

De 38^e Internationale Natuurkunde Olympiade

Iran

Experimentele opgave

Dinsdag, 17 Juli, 2007

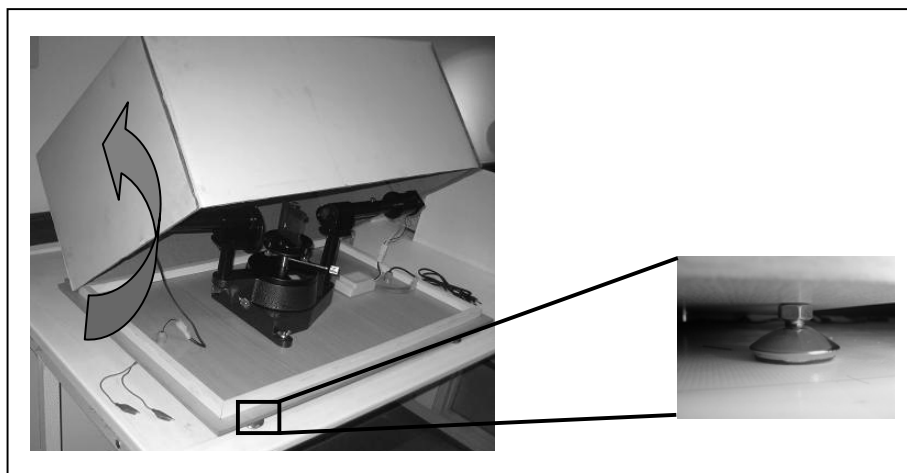
Lees dit eerst:

1. Lees, voor je de experimentele apparatuur bekijkt, ermee speelt of gebruikt, eerst dit blad en de opdracht zorgvuldig. Neem alle waarschuwingen en voorzorgsmaatregelen ernstig!
2. Het examen duurt 5 uur. Er is één opgave, die bestaat uit 3 opdrachten met een totale waarde van **20 punten**.
3. Gebruik alleen de pen die je op de tafel vindt.
4. Er zit een groene map in de envelop op de tafel. De map bevat 13 opgavebladen met een **Q** gemerkt, 5 antwoordbladen gemerkt met een **A** en ook een aantal uitwerkbladen **W**. Alle bladen zijn groen gemerkt net als de map waar ze in zitten.
5. Gebruik de antwoordbladen (**A**) om je antwoorden in te vullen. Om de oplossingen op te schrijven gebruik je de uitwerkbladen (**W**). Numerieke resultaten moeten in het juiste aantal significante cijfers gegeven worden. Vergeet de eenheden niet!
6. Schrijf op de uitwerkbladen (**W**) alles wat je denkt dat nodig is voor de oplossing van de vragen en alles wat je beoordeeld wilt hebben. Gebruik echter niet te veel tekst en gebruik vooral vergelijkingen, getallen, symbolen en diagrammen.
7. Gebruik alleen de voorkant van de bladen die je gekregen hebt.
8. Zet op elk blad dat je gebruikt in het hokje bovenaan het blad je **Student Code**. Nummer ook de uitwerkbladen (**W**) die je gebruikt opeenvolgend (**Page No.**) en het totaal aantal W-bladen dat je hebt gebruikt (**Total No. of pages**). Het helpt ons ook als je het nummer van het onderdeel waar je mee bezig bent aan het begin van elk blad noteert. Uitwerkbladen (**W**) die je niet beoordeeld wil zien, markeer je met een groot kruis erdoor en neem je niet op in de nummering.
9. Als je klaar bent, doe je alle bladen in de juiste volgorde in de map. Stop de antwoordbladen (**A**) als eerste in de rechterkant van de map en daarna de uitwerkbladen (**W**) in volgorde en dan de bladen die je niet wilt laten beoordelen. Doe niet gebruikte bladen en de opgavebladen (**Q**) links in de map. Stop de map in de envelop en verlaat je tafel. ***Je kunt de rekenmachine meenemen als souvenir van de IPhO-toetsen, het is echter niet toegestaan papier uit de examenzaal mee te nemen.***

Beschrijving van de opstelling

Figuur 1 toont de opstelling, die je zal gebruiken bij dit experiment. Het toestel is een spectroscopie waarop een detector is aangesloten zodat de spectroscopie kan worden gebruikt als een eenvoudige spectrometer.

Om het apparaat in te stellen moet je eerst de witte beschermkap omhoog tillen (Figuur 1). De beschermkap is draaibaar langs de achterrand van de basisplaat van het apparaat. Om de detector juist te gebruiken moet je de beschermkap opnieuw in de originele positie plaatsen zodat er een donkere ruimte ontstaat voor de detector. Bij de metingen van de spectra moet je de beschermkap goed gesloten houden. De halogeenlamp kan je aan of uitschakelen met een schakelaar met standen “on” en “off”. Er zijn vier schroeven om het apparaat horizontaal te plaatsen. (een vergroting van een instelschroef kan je zien rechts bij Figuur 1)



Figuur 1. De opstelling. Eén van de stelschroeven is vergroot weergegeven.

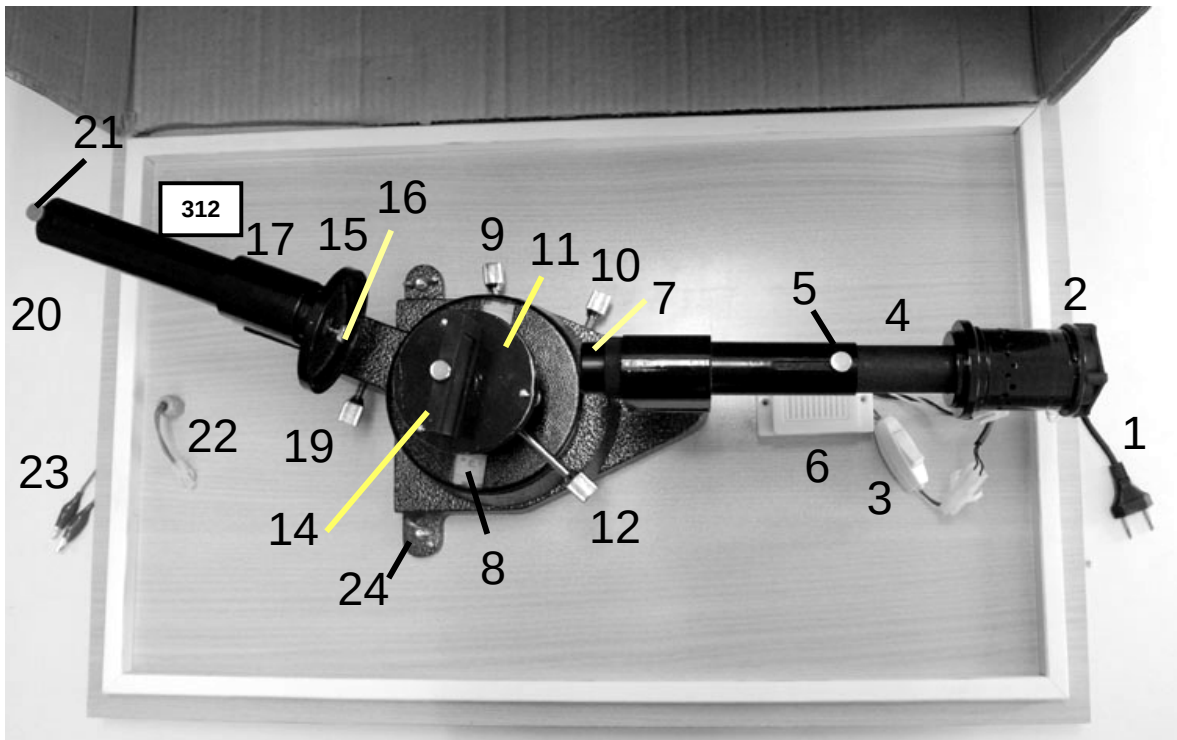


Waarschuwing 1: Vermijd elk contact met de halogeen lamp en zijn houder omdat de lamp heet is bij gebruik!



Waarschuwing 2: Verander niets aan de adapter en de verbinding. Het apparaat is aangesloten op een netspanning van 220V!

Figuur 2 toont een bovenaanzicht van het apparaat. De onderdelen zijn beschreven onder de figuur.



Figuur 2.

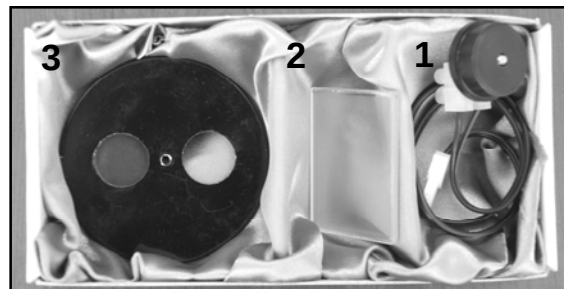
- | | |
|---|---|
| 1. Elektriciteitskabel | 14. Houder voor het tralie |
| 2. Halogeen lamp met koelventilator | 15. Houder voor het monster |
| 3. On/Off schakelaar | 16. Blokkeer en stelschroef voor het monster- en de glashouder (Figuur. 6) |
| 4. Arm met instelbare lengte | 17. Draaibare arm |
| 5. Stelschroef | 18. Schroef om de draaibare arm vast te zetten onder de draaibare arm (zie Figuur.4) |
| 6. Adapter: 220V – minder dan 12 V | 19. Fijnstelschroef voor de draaibare arm |
| 7. Lens | 20. Positie van de detector |
| 8. Noniusschaal (Vernierschaal) | 21. Blokkeerschroef voor de detector |
| 9. Schroef om de noniusschaal vast te zetten | 22. Verbindingsbus voor de detector |
| 10. Stelschroef voor de fijnregeling bij gebruik van de noniusschaal | 23. Verbinding met de multimeter |
| 11. Plateau om het tralie te plaatsen | 24. Bevestigingsschroef op de basisplaat |
| 12. Schroef om het tralie vast te maken | |
| 13. Stelschroef om het tralieplateau horizontaal te plaatsen(zie Figuur. 4) | |

Het nummer linksboven is het apparaatnummer

De hoek die de draaibare arm met de richting van de vaste arm van het toestel maakt, kan gemeten worden met een gradenboog voorzien van een noniusschaal. De beweegbare schaal heeft een verdeling van 30' (boogminuten). De noniusschaal laat een aflezing toe met een maximum nauwkeurigheid van 5'.

Bij het toestel vind je een doos (figuur 3), die de volgende onderdelen bevat:

1: een detector in houder; 2: een tralie met 600 lijnen/mm; 3: het monster en glas gemonteerd in een houder.

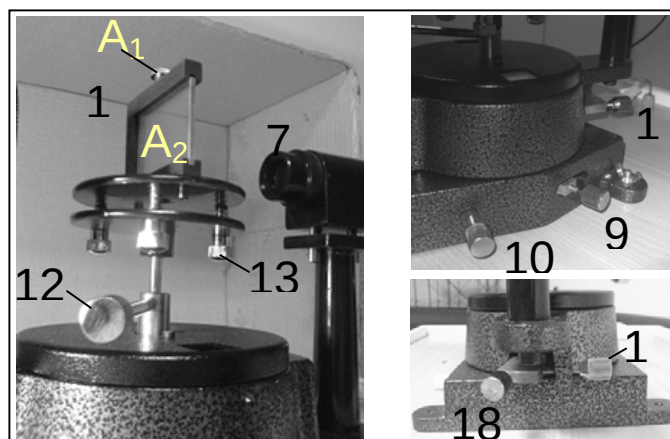


Figuur 3. Doos met de houder voor het monster en het glas, een diffractietralie en een lichtgevoelige weerstand.

Eerst moet je voorzichtig het tralie uit het omhulsel nemen en in de houder plaatsen (zie figuur 4, traliehouder).

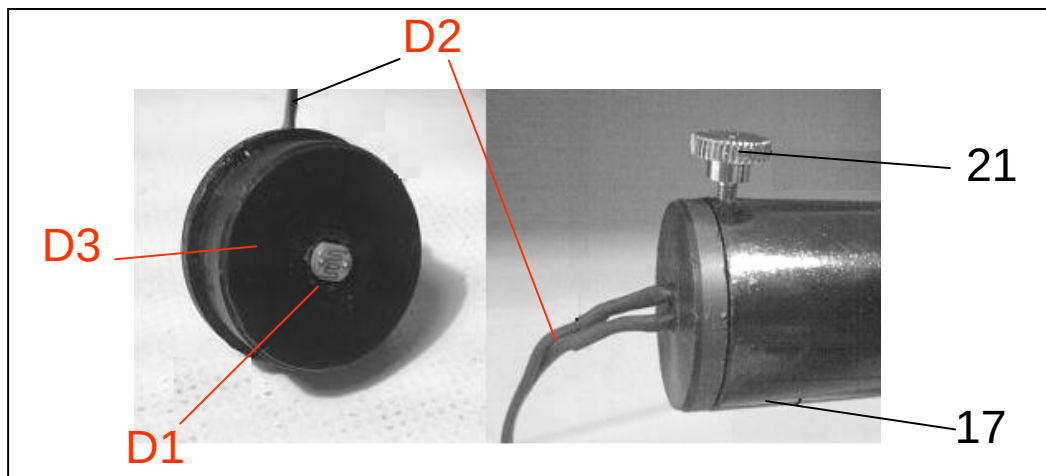
Let op: als je het oppervlak van het tralie aanraakt kan de nauwkeurigheid van de diffractie sterk verminderen of het tralie beschadigen!

Er zijn drie stelschroeven (figuur 4) om de traliebasis verticaal te plaatsen



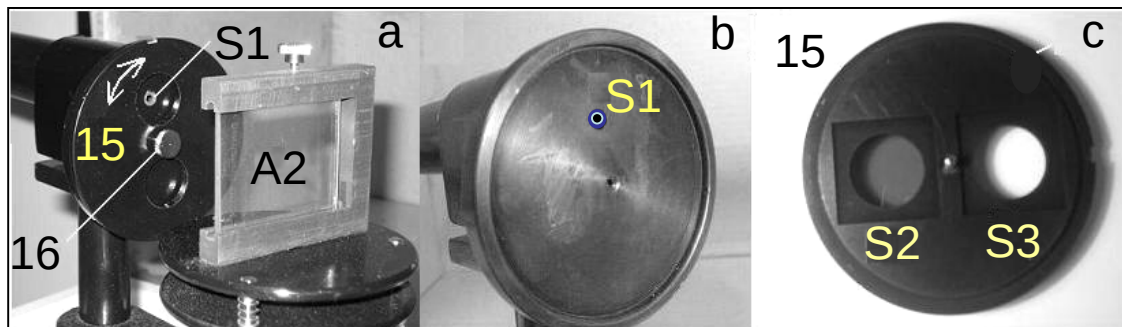
Figuur 4. blokkeer- en regelschroeven; A₁: vastzetschroef voor het tralie; A₂: het tralie. 7, 9, 10, 12-14, 18 and 19 zie uitleg figuur 2.

De detector moet bevestigd worden in het uiteinde van de beweegbare arm (figuur 5):



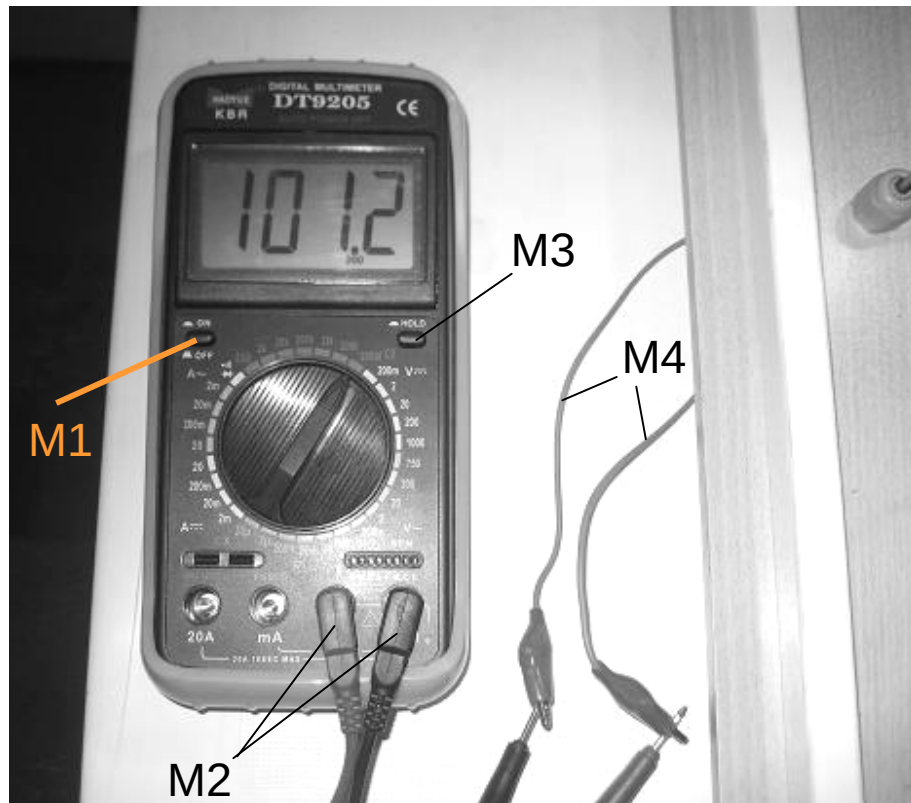
Figuur 5 . D1: de fotoweerstand; D2: verbindingskabel. D3: de detectorhouder. 17 and 21 zie figuur 2.

Het monster en de glasplaat zijn bevestigd in een houder (figuur 6c), die je nog moet bevestigen met een schroef op het instrument (figuur 6a, item 16). De houder is Draaibaar. Het kan het monster of het glas voor de opening plaatsen door aan de houder te draaien en dan weer vast te zetten met de schroef (figuur 6a).



Figuur 6. Het monster en het glas. S1: opening; S2: monster; S3: glas. 15 and 16 zie figuur. 2.

De multimeter die je gebruikt om de weerstand te bepalen van de fotoweerstand wordt getoond in figuur 7. De multimeter kan tot maximaal 200 M Ω meten. De rode en de zwarte stekkers moet je verbinden zoals getoond in figuur 7. De on/off schakelaar staat links op de multimeter (figuur 7, drukknop M1).



Figuur 7. De multimeter voor de bepaling van de weerstand van de lichtgevoelige weerstand. M1: on/off schakelaar; M2: verbindingsdraden; M3: drukknop om de meetwaarde vast te leggen; M4: verbindingsdraden.

Let op: De multimeter heeft auto-off eigenschap. In het geval van auto-off, moet je de on/off drukknop (M1) tweemaal snel na elkaar indrukken.

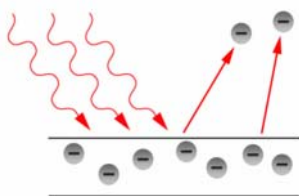
❖ Knop M3 moet **niet** ingeschakeld zijn tijdens dit experiment.

Experimentele opgave

Bepaling van de grootte van de 'energy band gap' van dunne halfgeleider coatings

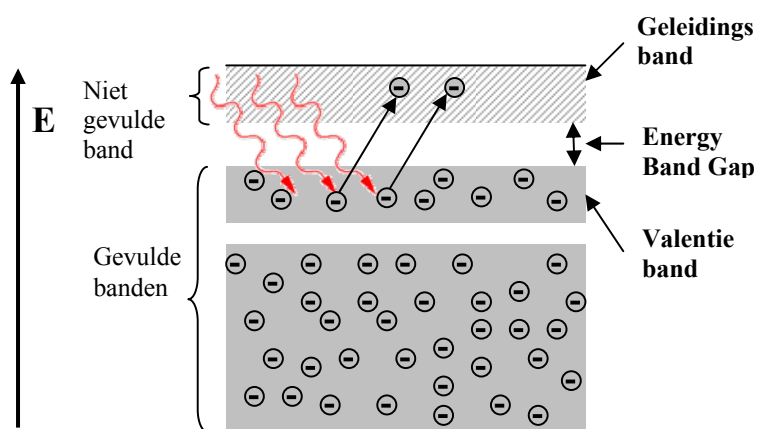
I. Inleiding

Halfgeleiders kunnen ruwweg beschreven worden als materialen waarvan de elektronische eigenschappen ergens tussen die van geleiders en isolatoren in zitten. Om deze eigenschappen van halfgeleiders beter te begrijpen, kan je beginnen met te kijken naar het bekende *foto-elektrisch effect*. Het foto-elektrisch effect is een kwantumelektronisch verschijnsel, waarbij een plaat foto-elektronen uitzendt nadat elektromagnetische straling (dat zijn fotonen) met voldoende energie is geabsorbeerd. De minimale hoeveelheid energie nodig voor het uittreden van een elektron uit een metaal door stralingsemissie (*foto-elektron*) noemt men de “*uittreedenergie*”. Met andere woorden, enkel fotonen met een frequentie ν hoger dan de karakteristieke grensfrequentie zijn in staat foto-elektronen los te slaan. Dit betekent dat enkel fotonen met een energie $h\nu$ groter dan een karakteristieke drempelwaarde (de uittreedenergie), in staat zijn een foto-elektron uit het materiaal los te slaan (h is de constante van Planck).



Figuur 1. Een tekening van de stralingsemissie van een foto-elektron uit een metalen plaat. De energie van het invallend foton moet groter zijn dan de uittreedenergie van het materiaal.

Het concept van de uittreedenergie bij het foto-elektrische effect is in feite hetzelfde als die van de 'energy band gap' van een halfgeleider. In de vaste stof fysica is de 'energy band gap' E_g niets anders dan het energieverval tussen de onderkant van de geleidingsband en de bovenkant van de valentieband in isolatoren en halfgeleiders. De valentieband is volledig gevuld met elektronen, terwijl er in de geleidingsband geen elektronen aanwezig zijn. Toch kunnen elektronen van de valentieband naar de geleidingsband overgaan. Dit kan indien de valentiebandelektronen in staat zijn een hoeveelheid energie op te nemen die tenminste gelijk is aan de 'energy band gap'.



Figuur 1. Energie band schema voor een halfgeleider.

'Band gap'-technologie is de technologie waarbij men de 'energy band gap' kan controleren en veranderen. Dit kan door de samenstelling van de halfgeleider allages te variëren. Sinds kort is aangetoond dat de grootte van de band gap kan veranderen door de nanostructuur van de halfgeleider te variëren.

In dit experiment zullen we met een optische methode de grootte van de energy band gap bepalen van een dunne laag halfgeleider coating, die bestaat uit een keten nanodeeltjes van ijzeroxyde (Fe_2O_3). Om de grootte van de band gap te meten bestuderen we de optische absorptie-eigenschappen van de halfgeleider coating en hiervoor maken we gebruik van het transmissiespectrum. Ruwweg gezegd vertoont het absorptiespectrum een scherpe stijging wanneer de energie van de invallende fotonen gelijk is 'band gap energy'.

II. Experimentele opstelling

Op de tafel liggen de volgende onderdelen:

1. Een grote witte doos die een spectrometer en een halogeenlamp bevat.
2. Een kleine doos met een houder waarin het monster en een stuk glas zitten, een tralie en een lichtgevoelige weerstand.
3. Een multimeter.
4. Een rekenmachine.
5. Een lineaal.
6. Een kartonnen kaart waar er in het midden een gat is gemaakt.
7. Een verzameling van lege labels.

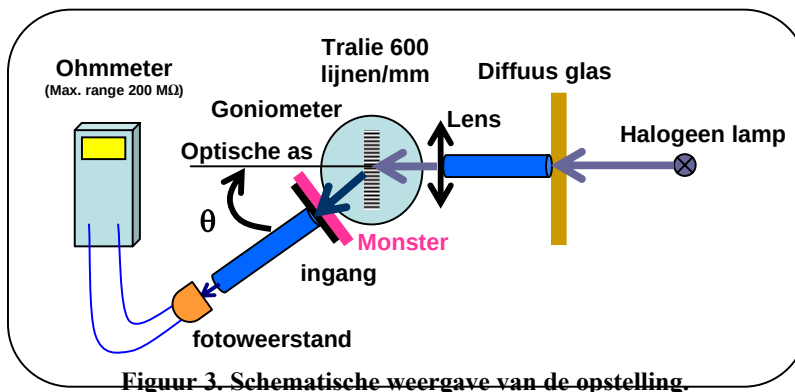
De spectrometer bevat een goniometer (hoekmeter) met een precisie van 5' (1' is één minuut). De halogeenlamp dient als lichtbron en is vastgemaakt aan de vaste arm van de spectrometer (zie voor details de bijgevoegde "Beschrijving van de Opstelling").

De kleine doos bevat de volgende onderdelen:

1. Een houder met twee openingen: één opening bevat het glazen plaatje met een coating van Fe_2O_3 (dun laagje Fe_2O_3) (het monster) en de andere opening bevat het glazen plaatje zonder coating.
2. Een lichtgevoelige weerstand die op zijn houder is vastgemaakt dient als een lichtdetector.
3. Een transparant diffractie tralie met 600 lijnen per mm.

Merk op: Raak geen enkel glazen oppervlak in de kleine doos aan!!

Een schematisch diagram van de opstelling is weergegeven in figuur 3:



III. Methode

Om de transmissie $T_{coating}(\lambda)$ van een coating voor alle golflengten te bepalen kun je de volgende formule gebruiken:

$$T_{coating}(\lambda) = I_{coating}(\lambda) / I_{glas}(\lambda) \quad (1)$$

Waarbij $I_{coating}$ en I_{glas} respectievelijk gelijk zijn aan de intensiteit van het licht dat door de coating gezonden is en de intensiteit van het licht dat door het gewone glas is gezonden. De waarde I kan met een lichtdetector, zoals met een lichtgevoelige weerstand, worden gemeten. In een lichtgevoelige weerstand neemt de elektrische weerstand af als de intensiteit van het licht toeneemt. Bij deze opdracht kan de intensiteit met behulp van de volgende formule berekend worden:

$$I(\lambda) = C(\lambda)R^{-1} \quad (2)$$

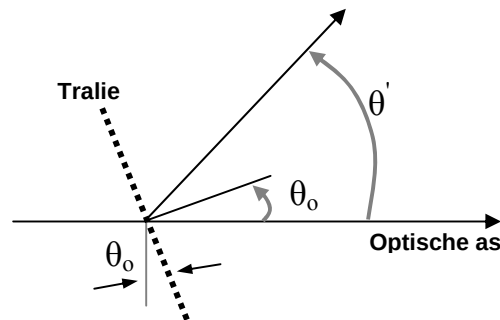
Waarbij R de elektrische weerstand van de lichtgevoelige weerstand is en C een van de golflengte afhankelijke coëfficiënt.

Het transparante tralie op de spectrometer verstrooit licht van verschillende golflengten naar verschillende hoeken. Om de variaties van T als functie van λ te bestuderen, is het voldoende om de hoek θ' van de lichtgevoelige weerstand met de optische as (gedefinieerd als de richting van de invallende lichtbundel die op het tralie valt) te variëren, zoals in figuur 4 is weergegeven.

Vanuit de basisvergelijking voor een diffractietralie:

$$n\lambda = d[\sin(\theta' - \theta_0) + \sin \theta_0] \quad (3)$$

kunnen we de hoek θ' als functie van λ bepalen. n is een geheel getal gelijk aan de orde van de verstrooiing, d is de afstand tussen de lijnen van het tralie (de tralieconstante) en θ_0 is de hoek tussen de optische as en de normaalvector op het tralie (zie figuur 4). (In dit experiment zullen we proberen het tralie loodrecht op de optische as te zetten zodat $\theta_0 = 0$, maar omdat dit nooit nauwkeurig kan gebeuren, zullen we de fout hiervan in onderdeel 1-e berekenen)



Figuur 4. Tekening van de gebruikt hoeken in vergelijking 3

Experimenteel is aangetoond dat voor fotonen met energieën nét iets groter dan de 'band gap' energie de volgende relatie geldig is:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^\eta \quad (4)$$

Waarbij α de absorptiecoëfficiënt van de coating is, A een constante die afhankelijk is van het materiaal van de coating en η een constante is die bepaald wordt door het absorptiemechanisme en van de structuur van het materiaal van de coating. De transmissie is afhankelijk van de waarde van α door de welbekende absorptievergelijking:

$$T_{\text{coating}} = \exp(-\alpha t) \quad (5)$$

Waarbij t gelijk is aan de dikte van de coating.

IV. Opdrachten:

0. *Het apparaat en de kleine doos zijn gemarkeerd met nummers. Schrijf het **Apparaatnummer** en **Monsternummer** op de overeenkomstige plekken op het antwoordvel.*

1. Fijnafstelling en metingen:

1-a	Controleer of de maximale precisie ($\Delta\theta$) van de goniometer, zoals opgegeven in de beschrijving, overeenkomt met de precisie van de noniusschaal (vernierschaal) en noteer deze waarde.	0.1 pt
-----	--	--------

Opmerking: Op verzoek zijn er vergrootglazen beschikbaar.

Stap 1:

Zet om het experiment te beginnen de halogeenlamp aan om deze op te laten warmen. Het is beter de lamp niet meer uit te schakelen tijdens het experiment. Brand je niet aan de lamp, aangezien deze warm wordt.

Verschuif de lamp zo ver mogelijk weg van de lens, omdat je zo een evenwijdige lichtbundel krijgt.

We gaan nu een ruwe nul-fijnafstelling (uitlijning) van de goniometer maken zonder de lichtgevoelige weerstand te gebruiken. Maak met schroef 18 (onder de arm) de roteerbare arm los en stel de arm op het zicht evenwijdig met de optische as af. Schroef 18 nu weer stevig vast. Maak nu met schroef 9 de noniusschaal los en zet deze op 0 en maak schroef 9 weer stevig vast. Met de fijnafstelling van de noniusschaal (schroef 10) kun je de 0 nauwkeurig vaststellen. Plaats het tralie in de houder en draai het ruwweg loodrecht op de optische as. Houd nu het karton met het gat zo voor de lichtbron dat de invallende lichtbundel door het gat gaat. Draai het tralie nu rustig, zodanig dat de gereflecteerde lichtbundel samenvalt met de invallende lichtbundel. Maak schroef 12 nu ook weer vast zodat het tralie vast staat.

1-b	Meet de afstand tussen het tralie en het gat in het karton en bepaal met behulp van een schatting de precisie van deze fijnafstelling ($\Delta\theta_o$).	0.3 pt
	Bepaal hierna, door de roteerbare arm te draaien, de uiterste hoeken van het eerste orde maximum van het zichtbare licht (van blauw tot rood).	0.2 pt

Stap 2:

Installeer nu de lichtgevoelige weerstand aan het eind van de roteerbare arm. Om het systeem optisch af te stellen met deze lichtgevoelige weerstand moet je de roteerbare arm een klein beetje draaien (door schroef 18 los te draaien), zodat de lichtgevoelige weerstand een minimale weerstand aangeeft. Om de arm nauwkeurig te positioneren moet je schroef 18 stevig vast draaien en gebruik dan schroef 19 voor de fijnafstelling.

Gebruik de schroef voor de fijnafstelling van de noniusschaal om deze schaal op nul te zetten. Zet bovendien de schroeven van de houder van de lichtgevoelige weerstand vast, en hou deze tijdens het experiment vast.

1-c	Schrijf de gemeten minimale waarde van de weerstand $R_{\min}^{(0)}$ op.	0.1 pt
	De nul-afstelling is nu beter, schrijf ook de precisie op van deze fijnafstelling ($\Delta\varphi_o$). Merk op dat $\Delta\varphi_o$ de fout in de afstelling is van de hoek tussen de roteerbare arm en de optische as.	0.1 pt

Stap 3:

Verplaats de draaibare arm naar het gebied van de eerste orde verstrooiing. Bepaal de hoek waarbij de waarde van de fotoweerstand minimaal is (dus waarbij de lichtintensiteit maximaal is). Door gebruik te maken van de instelschroeven van het tralie kan je de helling van het platform waarop het tralie is aangebracht lichtjes veranderen om een nog lagere weerstandswaarde te verkrijgen.

1-c	Noteer de minimumwaarde van de afgelezen weerstand ($R_{\min}^{(1)}$) in het daarvoor aangegeven vak.	0.1 pt
------------	--	--------

Het is nu nodig om de loodrechte stand van het tralie voor de nulinstelling opnieuw na te gaan. Hier moet je gebruik maken van de methode in stap 1 waarbij de gereflecteerde lichtstraal samenvalt met de invallende straal.

- **Belangrijk:** vanaf hier moet je het experiment in het donker uitvoeren, sluit daarom het apparaat met het deksel af.

Metingen: Schroef de houder op de draaibare arm. Bekijk voor je met het meten begint hoe het glas met halfgeleidercoating eruit ziet. Plaats het monster met de coating voor de ingangsoopening S_1 , op de draaibare arm, zodat een uniform deel van de coating het gat S_1 afdekt. Om er zeker van te zijn dat je steeds weer het zelfde deel van de coating gebruikt, moet je een merkteken (lijn) plaatsen op de label bevestigd over de rand van de houder en op de draaibare arm. Gebruik de lege labels.

Let op: Bij metingen met erg hoge weerstanden is het nodig 3 tot 4 minuten te wachten totdat de lichtgevoelige weerstand in zijn evenwichtsstand is.

1-d	Meet de weerstandswaarde van de lichtgevoelige weerstand voor zowel het glas zonder coating als het glas met coating als een functie van de hoek θ (dit is de waarde die je afleest op de goniometer voor de hoek tussen de lichtgevoelige weerstand en de door jou aangegeven optische as). Vul hiermee tabel 1d in. Merk op dat je tenminste 20 meetpunten nodig hebt binnen het gebied dat je in stap 1b gevonden hebt. Voer je metingen uit in het correcte bereik van de weerstandsmeter.	2.0 pt
	Bepaal de fout in elk van de meetpunten. Baseer je antwoord slechts op de directe meting met de weerstandsmeter.	1.0 pt

Stap 4:

De tot nu toe behaalde precisie is nog steeds beperkt omdat het onmogelijk is om met een 100% precisie de roteerbare arm op één lijn te brengen met de optische as en/of het tralie loodrecht op de optische as te plaatsen. We moeten daarom de asymmetrie van de gemeten transmissie aan beide kanten van de optische as vinden (deze asymmetrie is het gevolg van de afwijking in de loodrechte stand van het tralie oppervlak ten opzichte van de optische as (θ_o)). Doe de volgende metingen om deze asymmetrie te bepalen:

1-e	Meet allereerst $T_{coating}$ bij $\theta = -20^\circ$. Bepaal dan de waarden voor $T_{coating}$ bij hoeken in de buurt van $+20^\circ$. Vul tabel 1e in (je mag gebruik maken van de waarden die je gevonden hebt in tabel 1d.).	0.6 pt
	Teken de grafiek van $T_{coating}$ als functie van θ.	0.6 pt

Op de getekende grafiek vind je een hoek γ waarvoor de waarde van $T_{coating}$ gelijk is aan de waarde van $T_{coating}$ gemeten bij $\theta = -20^\circ$ ($\gamma \equiv \theta|_{T_{coating}=T_{film}(-20^\circ)}$).

Noem het verschil van deze hoek γ en de hoek bij $+20^\circ$ dan δ . Met andere woorden

$$\delta = \gamma - 20^\circ \quad (6)$$

1-e	Schrijf de waarde van δ in het daarvoor bestemde vak.	0.2 pt
------------	---	--------

Nu kan vergelijking (3) voor de eerste orde verstrooiing vereenvoudigd worden tot:

$$\lambda = d \sin(\theta - \delta/2), \quad (7)$$

hierin is θ de hoek die je afleest op de goniometer.

2. Berekeningen:

o Enige handige natuurconstanten die je voor je berekeningen nodig hebt:

- De lichtsnelheid: $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
- De constante van Planck: $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- De lading van het elektron: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

2-a	• Gebruik vergelijking (7) om $\Delta\lambda$ in termen van de fouten in de andere parameters uit te drukken (verwaarloos de fout in de tralieconstante d). Gebruik ook vergelijking (1), (2) en (5) om $\Delta T_{\text{coating}}$ in termen van R en ΔR uit te drukken.	0.6 pt
2-b	• Schrijf het interval van de waarden van $\Delta\lambda$ in het domein van de eerste orde verstrooiing op.	0.3 pt
2-c	• Gebruik de metingen van de parameters uit opdracht 1 om tabel 2c voor elke θ in te vullen. Merk op dat de golflengten met vergelijking (7) dienen te worden uitgerekend.	2.4 pt
2-d	• Teken R_{glas}^{-1} en R_{coating}^{-1} als functie van de golflengte in eenzelfde diagram. Merk op dat op basis van vergelijking (2) het gedrag van R_{glas}^{-1} en R_{coating}^{-1} ons redelijkerwijs een goede indicatie kunnen geven over hoe respectievelijk I_{glas} en I_{coating} zich gedragen.	1.5 pt
	• Schrijf in tabel 2d de golflengten op waarbij R_{glas} en R_{coating} hun minimale waarde hebben.	0.4 pt
2-e	• Teken nu de grafiek van de transmissie T_{coating} van de halfgeleiderlaag (het monster) als een functie van de golflengte.	1.0 pt

3. Data analyse:

Door in vergelijking (4) $\eta = 1/2$ en $A = 0.071 \text{ ((eV)}^{1/2}/\text{nm})$ te nemen kunnen we de waarden voor E_g en t bepalen, met dimensie van respectievelijk eV en nm. Deze waarden kunnen we bepalen door een grafiek te tekenen in een goedgekozen x, y -coördinatenstelsel en door in deze grafiek een extrapolatie te doen in het gebied waar de vergelijking geldig is.

3-a	• Gebruik $x = h\nu$, $y = (\alpha t h\nu)^2$ en je metingen van opdracht 1 om tabel 3a in te vullen voor golflengten van ongeveer 530 nm en hoger. Druk je antwoorden (x en y) uit met het correcte aantal significante cijfers, dat je moet baseren op de schatting van de fout van één datapunt. • <u>Merk op dat $h\nu$ met eenheid eV en golflengten met eenheid nm moeten worden uitgedrukt. Schrijf ook de eenheid van beide variabelen tussen de haakjes op de bovenste rij van de tabel.</u>	2.4 pt
3-b	• Zet y tegen x uit. • Merk op dat de y variabele correspondeert met de absorptie van de coating. Fit een rechte lijn aan de datapunten in het lineaire gebied rond 530 nm. • Specificeer het gebied waar vergelijking (4) geldig is door het kleinste en het grootste x-coördinaat op te schrijven van de datapunten waaraan je de lijn gefit hebt.	2.6 pt
3-c	• Noem de helling van deze lijn m en vind uitdrukking voor de dikte van de coating (t) en zijn fout (Δt) in termen van m en A (neem aan dat A geen fout heeft).	0.5 pt
3-d	• Bereken nu de waarden voor E_g en t en hun fouten in eenheden van respectievelijk eV en nm. Vul deze waarden in tabel 3d in.	3.0 pt

Antwoordbladen

Opdracht 0

Apparaatnummer:

--

Monsternummer:

--

Opdracht 1

Tabel 1a.

$\Delta\theta$	
----------------	--

Tabel 1b.

$\Delta\theta_0$	
Het zichtbaar bereik van θ (graden)	$\leq \theta \leq$

Tabel 1c.

$R_{\min}^{(0)}$	
$\Delta\varphi_0$	
$R_{\min}^{(1)}$	

Tabel 1d. De gemeten variabelen

[illegible]

Tabel 1e.

θ	T_{film}	θ	T_{film}
-20°			

δ (graden)	
-------------------	--

Opdracht 2

2a.

$\Delta\lambda =$

$\Delta T =$

2b.

$\leq \Delta\lambda \text{ (nm)} \leq$

Tabel 2c.

[illegible]

2d) Grafiek

Tabel 2d.

$\lambda_{\max}(I_{glas})$	
$\lambda_{\max}(I_{coating})$	

2e) Grafiek

Opdracht 3.

Tabel 3a.

θ (graden)	x ()	y ()

3b. Grafiek

$x_{\min} =$	$x_{\max} =$
--------------	--------------

3c.

$t =$
$\Delta t =$

Tabel 3d.

De berekende waarden van E_g en t

E_g (eV)	ΔE_g (eV)	t (nm)	Δt (nm)