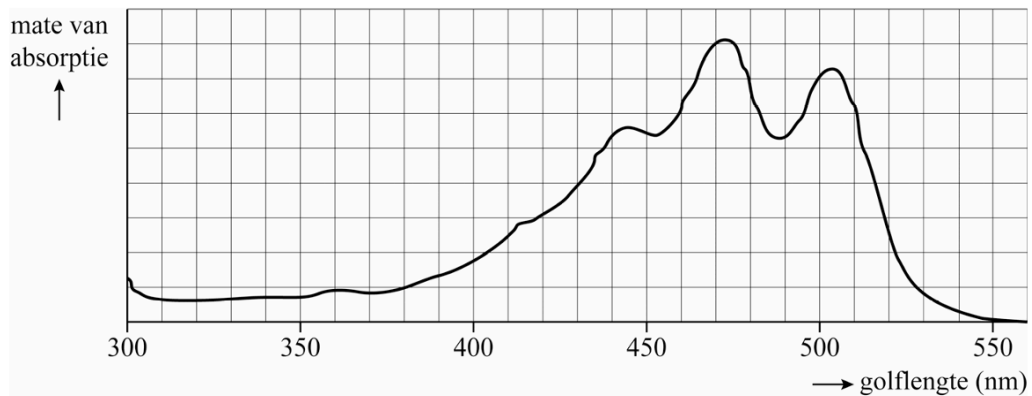
Lycopen

Lycopen ($C_{40}H_{56}$) is een rode kleurstof die bijvoorbeeld in tomaten voorkomt. Een lycopenmolecuul bestaat onder meer uit een lange keten van 22 koolstofatomen. Zie figuur 5.



Figuur 5

Het absorptiespectrum van lycopen staat afgebeeld in figuur 6.



Figuur 6

De dubbele bindingen in de lange keten tussen de punten P en Q in figuur 1 leveren de zogenaamde π -elektronen. Deze elektronen kunnen vrij bewegen tussen P en Q. We beschouwen het lycopenmolecuul daarom als een één-dimensionale energieput, gevuld met 22 π -elektronen. We nemen aan dat de lengte van de put gelijk is aan de afstand L , de afstand tussen P en Q langs de keten. Dus L is 21 keer zo lang als de gemiddelde afstand van $1,4 \cdot 10^{-10}$ m tussen twee koolstofatomen in de keten. Op basis hiervan kan de grootste golflengte berekend worden die door het molecuul geabsorbeerd kan worden.

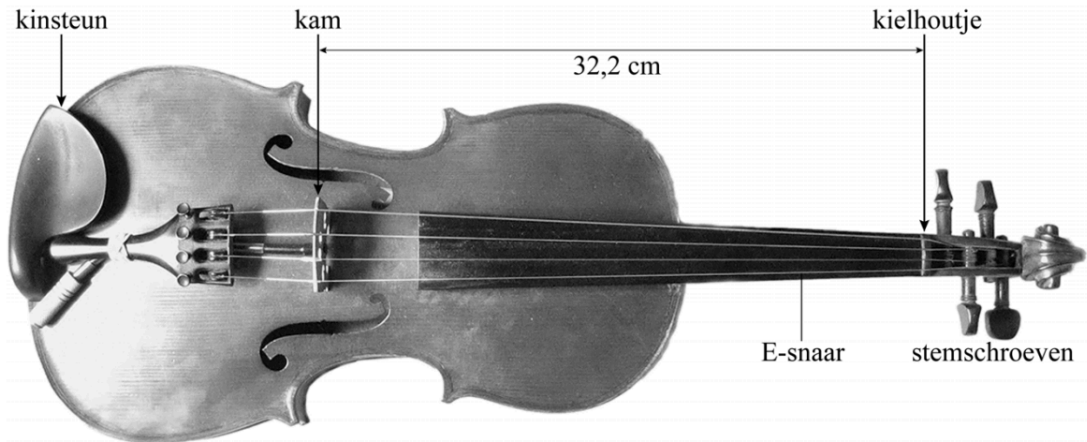
- 5p **4** Toon met een berekening aan dat deze maximale golflengte groter is dan de waarde die volgt uit figuur 6.

Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen de berekende en de gemeten golflengte is dat de effectieve putlengte, waarin de elektronen kunnen bewegen, niet gelijk is aan L .

- 2p **5** Leg uit of de effectieve putlengte volgens deze verklaring groter of kleiner is dan L .

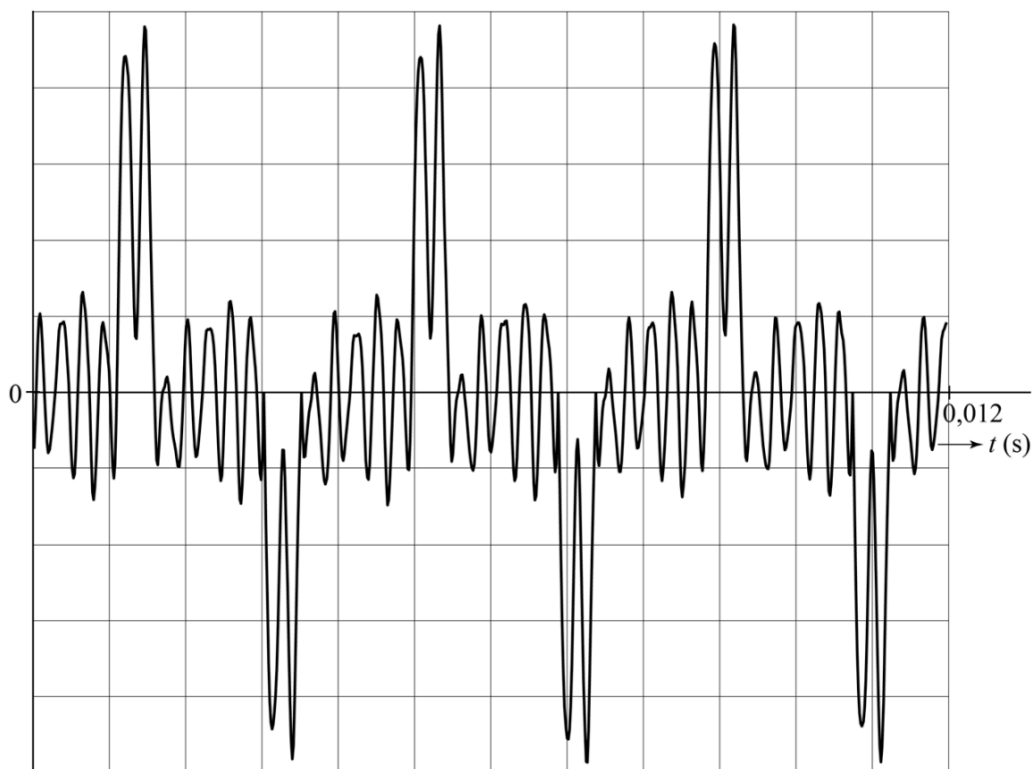
Viool

Figuur 7 is een foto van een viool. In de foto zijn enkele onderdelen benoemd.



Figuur 7

Met een microfoon is het geluid opgenomen dat ontstaat bij het aanstrijken van een snaar. Op een computerscherm wordt het (u, t) -diagram van figuur 8 zichtbaar. Het geluid blijkt een combinatie van verschillende tonen. De toon met de kleinste frequentie is de grondtoon.



Figuur 8

- 3p 6 Bepaal de frequentie van de grondtoon van deze snaar. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

De onderste snaar in figuur 7 is de E-snaar. Na aanstrijken hiervan ontstaat in de snaar een staande transversale golf met knopen op de kam en op het kielhoutje. Zie figuur 7. De frequentie van de grondtoon van de E-snaar is 660 Hz .

- 3p **7** Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in de E-snaar.

Voor de frequenties van de tonen van een snaar geldt:

$$f_n = n f_{\text{grondtoon}} \text{ (formule 1)}$$

Hierin is n een positief geheel getal, waarbij $n = 1$ de grondtoon aangeeft en $n = 2, 3, \dots$ de boventonen.

- 3p **8** Leid formule 1 af met behulp van formules uit een tabellenboek.

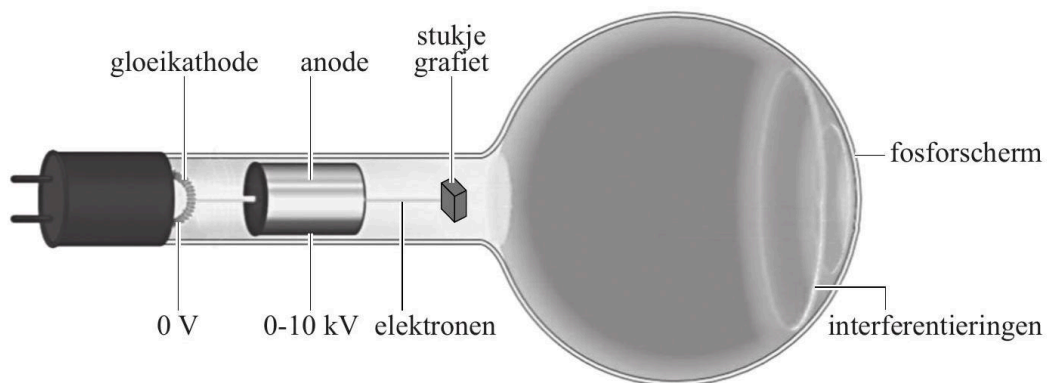
Naast de E-snaar bevindt zich de A-snaar. De frequentie van de grondtoon van de A-snaar is lager dan die van de E-snaar. Wanneer de viool zuiver gestemd is, is de verhouding van deze frequenties $2 : 3$. Door deze manier van stemmen zijn er frequenties die zowel bij een boventoon van de A-snaar horen als bij een boventoon van de E-snaar.

- 2p **9** Geef twee van die frequenties. Licht je antwoord toe.

Elektronendiffractie

G.P. Thomson toonde experimenteel elektronendiffractie aan. Hij liet zien dat er een interferentiepatroon ontstaat als elektronen op een stukje vaste stof geschoten worden. Hiermee toonde hij aan dat elektronen een golfkarakter hebben. In 1937 ontving hij hiervoor de Nobelprijs.

Bob en Marly gaan het experiment van Thomson uitvoeren met een elektronendiffractiebus. Zij willen daarmee de afstanden tussen de atomen in grafiet bepalen. Zij gebruiken de opstelling die weergegeven is in figuur 9.



Figuur 9

De gloeikathode levert elektronen. Deze elektronen hebben een verwaarloosbare snelheid. De elektronen doorlopen een versnelspanning die variabel is tot 10 kV. De elektronen gaan door het stukje grafiet, waarna ze op een fosforscherm een interferentiepatroon geven. Dit interferentiepatroon kan worden verklaard doordat de elektronen een golfkarakter vertonen.

Voor de de Broglie-golflengte van de elektronen geldt:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}} \quad (\text{formule 1})$$

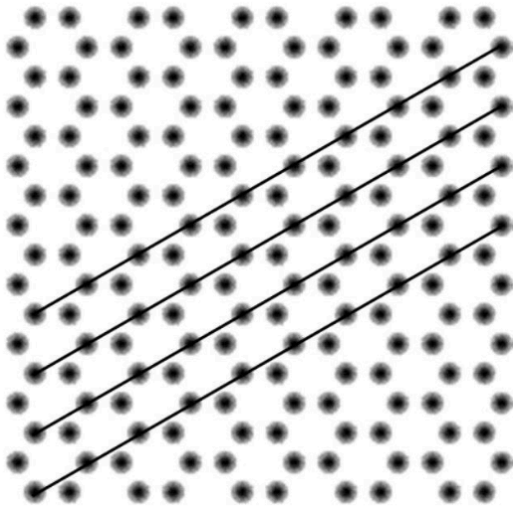
Hierin is:

- h de constante van Planck;
- e de lading van het elektron;
- m de massa van het elektron;
- U de versnelspanning.

3p **10** Leid formule 1 af.

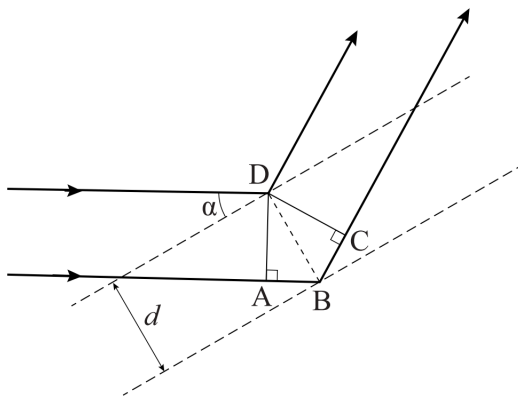
2p **11** Bereken de de Broglie-golflengte van de elektronen nadat ze een versnelspanning van $5,0 \text{ kV}$ hebben doorlopen.

In grafiet liggen de koolstofatomen in lagen op elkaar. In de afzonderlijke lagen liggen de koolstofatomen in regelmatige zeshoeken. Het effect van elektronendiffractie vindt plaats binnen één laag en niet tussen de lagen. In figuur 10 is één zo'n laag weergegeven.



Figuur 10

In een laag liggen de atomen in evenwijdige lijnen. Aan deze lijnen vindt reflectie plaats, de zogenaamde Braggreflectie. De elektronengolven die terugkaatsen van de verschillende evenwijdige lijnen hebben een verschil in weglengte waardoor ze interfereren. Dit is schematisch weergegeven in figuur 11.



Figuur 11

Er treedt constructieve interferentie op als:

$$2d \sin(\alpha) = n\lambda \text{ met } n = 1, 2, 3, \dots \text{ (formule 2)}$$

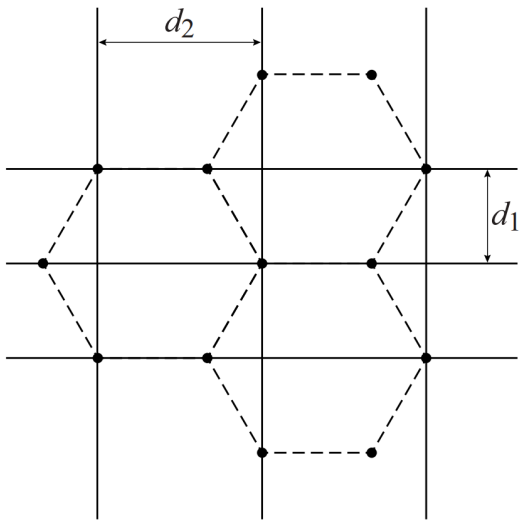
Hierin is:

- d de afstand tussen de roosterlijnen;
- α de hoek waaronder de elektronenbundel de roosterlijn treft;
- λ de de Broglie-golflengte van de elektronen.

Figuur 11 staat ook op de uitwerkbijlage.

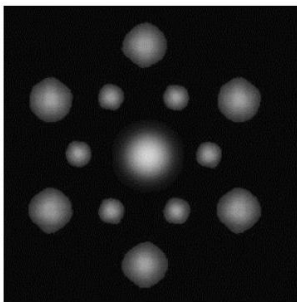
- 4p **12** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef op de uitwerkbijlage het verschil aan in weglengte tussen de twee stralen aan.
 - Leid hiermee formule 2 af.

In figuur 12 zijn verschillende lijnen te zien waaraan reflectie plaats kan vinden. De afstanden tussen verschillende lijnen zijn aangegeven met d_1 en d_2 .



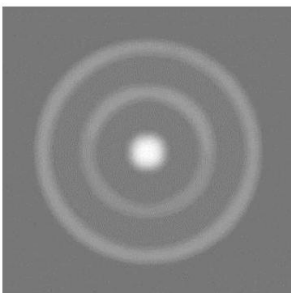
Figuur 12

Bij een interferentiepatroon aan een monokristallijne laag grafiet (dat wil zeggen een laag die uit één kristal grafiet bestaat) ontstaat het patroon van figuur 13 op het scherm van de elektronendiffractiebus uit figuur 9.



Figuur 13

Als er in de diffractiebus geen monokristallijne laag grafiet zit maar een polykristallijne laag (dat wil zeggen dat er vele kristallen kriskras door elkaar zitten), ziet het interferentiepatroon eruit als in figuur 14.



Figuur 14

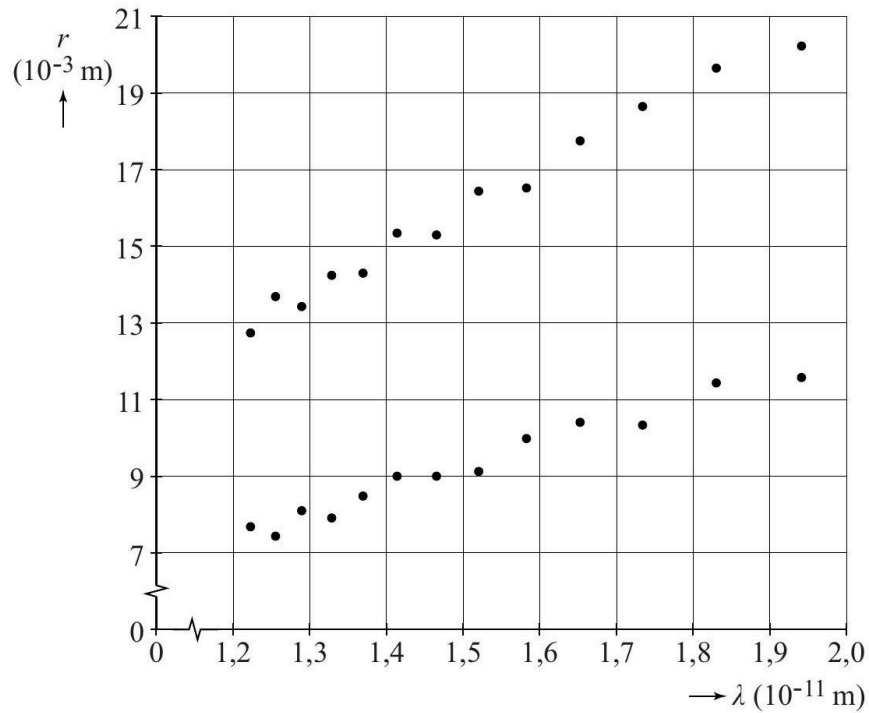
- 2p **13** Leg uit of de buitenste ring komt van interferentie aan lijnen met afstand d_1 of met afstand d_2 .

Bob en Marly meten bij verschillende versnelspanningen de straal van de ringen op het scherm.

Bij lage versnelspanningen verschijnen geen ringen op het scherm. Dan is alleen de stip in het midden op het scherm te zien.

- 2p **14** Leg uit waarom bij lage versnelspanningen geen ringen verschijnen op het scherm.

Van de metingen maken Bob en Marly een grafiek waarin ze de straal van beide ringen uitzetten tegen de de Broglie-golflengte van de elektronen. Zie figuur 15.



Figuur 15

Voor kleine afbuigingshoeken geldt bij benadering:

$$r = \frac{2R}{d}n\lambda \quad (\text{formule 3})$$

Hierin is:

- r de straal van de ring op het scherm;
- d de afstand tussen roostervlakken;
- λ de de Broglie-golflengte;
- R de straal van de bol van de diffractiebus (65 mm);
- $n = 1$.

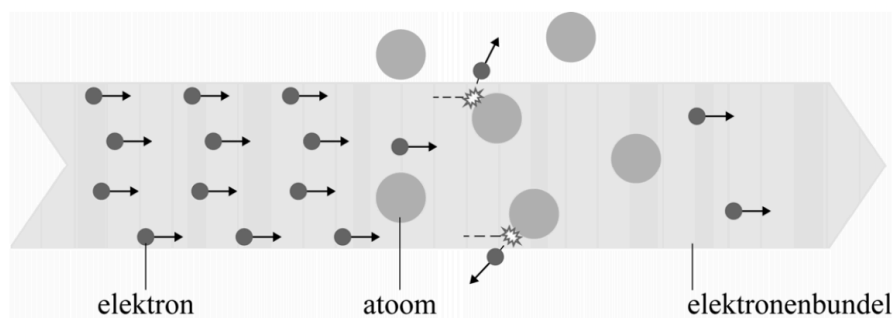
Figuur 15 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p **15** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zo nauwkeurig mogelijk de grootte van d voor de buitenste ring.

Ramsauer en Townsend

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 16 voor een schematische tekening.



Figuur 16

- 2p **16** 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.

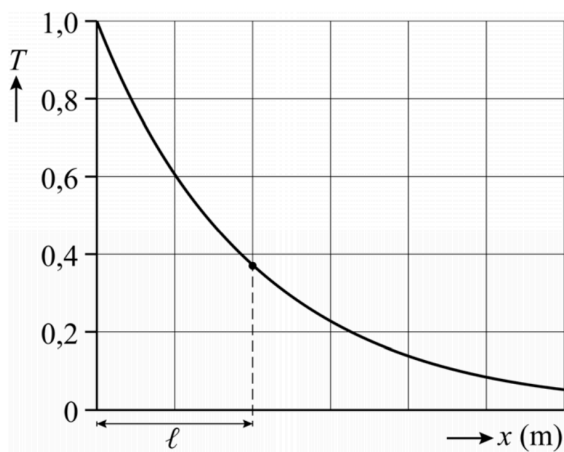
De transmissie T is de verhouding tussen de intensiteit van de bundel nadat hij een afstand x door het gas heeft afgelegd en de intensiteit van de bundel bij de bron. Volgens het botsende-deeltjesmodel geldt voor T :

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

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



Figuur 17

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

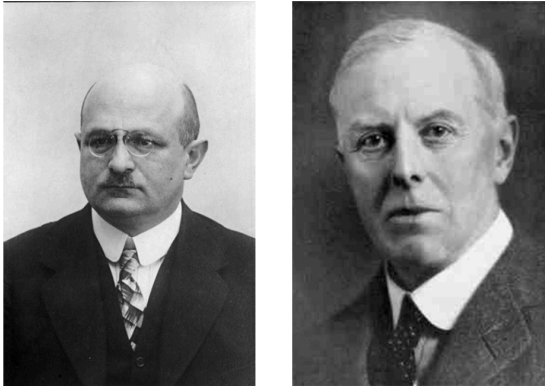
Figuur 17 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p **17** 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 17 correct is weergegeven.

Quantumrevolutie: het Ramsauer-Townsend-effect

Rond 1920 deden de wetenschappers Carl Ramsauer en John Townsend (zie figuur 18), 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} .

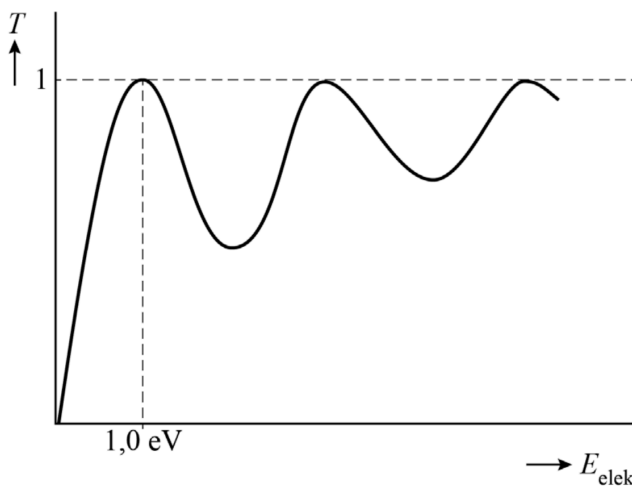


Carl Ramsauer

John Townsend

Figuur 18

Figuur 19 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.

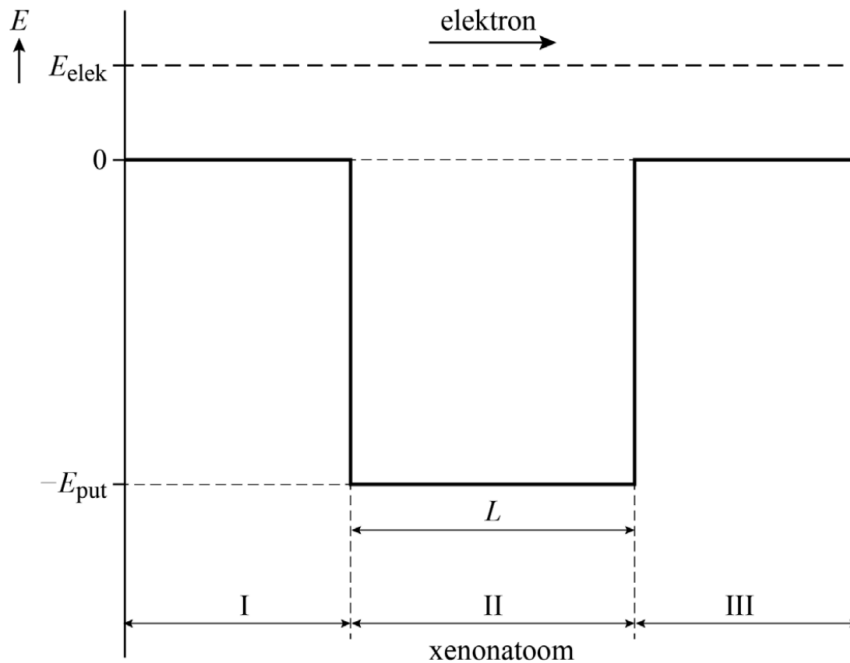


Figuur 19

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 **18** 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 20 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 20

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:

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

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:

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

In figuur 19 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 **19** 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 19 hoort bij $n = 1$ in de formule van deze energieniveaus.

De diameter van het xenonatoom is $0,22 \text{ nm}$.

4p **20** Bereken E_{put} in eV. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.