

De 36^e Internationale Natuurkunde Olympiade Salamanca, -Spanje

Experimentele toets

donderdag 7 juli 2005

duur: 5 uur

Lees de tekst van het experiment helemaal door voordat je met experimenteren begint

Lees dit eerst!

1. Voor het experiment is 5 uur beschikbaar.
2. Beschrijf uitsluitend de voorkant van het papier.
3. Maak elke opgave op een nieuw blad.
4. Behalve de *blanco bladen* waar je op mag schrijven, is er een *antwoordblad* waarop de antwoorden *moeten* worden samengevat. Geef numerieke resultaten weer met een verantwoord aantal significante cijfers.
5. Op de blanco bladen mag je uiteraard alles schrijven waarvan je denkt dat het belangrijk is voor het oplossen van het vraagstuk. Gebruik echter zoveel mogelijk vergelijkingen, numerieke waarden, tekeningen en grafieken. Gebruik dus zo weinig mogelijk tekst.
6. Bovenaan elk blad moet je het **land (Country Code)** en je **studentnummer (Student Code)** invullen. Vul verder in: het nummer van de opgave (**Question Number**); het paginanummer (**Page Number**) en het totaal aantal blanco bladen (**Total Number of Pages**) dat je hebt gebruikt en dat nagekeken moet worden. Noteer ook aan het begin van elk blad het nummer en het onderdeel van de vraag waarmee je bezig bent. Zet een kruis door alle andere beschreven bladen die niet nagekeken hoeven te worden. Neem deze bladen ook niet op in de nummering van de bladen.
7. Leg aan het eind alle bladen in de *juiste volgorde*:
 - de *antwoordbladen*
 - daarna de *beschreven bladen* die nagekeken moeten worden en
 - dan de bladen die niet nagekeken hoeven te worden.
 - Ongebruikte bladen en de opgavenStop de bladen in de daarvoor bestemde enveloppe. Laat alles op je tafel achter. Je mag *geen* enkel blad meenemen of welk onderdeel van het experiment dan ook.

Voordat je weggaat: leg alles weer terug in de situatie zoals je die aantrof toen je begon.

DE CONSTATE VAN PLANCK

Planck introduceerde in 1900 de hypothese dat licht in energiequanta $h\nu$ wordt uitgezonden. Einstein breidde het idee uit, door te stellen dat het energiequantum als lichtquantum verder gaat (dat later de naam foton kreeg). Gewoon licht bestaat uit een grote hoeveelheid fotonen bij elk golffront. Ze blijven onopgemerkt in het golffront, net als individuele atomen in gewone materie, maar h - de constante van Planck - onthult hun bestaan. Dit experiment is opgezet om de constante van Planck te bepalen.

Een lichaam kan niet alleen straling uitzenden, maar ook straling absorberen. Een voorwerp dat alle straling absorbeert dat er opvalt wordt een zwarte straler genoemd want het zendt ook alle straling uit. Als we naar de elektromagnetische straling kijken, absorberen zwarte stralers alles, reflecteren niets en zenden alles uit. Echte voorwerpen zijn niet volledig zwart; de verhouding tussen de uitgezonden energie door dat voorwerp en de uitgezonden energie door een zwarte straler bij dezelfde temperatuur, noemen we de emissiecoëfficiënt ε . Deze verhouding is in het algemeen afhankelijk van de golflengte.

Planck ontdekte dat het vermogen per golflengte dat door een voorwerp met absolute temperatuur T in de vorm van elektromagnetische straling met golflengte λ wordt uitgezonden, geschreven kan worden als

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

waarbij c_1 en c_2 constanten zijn.

In dit experiment vragen we je om c_2 experimenteel te bepalen, want c_2 is evenredig met h .

Voor straling met kleine golflengte λ , ver links van het maximum in figuur F-1, is het toegestaan om de waarde -1 in de noemer van vergelijking (1) te verwaarlozen, zodat deze wordt vereenvoudigd tot

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (2)$$

Het principe van de experimentele opzet is getekend in figuur F-2.

- Het stralingslichaam is de wolfram gloeidraad van een gloeilamp A die een breed spectrum van golflengten uitzendt en waarvan de lichtsterkte kan worden gevarieerd.
- In buis B zit een vloeistoffilter dat alleen een smalle band van het zichtbare spectrum rond een golflengte λ_0 (zie figuur F-3) doorlaat. Meer informatie over de eigenschappen van het filter staat op pagina 5.
- Tenslotte valt de uitgezonden straling op een lichtgevoelige weerstand (ook wel LDR genoemd, van Light Dependent Resistor). Enkele eigenschappen van de LDR worden besproken op blz 6.

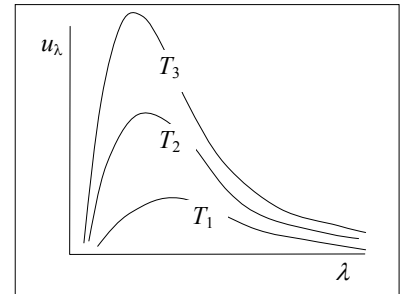
De weerstand R van de LDR hangt af van de verlichtingssterkte E , die evenredig is met het vermogen per golflengte van de gloeidraad

$$\left. \begin{array}{l} E \propto u_{\lambda_0} \\ R \propto E^{-\gamma} \end{array} \right\} \Rightarrow R \propto u_{\lambda_0}^{-\gamma}$$

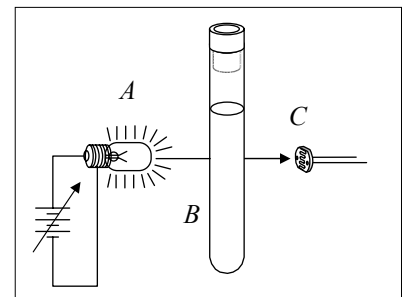
waarbij de dimensieloze parameter γ een eigenschap van de LDR is die tijdens het experiment zal worden bepaald. Door deze opzet verkrijgen we uiteindelijk een relatie tussen de weerstand R van de LDR en de temperatuur T van de gloeidraad

$$R = c_3 e^{c_2\gamma/\lambda_0 T} \quad (3)$$

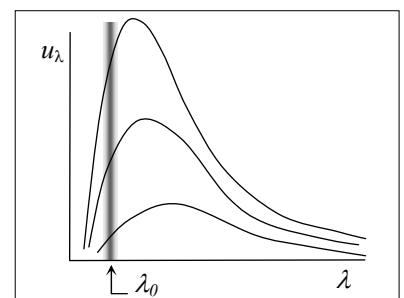
Deze relatie zullen we op pagina 6 zullen gebruiken. In deze vergelijking is c_3 een onbekende evenredigheidsconstante. Door R te meten als functie van T kunnen we c_2 bepalen, het doel van dit experiment.



F-1



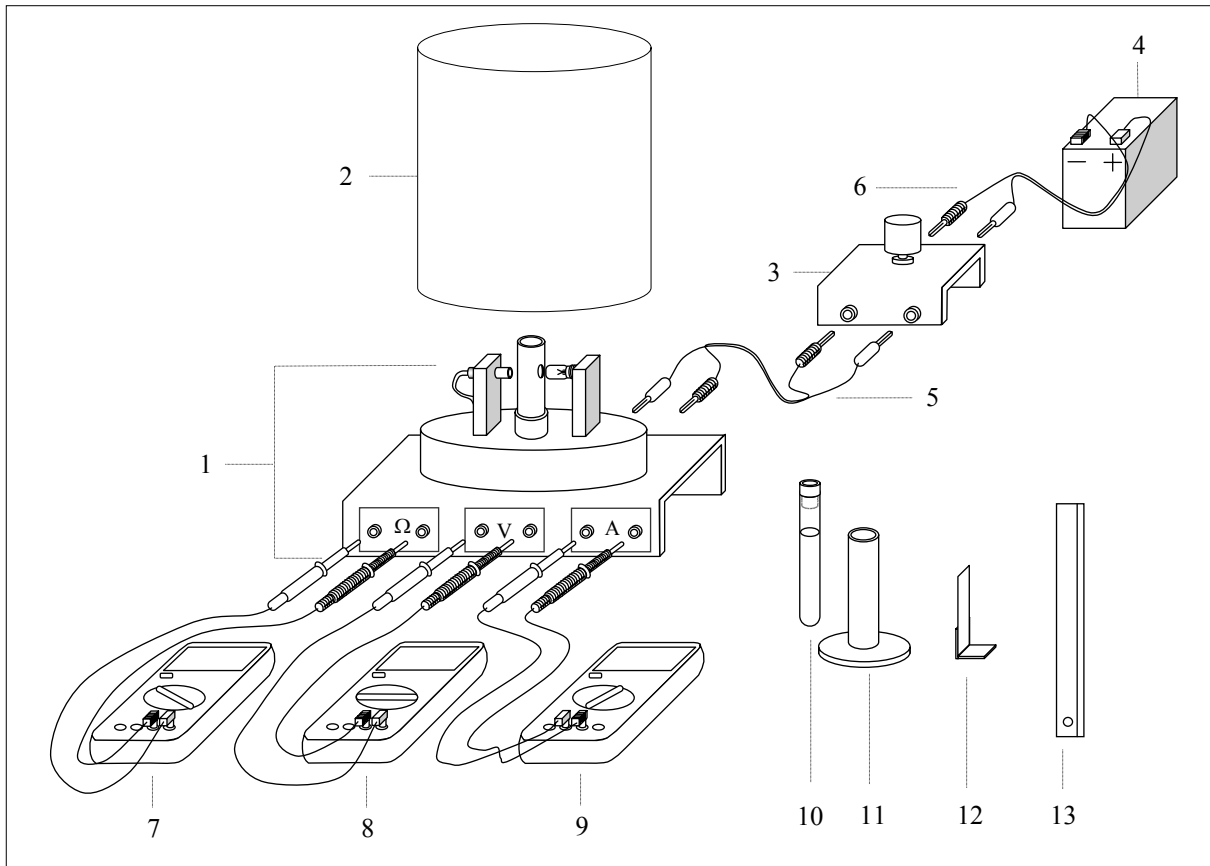
F-2



F-3

BESCHRIJVING VAN DE APPARATUUR

De verschillende onderdelen van de apparatuur worden getoond in figuur F-4, die ook wat indicaties geeft voor de opstelling. Controleer nu of alle onderdelen aanwezig zijn, maar doe nog niets met de onderdelen voor je de instructies op de volgende pagina hebt gelezen.



F-4

APPARATUUR:

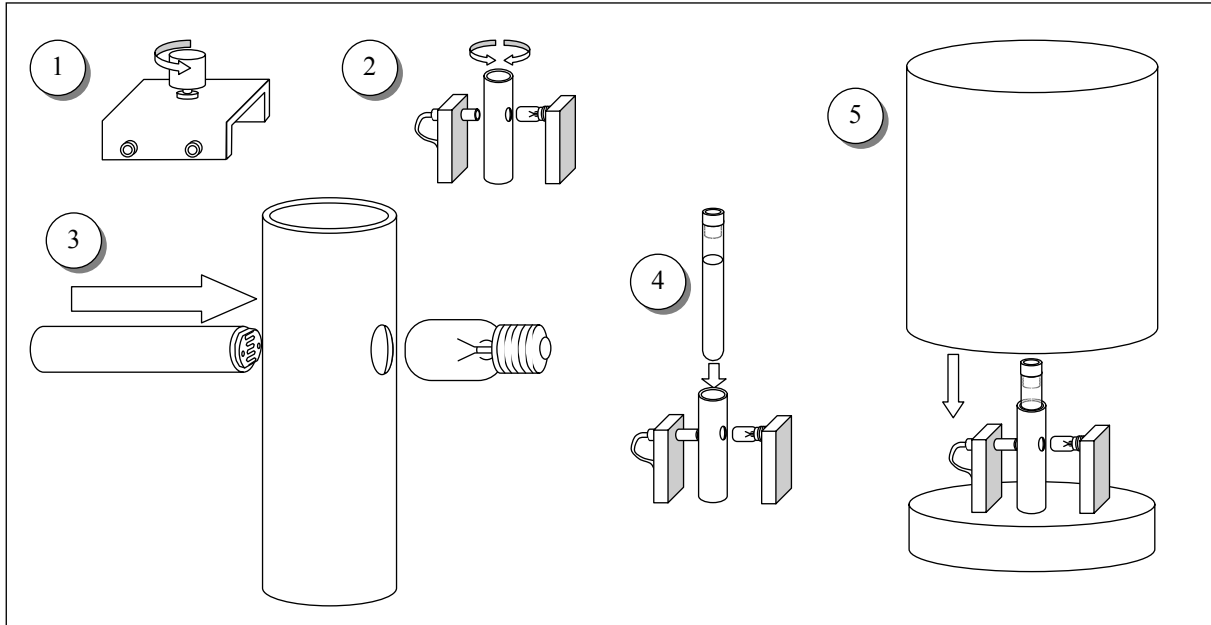
1. Platform. Bovenop zit een schijf met een houder voor de LDR, een houder voor de buis en een houder voor de elektrische lamp (12 V; 0,1 A)
2. Afschermkap
3. 10 slagen potentiometer van $1k\Omega$.
4. 12 V batterij
5. Rode en zwarte snoeren met stekers aan beide kanten om de potentiometer aan het platform te koppelen.
6. Rode en zwarte snoeren met stekers aan één kant en pluggen voor de batterij aan de andere kant.
7. Multimeter, gebruikt als ohmmeter.
8. Multimeter, gebruikt als voltmeter.
9. Multimeter, gebruikt als ampèremeter.
10. Buis met vloeistoffilter.
11. Houder voor de buis.
12. Grijsfilter.
13. Meetlat.

Een korte gebruiksaanwijzing voor de multimeters wordt samen met informatie over het doorwerken van fouten en de kleinste kwadratenmethode op een apart blad gegeven.

HET OPSTELLEN VAN DE APPARATUUR

Volg de instructies:

- Maak de elektrische verbindingen zoals getoond in figuur F-4, echter verbind de snoeren (6) nog niet met de potentiometer.
- Volg de stappen hieronder, met gebruik van figuur F-5:



F-5

1. Draai de knop van de potentiometer tegen de richting van de klok in tot aan het eind.
2. Draai de houder van de buis langzaam tot één gat in de houder voor de lamp staat en het andere gat voor de LDR staat.
3. Schuif de LDR naar de buishouder tot deze het gat lichtjes raakt. Het is aan te bevelen om het oppervlak van de LDR zo te oriënteren zoals in figuur F-5 is aangegeven.
4. Zet de buis in zijn houder.
5. Plaats de afschermkap op het platform, zodat de opstelling geen licht van buiten krijgt. Houd de LDR tenminste 10 minuten in volledig duister voordat je met de metingen van zijn weerstand begint. Dit is een belangrijke stap, omdat weerstandswaarde in duisternis niet onmiddellijk bereikt wordt.

Opdracht 1

Teken op antwoordblad 1 de elektrische bedrading in en tussen de verschillende rechthoeken als de schakeling volledig is aangesloten. Houd rekening met de gegevens zoals in figuur F-4 getekend zijn als je de bedrading tekent.

METING VAN DE TEMPERATUUR VAN DE GLOEIDRAAD

De elektrische weerstand R_B van een geleidende gloeidraad kan geschreven worden als

$$R_B = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

met ρ de soortelijke weerstand van het geleidend materiaal, l de lengte en S de oppervlakte van de doorsnede van de gloeidraad.

Deze weerstand hangt om verschillende redenen van de temperatuur af:

- De soortelijke weerstand van een metaal neemt toe met de temperatuur. Voor wolfram geldt in het temperatuurinterval van 300 K tot 3655 K de volgende experimentele uitdrukking (voor SI-eenheden)

$$T = 3.05 \cdot 10^8 \rho^{0.83} \quad (5)$$

- Door thermische uitzetting verandert de lengte en de doorsnede van de gloeidraad. Deze effecten op de weerstand van de gloeidraad zullen tijdens het experiment te verwaarlozen zijn. Uit (4) en (5) en met verwaarlozing van de uitzetting krijg je

$$T = a R_B^{0.83} \quad (6)$$

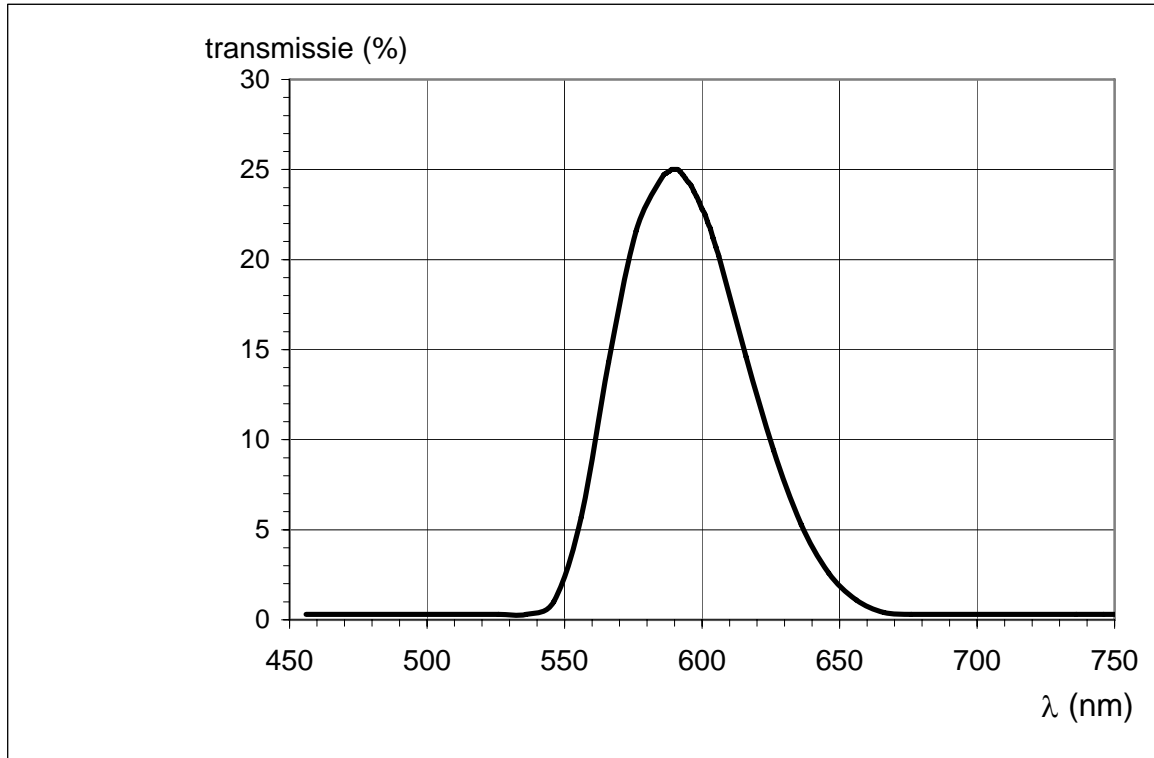
- Om T te kunnen bepalen moet eerst de waarde van a bepaald worden. Dat kan door de weerstand van de gloeidraad $R_{B,0}$ te bepalen bij de omgevingstemperatuur T_0 .

Opdracht 2

- Meet met de multimeter de omgevingstemperatuur T_0 .
- Het is geen goed idee om de ohmmeter te gebruiken om de weerstand $R_{B,0}$ bij T_0 te meten omdat daardoor een kleine onbekende stroom gaat lopen, die de temperatuur van de gloeidraad doet stijgen. Doe, om $R_{B,0}$ te vinden, in plaats daarvan het volgende. Verbind de batterij met de potentiometer en doe een voldoende aantal stroommetingen voor spanningen vanaf de kleinst mogelijke waarde tot aan 1 V. (Het is noodzakelijk om tenminste 15 metingen onder 100 mV te doen). Plaats aan het eind van de metingen de potentiometer in de oorspronkelijke stand en haal één van de verbindingsdraden tussen de batterij en de potentiometer los. Bereken R_B voor elk paar waarden van V en I , zet deze waarden in de tabel voor opdracht 2.b) op het antwoordblad. Geef daar de laagst mogelijke spanning aan die je experimenteel kunt bereiken. Teken een grafiek en zet daar R_B op de verticale as als functie van I .
- Bekijk de grafiek die in b) verkregen is en selecteer een reeks waarden om een lineaire fit te maken die geschikt is om te extrapoleren naar de weerstandswaarde $R_{B,0}$ bij de nulwaarde van de stroomsterkte. Noteer de geselecteerde waarden in de tabel bij opdracht 2, c) op het antwoordblad. Bepaal $R_{B,0}$ en $\Delta R_{B,0}$.
- Bereken de numerieke waarden van a en Δa met $R_{B,0}$ in Ω en T_0 in K in met gebruikmaking van (6).

OPTISCHE EIGENSCHAPPEN VAN HET FILTER

Het vloeistoffilter in de buis is een waterige oplossing van koper (II) sulfaat en Orange (II) aniline kleurstof. Het doel van het zout is alle infraroodstraling te absorberen die door de gloeidraad wordt uitgezonden. De transmissie (doorgelaten intensiteit / oorspronkelijke intensiteit) als functie van de golflengte staat in figuur F-6



F-6

Opdracht 3

De totale breedte op halve hoogte is $2\Delta\lambda$ en λ_0 is de golflengte bij het maximum.

Bepaal λ_0 en $\Delta\lambda$ uit figuur F-6.

EIGENSCHAPPEN VAN DE LDR

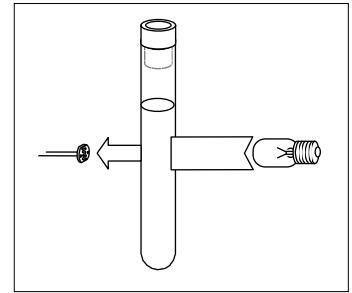
Een LDR heeft als eigenschap dat hij niet geleidend is als er geen licht op valt. Bij belichting van de LDR worden ladingsdragers geactiveerd waardoor deze geleidend wordt. Voor de weerstand van de LDR blijkt de volgende relatie te gelden

$$R = b E^{-\gamma} \quad (7)$$

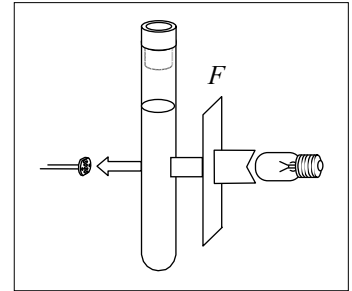
Waarbij:

- b een constante is die afhangt van de samenstelling en de geometrie van de LDR
- γ een dimensieloze parameter is die de verandering van de weerstand als functie van de verlichtingssterkte E van de invallende straling weergeeft. Theoretisch is bij een ideale LDR de waarde $\gamma = 1$, maar om verschillende redenen is in werkelijkheid $\gamma < 1$.

Het is noodzakelijk de waarde van γ experimenteel te bepalen. Dit kan gebeuren door eerst de weerstandswaarde R bij een bepaalde E te bepalen (zie figuur F-7) en door daarna tussen de lamp en de buis het grijsfilter F (zie figuur F-8) te plaatsen en zo een nieuwe weerstandswaarde R' te bepalen.



F-7



F-8

De transmissiewaarde van dit filter is gelijk aan 51,2 % (waarvan de fout wordt verwaarloosd), dus de verlichtingssterkte $E' = 0,512 E$.

Na bepaling van de weerstand R' horende bij deze verlichtingssterkte E' krijgen we:

$$R = b E^{-\gamma} \quad \text{en} \quad R' = b (0,512 E)^{-\gamma}$$

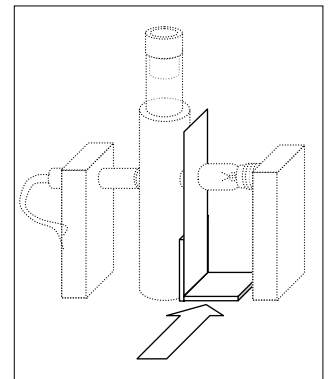
Hieruit vinden we

$$\ln \frac{R}{R'} = \gamma \ln 0,512 \quad (8)$$

Voer deze procedure echter niet uit voordat je bij het onderdeel b) van opdracht 4 bent aangekomen.

Opdracht 4

- Zorg ervoor dat de LDR voor de aanvang van de metingen minstens 10 minuten in volledige duisternis is gehouden. Verbind de batterij met de potentiometer en laat de spanning van lamp langzaam toenemen door aan de knop te draaien. Bepaal van het lampje I als functie van V binnen het interval van 9,50 V tot 11,50 V en lees telkens de bijbehorende weerstandswaarde R van de LDR af. (Het is noodzakelijk om minstens 12 metingen te doen). Noteer alle resultaten in een tabel op je antwoordblad. Om rekening te houden met de traagheid van de LDR, gebruiken we de volgende werkwijze: vanaf het punt dat de spanning $V > 9,5$ V, wacht je ongeveer 10 minuten voordat je de eerste meting doet. Wacht dan 5 minuten voor de tweede meting, en zo verder. Doe aansluitend eerst onderdeel b) voordat je je metingen verder gaat verwerken.
- Als je de kleinste waarde van de weerstand R van de LDR bereikt hebt, neem dan de beschermkap weg, plaats de grijsfilter op de positie zoals getoond in figuur F-9 en plaats zo vlug mogelijk de beschermkap terug. Bepaal de nieuwe weerstandswaarde R' van de LDR. Gebruik deze resultaten om met behulp van vergelijking (8) γ en $\Delta\gamma$ te berekenen.
- Pas formule (3) aan om een lineair verband tussen $\ln R$ en $R_B^{-0,83}$ op te stellen. Noteer deze formule als (9).
- Gebruik de resultaten gevonden in a) om een tabel in te vullen waarmee een grafiek van (9) gemaakt kan worden.
- Teken de grafiek en bereken, met behulp van $c_2 = hc/k$, h en Δh met om het even welke methode (je mag de statistische functies van de rekenmachine gebruiken).



F-9

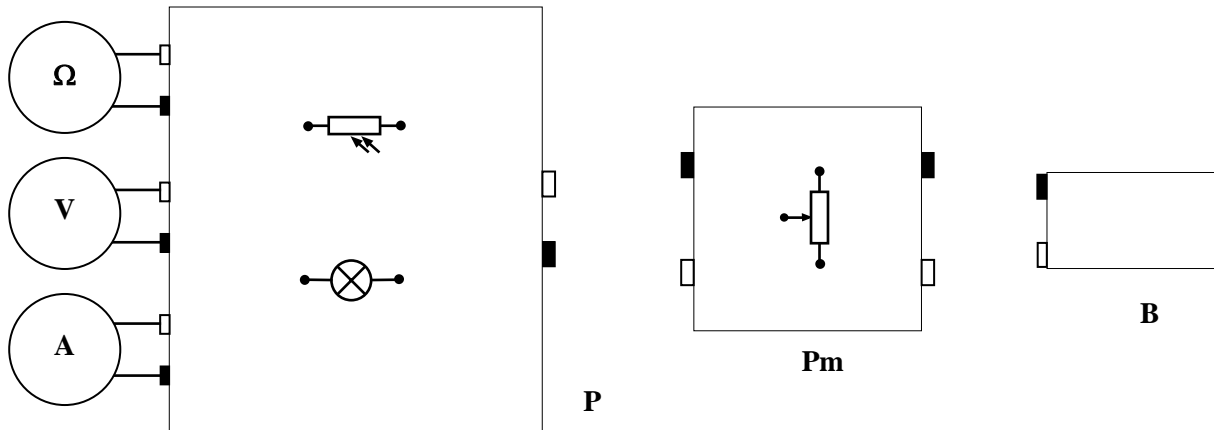
(De lichtsnelheid $c = 2,998 \cdot 10^8$ m s⁻¹; Boltzmann-constante $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J K⁻¹)

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwoordblad 1

OPDRACHT 1 (2.0 pt)

Teken de elektrische verbindingen in de rechthoeken en tussen de rechthoeken onderling.



Lichtgevoelige weerstand	
Gloeilamp	
Potentiometer	
Rode stekerbus	
Zwarte stekerbus	

Ω	Ohmmeter
V	Voltmeter
A	Ampèremeter
P	Platform
Pm	Potentiometer
B	Batterij

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwoordblad 2

OPDRACHT 2

a) (1.0 pt)

$t_0 =$	$^{\circ}\text{C}$	$T_0 =$	$\Delta T_0 =$
---------	--------------------	---------	----------------

b) (2.0 pt)

V	I	R_B

$V_{min} =$	*
-------------	---

* Dit is karakteristiek voor jouw apparatuur. Dit is de laagst mogelijke waarde.

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwoordblad 3

OPDRACHT 2

c) (2.5 pt)

V	I	R_B

$R_{B,0} =$	$\Delta R_{B,0} =$
-------------	--------------------

d) (1.0 pt)

$a =$	$\Delta a =$
-------	--------------

OPDRACHT 3 (1.0 pt)

$\lambda_0 =$	$\Delta \lambda =$
---------------	--------------------

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwoordblad 4

OPDRACHT 4

a) (2.0 pt)

V	I	R

b) (1.5 pt)

$R =$	$\gamma =$
$R' =$	$\Delta\gamma =$

c) (1.0 pt)

Vergelijking. (9)

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwoordblad 5

OPDRACHT 4

d) (3.0 pt)

V	I		R	

e) (3.0 pt)

$h =$	$\Delta h =$
-------	--------------

HANDLEIDING DIGITALE MULTIMETER (SAMENVATTING)

Meting van DC(gelijk) spanning

Verbind de zwarte verbindingsdraad (-) met de **COM** ingang en de rode draad (+) met de **V/Ω** ingang. Plaats keuzeschakelaar op het gewenste V-bereik en maak de nodige verbindingen.

Meting van DC(gelijk) stroomsterkte

Verbind de zwarte verbindingsdraad (-) met de **COM** ingang en de rode draad (+) met de **A** ingang. Plaats de keuzeschakelaar op het gewenste A-bereik en maak de nodige (IN SERIE) verbindingen. Voor stroomsterkten **hoger dan 200 mA**, gebruik de 20 A (rood) en COM (zwart) ingangen.

Meting van de weerstand

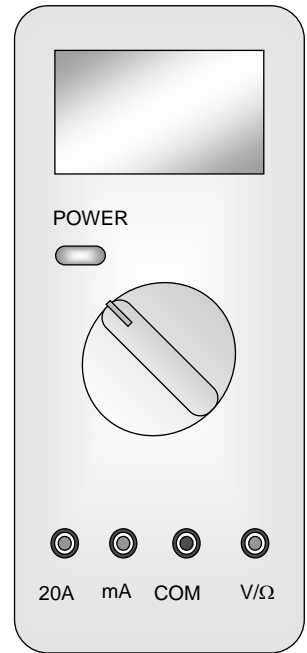
Verbind de zwarte draad met de **COM** ingang en de rode draad met met de **V/Ω** ingang. Plaats de keuzeschakelaar op het gewenste Ω-bereik.

Meting van de temperatuur

Plaats de keuzeschakelaar op het **K TEMP °C** bereik. Het is niet nodig om de uitwendige sensor (thermokoppel) te gebruiken.

Meetnauwkeurigheid van de multimeter

Houd er altijd rekening mee dat de meetnauwkeurigheid beperkt wordt tot de kleinste digitale eenheid (afhankelijk van het gekozen meetbereik)



Regels voor de foutendiscussie

Stel dat x en y de meetwaarden zijn van de onafhankelijke grootheden die gemeten zijn met een nauwkeurigheid Δx en Δy . Verder is a een willekeurig constant getal en is z een grootheid die van x en y afhangt. De nauwkeurigheid Δz in de waarde van z kan in enkele hieronder gegeven gevallen verkregen worden door:

RELATIE	NAUWKEURIGHEID	RELATIE	NAUWKEURIGHEID
$z = xy$ en $z = \frac{x}{y}$	$\Delta z = z \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$ of $\Delta z = z \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}\right)$	$z = xy^a$	$\Delta z = z \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(a \frac{\Delta y}{y}\right)^2}$ of $\Delta z = z \left(\frac{\Delta x}{x} + a \frac{\Delta y}{y}\right)$
$z = x^a$	$\Delta z = za \frac{\Delta x}{x}$	$z = \ln x$	$\Delta z = \frac{\Delta x}{x}$

Bepaling van de rechte lijn met behulp van de kleinste kwadraten methode

Stel dat geldt $y = mx + b$, dan wordt de kleinste kwadraten regressie gegeven door:

$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$	$b = \frac{\sum x \sum xy - \sum y \sum x^2}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$
$\Delta m = \sqrt{\frac{n \sigma^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$	$\Delta b = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum x^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$

σ kan worden berekend met $\sigma = \sqrt{\sigma_y^2 + m^2 \sigma_x^2}$, met $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}}$ en $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}}$

waarbij Δx en Δy de statistische nauwkeurigheid van n combinaties van onafhankelijke metingen zijn.