

## Experiment

Donderdag 24 juli 2008

### Lees dit eerst!

1. Voor de practicumtoets is 5 uur beschikbaar.
2. Er zijn twee opdrachten die samen 20 punten waard zijn.
3. Gebruik uitsluitend de door de organisatie ter beschikking gestelde apparatuur en materiaal.
4. De **antwoordbladen** MOETEN gebruikt worden om de antwoorden op in te vullen. Geef numerieke resultaten weer met een verantwoord aantal significante cijfers. **Vergeet ook niet om de eenheid te geven.** Schrijf *zo weinig mogelijk tekst* en gebruik zoveel mogelijk vergelijkingen, getallen, symbolen, grafieken en diagrammen.
5. Zet op de ANTWOORDBLADEN in het hokje bovenaan elke pagina je studentcode.
6. Op de BLANCO BLADEN mag je uiteraard alles schrijven waarvan je denkt dat het belangrijk is voor het oplossen van de opdrachten en dat je wil laten meetellen in de beoordeling.
7. Vul tevens op de BLANCO BLADEN in: Je **Studentcode**, het nummer van de opdracht (**Opdracht Nummer**); het **paginanummer** en het **totaal aantal** blanco bladen dat je hebt gebruikt en dat nagekeken moet worden. Noteer ook aan het begin van elk blad dat je nagekeken wilt hebben het nummer en het onderdeel van de vraag waarmee je bezig bent. Vergeet niet de juiste titel bij de grafieken te zetten.
8. 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.
9. Als je een probleem hebt met de opstelling, vraag dan om hulp door de rode kaart omhoog te steken.
10. Leg aan het eind **per opdracht** alle bladen in de *juiste volgorde*:
  - eerst de **antwoordbladen**,
  - de **grafieken** die nagekeken moeten worden,
  - de **beschreven bladen** die nagekeken moeten worden,
  - dan de grafieken en bladen die niet nagekeken hoeven te worden.
11. Stop de bladen per opdracht in de daarvoor bestemde envelop: opdracht 1 in de envelop M6A en opdracht 2 in envelop M6B. Stop ze samen met de opgaven en de gebruikte bladen in de envelop M5 en laat alles op je tafel achter.
  12. ***Je mag geen apparatuur of bladen meenemen, behalve de pennen.***

## DIFFERENTIËLE THERMOMETRIE

In deze toets gebruiken we de zogenaamde differentiële thermometrie om de volgende twee opdrachten uit te voeren:

1. het bepalen van het stolpunt van een kristallijne stof,
2. het bepalen van het rendement van een zonnecel.

### A. Differentiële thermometrie

In dit experiment worden diodes die in de doorlaatrichting geschakeld zijn, gebruikt als temperatuursensor. Als de stroomsterkte door een diode constant is, hangt de spanning die over de diode staat af van de temperatuur volgens de volgende relatie:

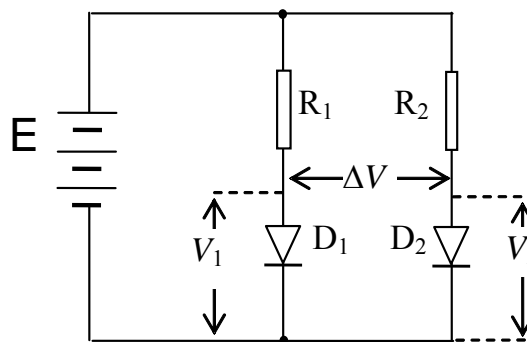
$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

waarin  $V(T)$  en  $V(T_0)$  de spanningen over de diode zijn bij respectievelijk temperatuur  $T$  en kamertemperatuur  $T_0$  (gemeten in  $^{\circ}\text{C}$ ), met de factor

$$\alpha = 2.00 \pm 0.03 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

De waarde van  $V(T_0)$  kan voor elke diode iets verschillen.

Als twee van zulke diodes een verschillende temperatuur hebben, dan kan het verschil in temperatuur gemeten worden aan de hand van het verschil in spanning over de diodes. Het verschil tussen de twee spanningen wordt de *differentiële spanning* genoemd, die met grote nauwkeurigheid bepaald kan worden. Daarom kan ook het verschil in temperatuur met grote nauwkeurigheid bepaald worden. Deze methode wordt *differentiële thermometrie* genoemd. Het elektrisch schema is in figuur 1 weergegeven. De diodes  $D_1$  en  $D_2$  staan in de doorlaatrichting geschakeld met een 9V batterij, via de  $10 \text{ k}\Omega$  weerstanden,  $R_1$  en  $R_2$ . Hierdoor blijft de stroomsterkte door de diodes constant.



**Fig. 1.** Elektrisch schema van de diodes.

Als de temperatuur van diode  $D_1$  gelijk is aan  $T_1$  is en die van  $D_2$  is  $T_2$ , dan volgt uit (1):

$$V_1(T_1) = V_1(T_0) - \alpha(T_1 - T_0)$$

en

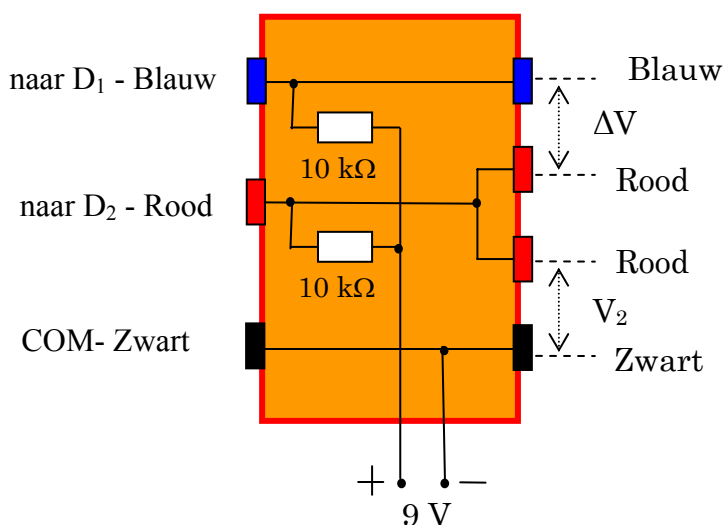
$$V_2(T_2) = V_2(T_0) - \alpha(T_2 - T_0)$$

Zodat de differentiële spanning wordt:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_2(T_2) - V_1(T_1) = V_2(T_0) - V_1(T_0) - \alpha(T_2 - T_1) = \Delta V(T_0) - \alpha(T_2 - T_1) \\ \Delta V &= \Delta V(T_0) - \alpha\Delta T \end{aligned} \quad (3)$$

waarin  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Uit de meting van de differentiële spanning  $\Delta V$ , kan men het temperatuurverschil bepalen.

Voor het aansluiten van de diodes gebruiken we de in figuur 2 weergegeven schakeldoos.



**Figuur 2.** Schema van de doos  
(bovenaanzicht)

De doos bevat een elektrische schakeling bestaande uit de twee weerstanden van 10 kΩ, elektrische bedrading naar de 9 V batterij, ingangen om de diodes D<sub>1</sub> en D<sub>2</sub> op aan te sluiten en ingangen voor het aansluiten van de multimeters waarmee de spanning  $V_2$  over diode D<sub>2</sub> en de differentiële spanning  $\Delta V$  over de diodes D<sub>1</sub> en D<sub>2</sub> gemeten kunnen worden.

## B. Opdracht 1: Het bepalen van het stolpunt van een kristallijne stof.

### 1. Doel van het experiment

Als een kristallijne stof zodanig wordt verwarmd dat deze helemaal gesmolten is en men laat deze vervolgens afkoelen, dan zal de stof bij een bepaalde temperatuur  $T_s$ , het zogenaamde *stolpunt*, ook wel het *smeltpunt* genoemd, stollen. De standaardmethode om  $T_s$  te bepalen houdt in dat men tijdens het afkoelen de temperatuur als functie van de tijd meet. Tijdens het stollen komt er warmte vrij zodat tijdens deze faseovergang de temperatuur constant blijft. Als de hoeveelheid te stollen materiaal groot genoeg is, zal het tijdsinterval waarin de temperatuur constant blijft lang genoeg zijn om het stolpunt te bepalen. Is daarentegen de hoeveelheid materiaal klein, dan zal het tijdsinterval te kort zijn om waar genomen te worden en is het bepalen van het stolpunt  $T_s$  erg moeilijk.

Om van kleine hoeveelheden materiaal toch het stolpunt  $T_s$  te kunnen bepalen gebruiken we *differentiële thermometrie*, dat in principe als volgt gaat. We gebruiken twee identieke schaaltes waarvan het ene – het meetschaaltje - een klein beetje materiaal bevat en waarvan het andere leeg is en referentieschaaltje genoemd wordt. Beide schaaltes worden geplaatst op een en dezelfde warmtebron waarvan de temperatuur slechts langzaam in de tijd verandert. De warmtestroom mag voor beide schaaltes gelijk

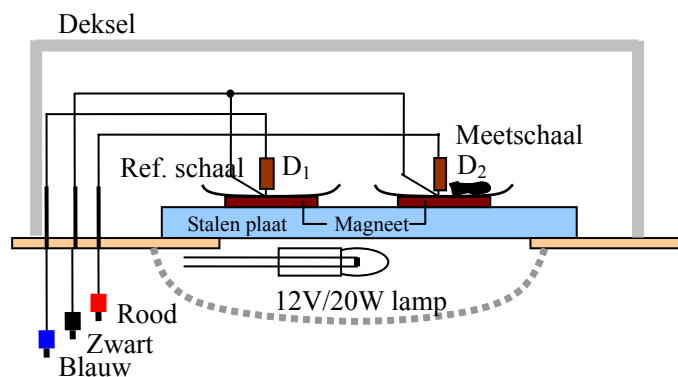
verondersteld worden. Elk schaalkje bevat een diode als temperatuursensor. Zolang het materiaal niet van fase verandert, veranderen de temperaturen  $T_{\text{samp}}$  van het monster in het meetschaaltje en die van het referentieschaaltje  $T_{\text{ref}}$  nagenoeg op dezelfde manier als functie van de tijd en dus zal het temperatuurverschil  $\Delta T = T_{\text{ref}} - T_{\text{samp}}$  slechts langzaam veranderen als functie van  $T_{\text{samp}}$ .

Tijdens de faseovergang verandert de temperatuur  $T_{\text{samp}}$  niet en is gelijk aan  $T_s$ , terwijl de temperatuur  $T_{\text{ref}}$  wel verandert, waardoor  $\Delta T$  nu snel verandert. De grafiek van  $\Delta T$  als functie van  $T_{\text{samp}}$  laat dan een abrupte verandering zien. De waarde van  $T_{\text{samp}}$  bij de abrupte verandering van  $\Delta T$  is nu gelijk aan de waarde  $T_s$ .

Het doel van dit experiment is om het stolpunt  $T_s$  van een zuivere kristallijne stof te bepalen binnen het temperatuurinterval van  $50^\circ\text{C}$  tot  $70^\circ\text{C}$  met behulp van de standaardmethode en met behulp van differentiële thermometrie. De hoeveelheid materiaal in dit experiment is ongeveer 20 mg.

## 2. Apparatuur en materiaal

1. De warmtebron is een 20 W halogeen lamp.
2. De schaaljtjeshouder bestaat uit een bakelieten plaat met een vierkant gat erin, waarop een stalen plaat is vastgemaakt. Twee kleine magneten zijn op de stalen plaat geplaatst.
3. In beide stalen schaaljtjes is een silicium diode gesoldeerd. Eén schaaljtje wordt gebruikt als referentie – het andere als het schaaljtje voor het monster.



**Figuur 3.** Apparatuur voor de bepaling van het stolpunt

Elk schaaljtje wordt op een magneet geplaatst. De kracht van de magneet zorgt voor een goed contact tussen schaal, magneet en stalen plaat. De magneten zorgen voor een warmtestroom tussen de stalen plaat en de schaaljtjes.

Een grijze plastic doos wordt gebruikt als deksel om de schaaljtjes te isoleren.

Figuur 3 toont hoe de schaaltes en de magneten op de schaalteshouder en de lamp zijn geplaatst.

4. Twee digitale multimeters worden als voltmeter gebruikt. Ze kunnen ook de kamertemperatuur meten door de functieknop op de "°C/°F" functie te zetten. De spanning wordt door de multimeter gegeven met een nauwkeurigheid van  $\pm 2$  in het laatste cijfer.

**Let op:** om te voorkomen dat de multimeter (zie Figuur 9) in de "Auto power off" functie komt, draai je de Functieknop van de OFF positie naar de gewenste functie terwijl je de SELECT knop ingedrukt houdt.

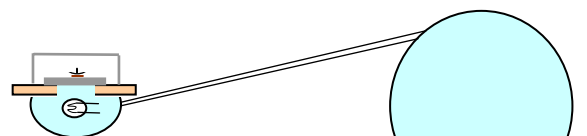
5. Een doos met de elektrische schakeling (Figuur 2).
6. Een 9 V batterij.
7. Snoeren.
8. Een buisje met een monster van ongeveer 20 mg van het te onderzoeken materiaal.
9. Een stopwatch.
10. Een rekenmachine.
11. Grafiekpapier.

### 3. Experiment

1. De magneten zitten op twee vergelijkbare plaatsen op de stalen plaat. De referentieschaal en de lege meetschaal zijn op de magneten gezet zoals is aangegeven in Figuur 4. We gebruiken de linker schaal met diode  $D_1$  als referentie (de referentiediode). De rechter schaal met diode  $D_2$  (de meetdiode) is de schaal waar het monster in moet komen.

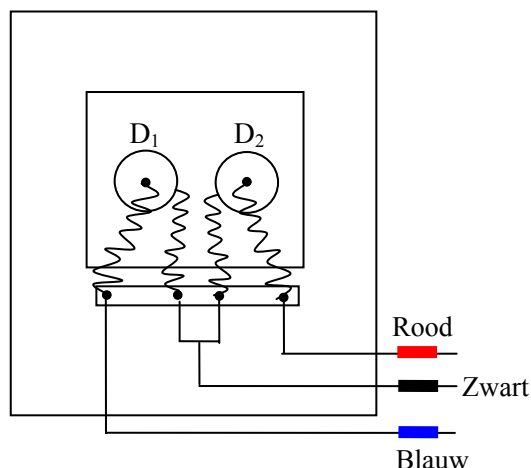
Zet de afschermkap van de lamp zoals aangegeven in Figuur 5.

Zet de lamp niet aan. Zet de schaalhouder op de lamp. Maak alle verbindingen zodat je de spanning  $V_{\text{samp}} = V_2$  van de diode  $D_2$  en de differentieële spanning  $\Delta V$  kunt meten. Om fouten veroorzaakt door de opwarmingstijd van het instrument te elimineren, is het aan te raden dat je het volledige meetcircuit aanzet ongeveer 5 minuten voordat je het experiment zelf start.



**Figuur 5**

Gebruik van de halogeenlamp als warmtebron



**Figuur 4.** De schaaltes op de houder (bovenaanzicht)

1.1. Meet de kamertemperatuur  $T_0$  en de spanning  $V_{\text{samp}}(T_0)$  over de diode  $D_2$  die vastgemaakt is aan het meetschaaltje die de kamertemperatuur  $T_0$  heeft.

1.2. Bereken de spanningen  $V_{\text{samp}}(50^\circ\text{C})$ ,  $V_{\text{samp}}(70^\circ\text{C})$  en  $V_{\text{samp}}(80^\circ\text{C})$  over de meetdiode voor de volgende temperaturen:  $50^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  en  $80^\circ\text{C}$ .

2. Zet de lamp aan; beide schaaltes moeten leeg zijn. Houd  $T_{\text{samp}}$  in de gaten. Zet de lamp uit als de temperatuur van het meetschaaltje  $T_{\text{samp}} \sim 80^\circ\text{C}$  geworden is.

2.1. Wacht tot  $T_{\text{samp}} \sim 70^\circ\text{C}$  geworden is en meet dan  $V_{\text{samp}}$  en  $\Delta V$  als functie van de tijd tijdens het afkoelen. Noteer de waarden van  $V_{\text{samp}}$  en  $\Delta V$  elke 10 s à 20 s in de tabel op het antwoordblad. Als  $\Delta V$  snel verandert kun je het tijdsinterval tussen de metingen kleiner maken. Als de temperatuur van het meetschaaltje gedaald is tot  $T_{\text{samp}} \sim 50^\circ\text{C}$ , stop je de meting.

2.2. Maak de grafiek  $V_{\text{samp}}$  als functie van  $t$  (Grafiek 1). Gebruik het grafiekpapier dat gegeven is.

2.3. Maak de grafiek  $\Delta V$  als functie van  $V_{\text{samp}}$  (Grafiek 2). Gebruik het grafiekpapier dat gegeven is.

**Merk op:** Vergeet niet om beide grafieken van de juiste titel te voorzien.

3. Breng de stof uit het buisje in het meetschaaltje. Herhaal het experiment zoals je het uitvoerde in sectie 2.

3.1. Noteer de waarden van  $V_{\text{samp}}$  en  $\Delta V$  als functie van de tijd  $t$  in de tabel op het antwoordblad.

3.2. Maak de grafiek  $V_{\text{samp}}$  als functie van  $t$  (Grafiek 3). Gebruik het grafiekpapier dat gegeven is.

3.3. Maak de grafiek  $\Delta V$  als functie van  $V_{\text{samp}}$  (Grafiek 4). Gebruik het grafiekpapier dat gegeven is.

**Merk op:** Vergeet niet om beide grafieken van de juiste titel te voorzien.

4. Bepaal het stolpunt van de stof door de grafieken die je maakte in sectie 2. en sectie 3. met elkaar te vergelijken.

4.1. Bepaal  $T_s$  volgens de standaardmethode. Vergelijk daarvoor de grafieken  $V_{\text{samp}}$  als functie van  $t$  uit de secties 3 en 2 (Grafiek 3 en Grafiek 1). Geef in Grafiek 3 het punt aan waar de stof stolt en bepaal de waarde  $V_s$  van  $V_{\text{samp}}$  in dat punt.

Bepaal het stolpunt  $T_s$  van de stof en maak een schatting van de nauwkeurigheid.

4.2. Bepaal  $T_s$  met differentiële thermometrie. Vergelijk daarvoor de grafieken  $\Delta V$  als functie van  $V_{\text{samp}}$  uit de secties 3 en 2 (Grafiek 4 en Grafiek 2). Geef in Grafiek 4

het punt aan waar de stof stolt en bepaal de waarde  $V_s$  van  $V_{\text{samp}}$  in dat punt.

Bepaal het stolpunt  $T_s$  van de stof.

4.3. Bereken de nauwkeurigheid van  $T_s$  die je met differentiële thermometrie verkregen hebt uitgaande van de nauwkeurigheid van de meetgegevens en die van de apparatuur.

Geef aan hoe je de nauwkeurigheid hebt berekend. Noteer ook de waarde van  $T_s$  en de nauwkeurigheid van  $T_s$  op het antwoordblad.

Student code

### Antwoordblad

#### Opdracht 1: Bepaling van het stolpunt van kristallijn materiaal (9,5 pt)

1.

1,25 pt

1.1.	$T_0 = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
	$V_{\text{samp}}(T_0) = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
1.2.	$V_{\text{samp}}(50^\circ\text{C}) = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
	$V_{\text{samp}}(70^\circ\text{C}) = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
	$V_{\text{samp}}(80^\circ\text{C}) = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25







Student code

4.

3,00 pt

4.1.	<p>Markeer het punt dat overeenkomt met <math>V_s</math> op Grafiek 3 (standaardmethode)</p> <p>Waarde van <math>V_s</math> bepaald volgens de standaardmethode met zijn meetnauwkeurigheid:</p> <p><math>V_s = \dots \pm \dots</math></p>	0.25
	<p>Stolpunt:</p> <p><math>T_s = \dots \pm \dots</math></p>	0.75

4.2.	<p>Markeer het punt dat overeenkomt met <math>V_s</math> op Grafiek 4 (differentiële thermometrie).</p> <p>Waarde van <math>V_s</math> bepaald volgens de differentiële thermometrie:</p> <p><math>V_s = \dots \pm \dots</math></p>	0.50
	<p>Stolpunt:</p> <p><math>T_s = \dots</math></p>	0.50

4.3.	<p>Waarde van <math>T_s</math> met berekende meetnauwkeurigheid volgens de differentiële thermometrie</p> <p><math>T_s = \dots \pm \dots</math></p>	0.50
	<p>Noteer de berekening van de meetnauwkeurigheid voor de differentiële thermometrie (gebruik de witruimte op de volgende bladzijde)</p>	0.50



## 39e Internationale Natuurkunde Olympiade - Hanoi - Vietnam

Practicumtoets

Student code

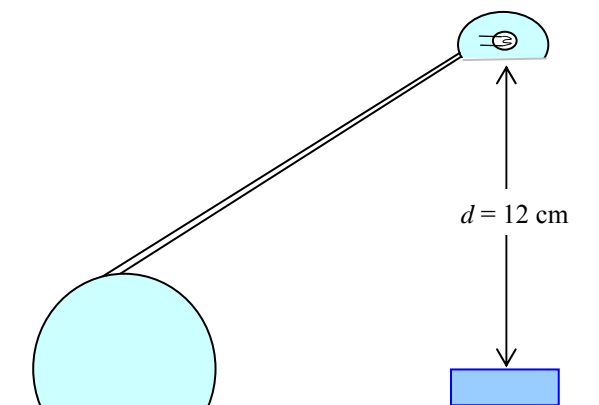
## C. Opdracht 2: Bepaling van het rendement van een zonnecel bij belichting met een gloeilamp.

### 1. Doel van het experiment

Doel van dit experiment is het rendement te bepalen van een zonnecel die belicht wordt met een gloeilamp. Het rendement is de verhouding van het maximale elektrische vermogen dat de zonnecel kan leveren in verhouding tot het totale vermogen van het licht dat de cel ontvangt. Het rendement is afhankelijk van het spectrum van de invallende straling. Hier is deze straling afkomstig van een gloeilamp. Om het rendement van de zonnecel te bepalen, moeten we de *irradiantie*  $E$  in een punt op een verticale afstand  $d$  onder de lamp meten evenals het *maximale vermogen*  $P_{\max}$  van de zonnecel in die positie. In dit experiment is  $d = 12$  cm (Figuur 6). De *irradiantie*  $E$  wordt gedefinieerd als:

$$E = \Phi / S$$

Hierin is  $\Phi$  het stralingsvermogen en  $S$  de oppervlakte van het belichte vlak.

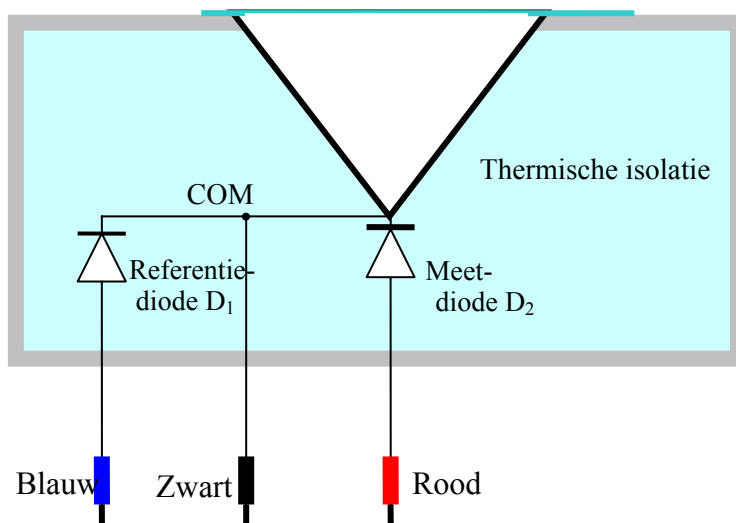


**Figuur 6**

Gebruik van een halogeenlamp als lichtbron

### 2. Apparatuur en materialen

1. De lichtbron is een 20W halogeen lamp.



**Figuur 7.** Schets van de stralingsdetector

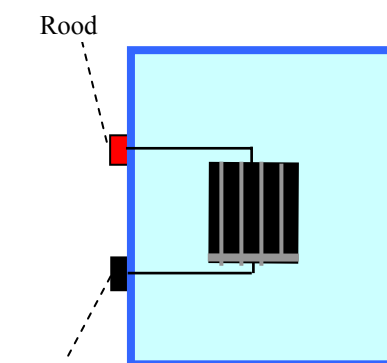
2. De stralingsdetector is een holle koperen kegel waarvan de binnenkant zwart is gemaakt met roet (Figuur 7). De kegel is thermisch niet volledig geïsoleerd van de omgeving. We veronderstellen dat de detector een ideaal zwart lichaam is. Om de

temperatuur te meten gebruiken we diodes. De meetdiode is vastgemaakt aan de stralingsdetector ( $D_2$  in Figuur 1 en Figuur 7) zodat zijn temperatuur gelijk is aan die van de kegel. De referentiediode zit aan de binnenzijde van de doos waarin de detector zit, zijn temperatuur is gelijk aan die van de omgeving. De totale warmtecapaciteit van de detector (kegel en meetdiode) is gelijk aan:

$$C = (0.69 \pm 0.02) \text{ J/K}.$$

De detector is bedekt met een hele dunne film van polyethyleen. De stralingsabsorptie en de reflectie van deze film mogen worden verwaarloosd.

3. Een doos met de elektrische schakeling (Figuur 2).
4. Een zonnecel vastgemaakt op een plastic doos (Figuur 8). Het oppervlak van de cel bevat enkele metalen bevestigingsstrips. Bij de berekening van het rendement wordt verondersteld dat deze strips deel uitmaken van de zonnecel.
5. Twee digitale multimeters. Als deze gebruikt worden om een spanning te meten, is hun inwendige weerstand zeer groot (oneindig groot). Als deze gebruikt worden om een stroom te meten, mag hun inwendige weerstand niet verwaarloosd worden. De spanning wordt door de multimeter gegeven met een nauwkeurigheid van  $\pm 2$  van het laatste cijfer.



**Figuur 8.**  
Zonnecel

Met deze multimeters kan ook de kamertemperatuur gemeten worden.

**Let op:** om te voorkomen dat de multimeter (zie Figuur 9) in de “Auto power off” functie komt, draai je Functieknop van de OFF positie naar de gewenste functie terwijl je de SELECT knop ingedrukt houdt.

6. Een 9 V batterij
7. Een variabele weerstand
8. Een stopwatch
9. Een liniaal met een 1mm verdeling
10. Elektrische snoeren
11. Grafiekpapier

### 3. Experiment

De detector warmt op wanneer deze stralingsenergie ontvangt. Tegelijkertijd verliest de detector op verscheidene manieren warmte, zoals door warmtegeleiding, convectie, straling. De stralingsenergie die in een tijdsinterval  $dt$  door de detector wordt ontvangen is dus gelijk aan de som van de energie nodig voor de temperatuurstijging van de detector en de energie die aan de omgeving wordt afgestaan. In formule is dat:

$$\Phi dt = CdT + dQ, \text{ hierin is } C \text{ de warmtecapaciteit van de detector en de diode, } dT$$

de temperatuurotoename en  $dQ$  het warmteverlies.

Als het temperatuurverschil tussen de detector en de omgeving  $\Delta T = T - T_0$  klein is,

kunnen we aannemen dat de warmteoverdracht  $dQ$  van de detector naar de omgeving in het tijdsinterval  $dt$  in benadering evenredig is met  $\Delta T$  en  $dt$ . Uitgedrukt in een formule:  $dQ = k\Delta T dt$ . Hierin is  $k$  een factor die de dimensie W/K heeft. We krijgen dus de relatie

$$\Phi dt = CdT + k\Delta T dt = Cd(\Delta T) + k\Delta T dt$$

of 
$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C}\Delta T = \frac{\Phi}{C} \quad (4)$$

Als  $k$  constant is, beschrijft de oplossing van deze differentiaalvergelijking de verandering van het temperatuurverschil  $\Delta T$  als functie van de tijd  $t$ , vanaf het moment dat de detector licht begint te ontvangen met een constante irradiantie.

$$\Delta T(t) = \frac{\Phi}{k} \left( 1 - e^{-\frac{k}{C}t} \right) \quad (5)$$

Wanneer de straling wordt uitgezet, verandert bovenstaande differentiaal- vergelijking in

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C}\Delta T = 0 \quad (6)$$

en het temperatuursverschil  $\Delta T$  verandert nu als functie van de tijd volgens onderstaande formule:

$$\Delta T(t) = \Delta T(0) e^{-\frac{k}{C}t} \quad (7)$$

Hierin is  $\Delta T(0)$  het temperatuurverschil op  $t = 0$  (het moment waarop de meting begint).

1. Bepaal de kamertemperatuur  $T_0$ .
2. Ontwerp een elektrisch circuit dat bestaat uit de diode sensors, de doos met de elektrische schakeling en de multimeters om de temperatuur van de detector te meten.

Om fouten die het gevolg zijn van de opwarmingstijd van instrumenten en apparaten te vermijden, wordt nadrukkelijk geadviseerd het gehele meetcircuit 5 (vijf) minuten achtereen ingeschakeld te hebben alvorens met de echte experimenten aan te vangen.

2.1. Plaats de detector onder de lichtbron, op een afstand  $d = 12$  cm van de lamp. Volg gedurende 2 minuten met intervallen van 10 s het gedrag van  $\Delta V$ , terwijl de lamp uit is, en bepaal de waarde van  $\Delta V(T_0)$  in vergelijking (3).

2.2. Zet de lamp aan zodat de detector verlicht wordt. Meet elke 10 à 15 s  $\Delta V$  als functie van de tijd en noteer de waarden in de tabel van het antwoordblad.

**Let op:** de kolomen  $x$  en  $y$  worden pas in sectie 4 gebruikt.

Schakel de lamp na 2 (twee) minuten uit.

2.3. Schuif de detector van onder de lamp weg. Meet elke 10 à 15 s  $\Delta V$  als functie van de tijd gedurende ongeveer 2 (twee) minuten nadat de detector van onder lamp verwijderd is en noteer de waarden in de tabel van het antwoordblad.

**Let op:** de kolommen  $x$  en  $y$  worden pas in sectie 3 gebruikt.

***Aanwijzingen voor de secties 3 en 4:***

*Daar de detector een thermische traagheid heeft, wordt geadviseerd geen data te gebruiken die direct na de verlichting van de detector zijn verkregen of direct nadat de verlichting van de detector was stop gezet.*

**3.** Maak een grafiek met geschikt gekozen variabelen  $x$  en  $y$ , om aan te kunnen tonen dat, nadat de lamp uitgeschakeld is, vergelijking (7) geldt.

3.1. Geef de uitdrukkingen voor de variabelen  $x$  en  $y$ .

3.2. Teken nu de grafiek van  $y$  als functie van  $x$  en noem deze Grafiek 5.

3.3. Bepaal met behulp van deze grafiek de waarde van  $k$ .

**4.** Maak een tweede grafiek met geschikt gekozen variabelen  $x$  en  $y$  nu om aan te tonen dat wanneer de lamp de detector verlicht, vergelijking (5) geldt.

4.1. Geef de uitdrukkingen voor de variabelen  $x$  en  $y$ .

4.2. Teken nu de grafiek van  $y$  als functie van  $x$  en noem deze Grafiek 6.

4.3. Bepaal de irradiantie  $E$  ter plaatse van de opening van de detector.

**5.** Plaats de zonnecel op dezelfde plaats als waar de stralingsdetector stond. Verbind de zonnecel aan een geschikte elektrische schakeling die bestaat uit de multimeters en een variabele weerstand die gebruikt wordt om de belasting van de cel te veranderen. Meet de stroomsterkte  $I$  door de schakeling en de spanning  $V$  over de cel bij verschillende waarden van de weerstand.

5.1. Teken een schema van de schakeling die in het experiment gebruikt wordt.

5.2. Door aan de knop van de variabele weerstand te draaien, verander je de belasting. Meet bij verschillende posities van de knop, de waarden van de stroomsterkte  $I$  en de spanning  $V$ .

5.3. Maak een grafiek van het door de cel aan de weerstand geleverde vermogen van de cel, als functie van de stroomsterkte in de cel. Dit is Grafiek 7.

5.4. Bepaal uit de grafiek de maximumwaarde van het vermogen  $P_{\max}$  van de cel en maak een schatting van de nauwkeurigheid hiervan.

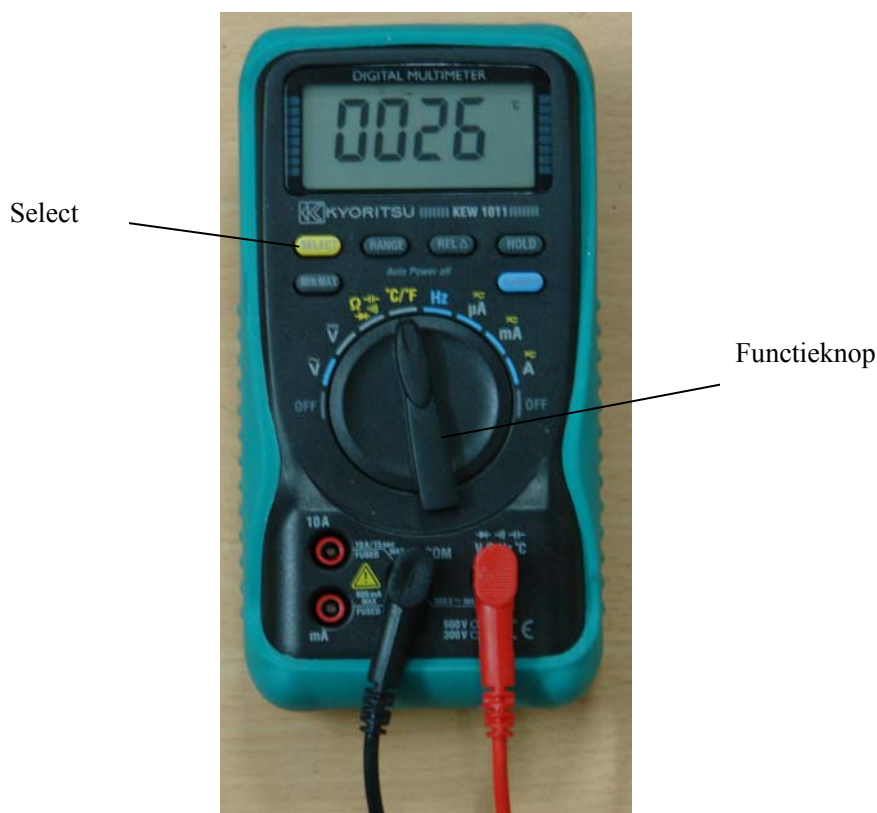
5.5. Geef de uitdrukking voor het rendement van de cel in termen van de gevonden maximumwaarde  $P_{\max}$ . Bereken de waarde van het rendement en de nauwkeurigheid daarvan.



**Componenten in de experimentdoos (zie hiertoe ook Figuur 10)**

1	Halogeen lamp 220 V/ 20 W	9	Stopwatch
2	Schaalhouder	10	Rekenapparaat
3	Schaaltje	11	Stralingsdetector
4	Multimeter	12	Zonnecel
5	Doos met schakeling	13	Variabele weerstand
6	9 V batterij	14	Liniaal
7	Elektrische snoeren	15	Deksel
8	Buisje met de stof waaraan gemeten moet worden		

**Let op:** om te voorkomen dat de multimeter (zie Figuur 9) in de “Auto power off” functie komt, draai je Functieknop van de OFF positie naar de gewenste functie terwijl je de SELECT knop ingedrukt houdt.



**Figuur 9.** Digitale multimeter



Experiment

Student code

**Antwoordblad**

**Opgave 2: Bepaling van het rendement van een zonnecel (10,50 pt)**

**1. 0.25 pt**

1	$T_0 = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
---	---	------

**2. 1,50 pt**

2.1.	Meetgegevens met de lamp uit ( $t$ in seconden, $\Delta V$ in mV)	0.25
------	---	------

$t$	$\Delta V$	$t$	$\Delta V$	$t$	$\Delta V$	$t$	$\Delta V$

$\Delta V(T_0) = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$	0.25
---	------







Experiment

Student code

**4.** **2.50 pt**

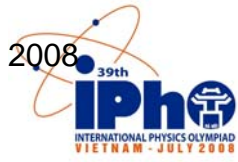
4.1.	$x =$	0.50
	$y =$	

4.2.	Grafiek 6 (op a grafiekpapier)	1.00
	Bewijs met grafiek 6 dat voldaan is aan vergelijking (5)	0.50
4.3.	$E = \dots\dots\dots$	0.50

**5.** **3,75 pt**

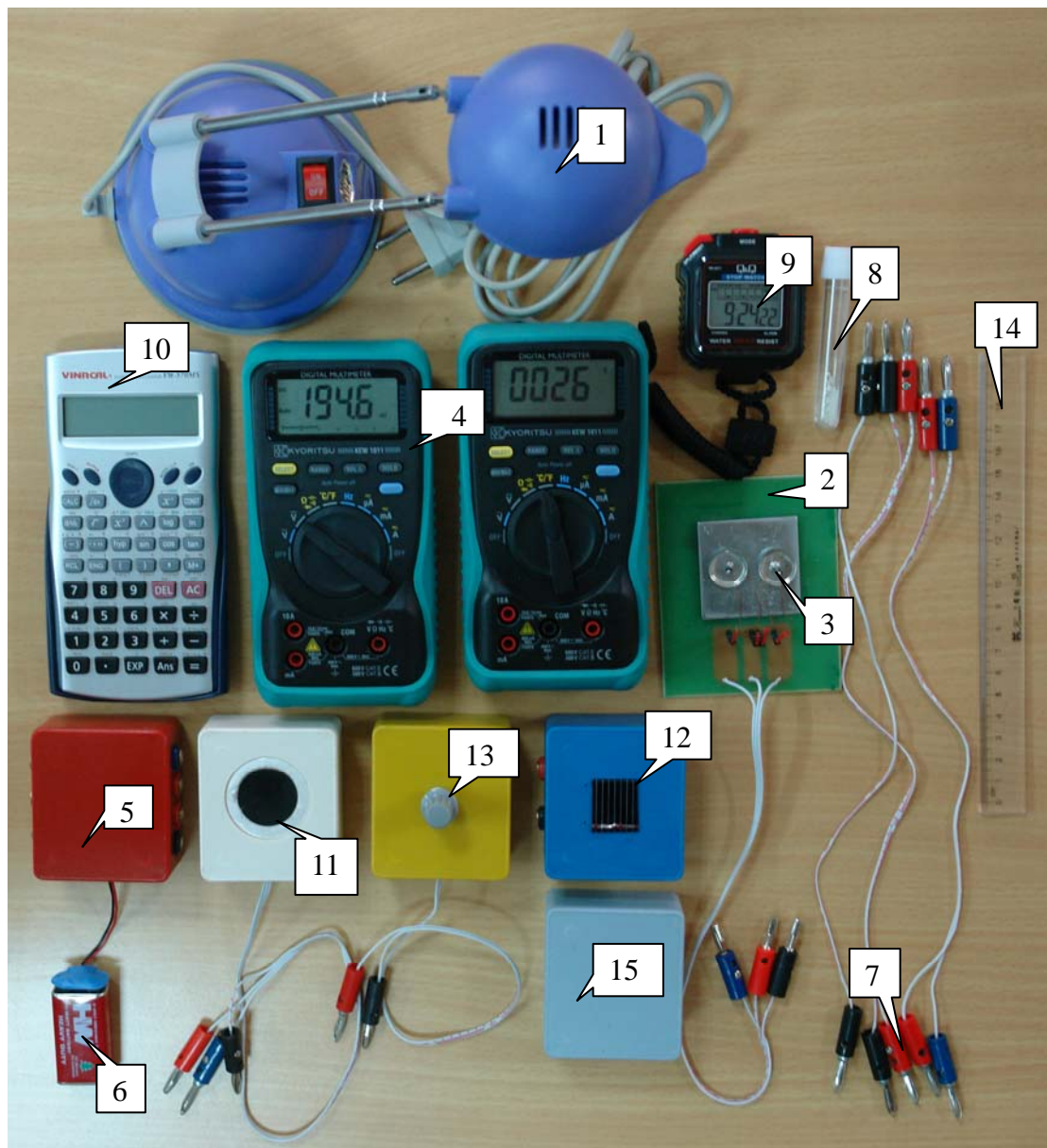
5.1.	Schakelschema van het experiment	0.50
------	----------------------------------	------





Experiment

Student code



**Figuur 10.** Inhoud van de doos met het experiment