

## DIFFERENTIALTERMOMETRISK METOD

I detta problem utnyttjar vi en differentialtermometrisk metod för att lösa följande uppgifter:

1. Bestämma stelningstemperaturen för en kristallin substans.
2. Bestämma verkningsgraden hos en solcell.

### A. Den differentialtermometriska metoden

Vi använder s k framspända kiseldioder som temperaturgivare i detta experiment. Om den elektriska strömmen genom dioden är konstant, så beror spänningsfallet över dioden på temperaturen enligt sambandet:

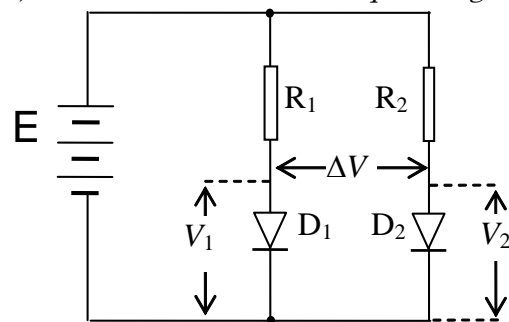
$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

där  $V(T)$  och  $V(T_0)$  är spänningsfallen vid temperaturerna  $T$  respektive  $T_0$  (mätta i  $^{\circ}\text{C}$ ) och faktorn  $\alpha = 2.00 \pm 0.03 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  (2)

Värdet på  $V(T_0)$  kan variera något från diod till diod.

Om två sådana dioder har olika temperaturer kan skillnaden i deras temperaturer mätas genom att man mäter skillnaden i spänningsfall över de två dioderna. Skillnaden i spänningsfall, som kallas *differentialspänningen*, kan mätas med stor noggrannhet.

Detta innebär att temperaturskillnaden också kan mätas med stor noggrannhet. Denna metod kallas den *differentialtermometriska metoden*. Den elektriska krets som används i detta experiment visas i figuren.



Dioderna  $D_1$  och  $D_2$  är framspända av ett 9 V batteri via två  $10 \text{ k}\Omega$  resistorer  $R_1$  och  $R_2$ . Denna krets ser till att strömmen genom de två dioderna är nära konstant.

Om temperaturen på diod  $D_1$  är  $T_1$  och temperaturen på diod  $D_2$  är  $T_2$  har vi enligt (1):

$$V_1(T) = V_1(T_0) - \alpha(T_1 - T_0) \text{ och } V_2(T) = V_2(T_0) - \alpha(T_2 - T_0)$$

Differentialspänningen blir

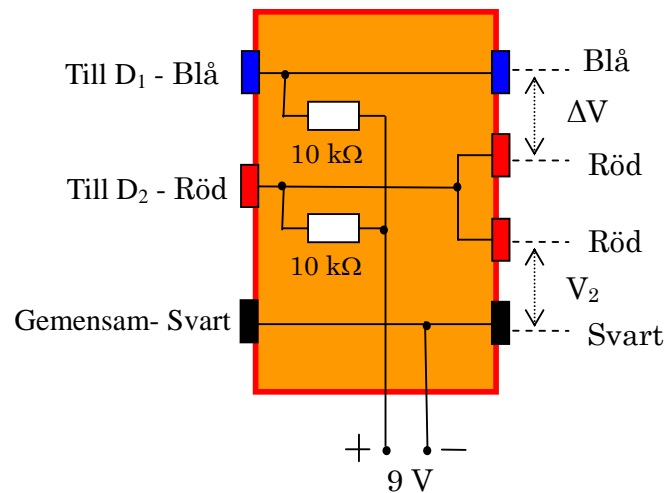
$$\Delta V = V_2(T_2) - V_1(T_1) = V_2(T_0) - V_1(T_0) - \alpha(T_2 - T_1) = \Delta V(T_0) - \alpha(T_2 - T_1)$$

$$\Delta V = \Delta V(T_0) - \alpha \Delta T \quad (3)$$

där  $\Delta T = T_2 - T_0$ .

Genom att mäta differentialspänningen  $\Delta V$  kan vi bestämma temperaturskillnaden.

För att framspänna dioderna använder vi en kopplingslåda enligt diagram i figur 2.



**Figur 2.** Diagram för kopplingslåda  
(uppifrån)

Kopplingslådan innehåller två resistorer vardera på  $10 \text{ k}\Omega$  för respektive diod, kopplingsladdar till  $9 \text{ V}$ -batteriet, anslutningar till dioderna  $D_1$  och  $D_2$  och anslutningar för att ansluta digitala multimetrar för att mäta spänningsfallet  $V_2$  över diod  $D_2$  och differentialspänningen  $\Delta V$  mellan dioderna  $D_1$  och  $D_2$ .

## B. Uppgift 1. Bestämning av stelningstemperaturen för en kristallin substans.

### 1. Syftet med experimentet

Om en kristallin substans värms upp över smältpunkten och sedan avkyls, stelnar den vid en bestämd temperatur  $T_s$ , *stelningstemperaturen*, också benämnd *smältpunkten* för substansen.

Den *traditionella* metoden för att bestämma  $T_s$  är att följa temperaturändringen som funktion av tiden under avkylningen. Eftersom stelningsprocessen, som är en fasövergång, åtföljs av frigörandet av stelningsvärme (stelningsentalpitet), ändras inte temperaturen under stelningsprocessen. Om mängden av substansen är tillräckligt stor är tidsintervallet under vilket temperaturen är konstant ganska långt, och man kan lätt bestämma stelningstemperaturen. Om däremot mängden av substansen är liten, blir detta tidsintervall alltför kort för att man skall kunna observera när stelningsprocessen inträffar, vilket medför att det är svårt att bestämma  $T_s$ .

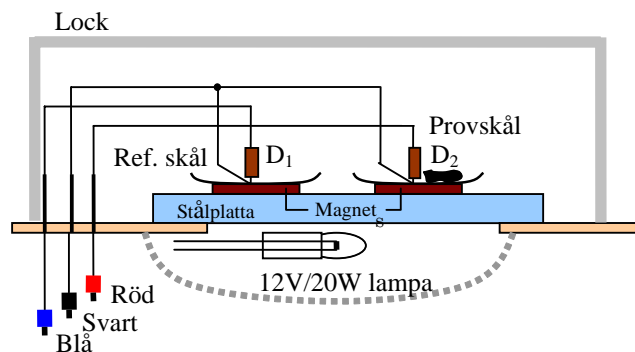
För att bestämma  $T_s$  i fallet att man har en liten mängd av substansen använder vi den *differentialtermometriska metoden* som i princip kan sammanfattas enligt följande.

Vi använder två identiska små skålar, den ena innehållande en liten mängd av den substans vi skall studera: vi kallar den *provskålen*. Den andra skålen är tom och innehåller inget av substansen: vi kallar den *referensskålen*. De två skålarna placeras på en värmekälla vars temperatur varierar långsamt med tiden. Värmeledningen till de två skålarna är nästan detsamma. Var och en av skålarna innehåller en temperaturgivare (en förspänd kiseldiod). Så länge vi inte har någon fasövergång i substansen kommer temperaturen på provskålen,  $T_{\text{prov}}$ , och temperaturen på referensskålen,  $T_{\text{ref}}$ , att variera på nästan samma sätt och sålunda har vi att  $\Delta T = T_{\text{ref}} - T_{\text{prov}}$  varierar långsamt med  $T_{\text{prov}}$ . När vi får en fasövergång i substansen, och under fasövergången, varierar inte  $T_{\text{prov}}$  utan är lika med  $T_s$  medan  $T_{\text{ref}}$  fortsätter att ändras, vilket innebär att  $\Delta T$  varierar snabbt. Grafen  $\Delta T$  mot  $T_{\text{prov}}$  kommer att förändras kraftigt. Värdet på  $T_{\text{prov}}$  vid den kraftiga förändringen av  $\Delta T$  är precis  $T_s$ .

Syftet med detta experiment är att bestämma stelningstemperaturen  $T_s$  av en ren kristallin substans som har  $T_s$  i temperaturintervallet 50 °C till 70 °C. Vi använder då både den traditionella och den differentialtermometriska metoden. Mängden av substansen i experimentet är ungefär 20 mg.

### Apparatur

1. Värmekällan är en 20 W halogenlampa.
2. Skålhållaren är en backelitplatta med ett fyrkantigt hål. En stålskiva sitter i hålet. Två små magneter sitter på stålpattan.
3. Två små stålskålar, var och en med en fastlödd kiseldiod. Den ena av skålarna används som referensskål, den andra som provskål.



**Figur 3.** Apparat för att mäta stelningstemperaturen

Skålarna placeras på var sin magnet. Den magnetiska kraften medför god kontakt mellan skål, magnet och stålskiva. Magneterna förmedlar också ett lagom värmefflöde från stålskivan till skålarna.

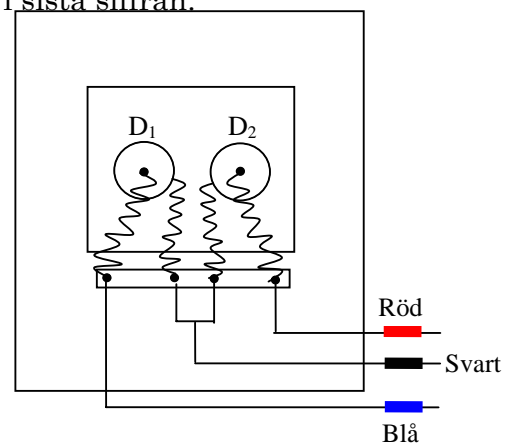
En grå plastlåda används för att skydda skålarna från påverkan utifrån.

Figur 3 visar uppställningen av skålar och magneter på skålhållaren och halogenlampan.

4. Två digitalmultimetrar används som voltmetrar. Man kan också mäta rumstemperaturen genom att vrida funktionsväljaren till läge "C/F". Spänningsvisningen har ett fel på  $\pm 2$  enheter i sista siffran.

**Anm.:** För att förhindra att multimeteren (se figur 9) gör "Auto power off", vrid funktionsväljaren från OFF till lämplig funktion medan SELECT-knappen hålles intryckt.

5. En kopplingslåda enligt figur 2.
6. Ett 9 V batteri.
7. Kopplingsladdar.
8. En liten ampull som innehåller cirka 20 mg av den substans som skall undersökas.
9. Ett stoppur.
10. En miniräknare.
11. Diagrampapper.



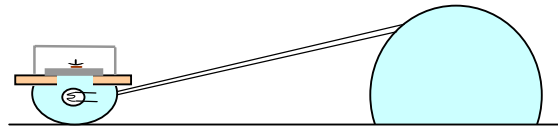
**Figur 4.** Skålarna på skålhållaren (uppifrån)

## 2. Experiment

1. Magneterna placeras på två likvärdiga lägen på stålskivan. Referensskålen och den tomma provskålen placeras på magneterna som visas i figur 4. Vi använder skålen till vänster som referensskål med *referensdioden*  $D_1$  och skålen till höger som provskål med *mättdioden*  $D_2$ .

Placera lampskärmen med öppningen uppåt som visas i figur 5. Sätt inte på lampan än. Lägg skålhållaren på lampan. Koppla upp apparaturen så att du kan mäta dels spänningsfallet över diod  $D_2$ , dvs  $V_{\text{prov}} = V_2$ , dels differentialspänningen  $\Delta V$ .

För att eliminera fel som beror på uppvärmningstiden för instrument och apparater rekommenderas starkt att du låter mätapparaturen vara påslagen i ungefär 5 minuter innan du börjar experimentet.



**Figur 5**

Halogenlampan som värmekälla

1.1. Mät rumstemperaturen  $T_0$  och spänningsfallet  $V_{\text{prov}}(T_0)$  över diod  $D_2$ , fastsatt i provskålen vid rumstemperatur  $T_0$ .

1.2. Beräkna spänningsfallen  $V_{\text{prov}}(50)$ ,  $V_{\text{prov}}(70)$  och  $V_{\text{prov}}(80)$  över mättdioden vid temperaturerna  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $70\text{ }^\circ\text{C}$  och  $80\text{ }^\circ\text{C}$  respektive.

2. Med båda skålarna tomma, slå på lampan. Observera och följ  $V_{\text{prov}}$ . När temperaturen på provskålen är cirka  $80\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{prov}} \approx 80\text{ }^\circ\text{C}$ ) släcker du lampan.

2.1. Vänta tills  $T_{\text{prov}} \approx 70\text{ }^\circ\text{C}$  och följ sedan ändringen i  $V_{\text{prov}}$  och  $\Delta V$  som funktion av tiden medan stålskivan svalnar. Anteckna värdena på  $V_{\text{prov}}$  och  $\Delta V$  var 10:e till 20:e sekund i en tabell. Om  $\Delta V$  varierar snabbt kan tidsintervallen mellan två påföljande mätningar behöva vara ännu kortare. När temperaturen på provskålen har minskat till omkring  $50\text{ }^\circ\text{C}$  avbryts mätningarna.

2.2. Rita ett diagram med  $V_{\text{prov}}$  mot tiden  $t$  (Diagram 1) på utdelat diagrampapper.

2.3. Rita ett diagram med  $\Delta V$  mot  $V_{\text{prov}}$  (Diagram 2) på utdelat diagrampapper.

**Amn.:** Glöm inte i 2.2 och 2.3 att ange korrekt namn på diagrammet.

3. Håll substansen från ampullen i provskålen. Upprepa experimentet precis som i punkt 2.

3.1. Skriv ner mätningarna av  $V_{\text{prov}}$  och  $\Delta V$  mot tiden  $t$  i en tabell.

3.2. Rita ett diagram av  $V_{\text{prov}}$  mot  $t$  (Diagram 3) på utdelat diagrampapper.

3.3. Rita ett diagram av  $\Delta V$  mot  $V_{\text{prov}}$  (Diagram 4) på utdelat diagrampapper.

**Amn.:** Glöm inte i 3.2 och 3.3 att ange korrekt namn på diagrammet.

4. Bestäm stelningstemperaturen för substansen genom att jämföra diagrammen från del 2 och del 3 ovan.

4.1. Använd den traditionella metoden för att bestämma  $T_s$  genom att jämföra diagrammen för  $V_{\text{prov}}$  mot  $t$  i del 2 och 3, d v s diagram 3 och diagram 1. Markera punkten i diagram 3 där substansen stelnar och bestäm värdet  $V_s$  på  $V_{\text{prov}}$  motsvarande denna punkt. Bestäm stelningstemperaturen  $T_s$  för substansen och uppskatta dess fel.

4.2. Använd den differentialtermometriska metoden för att bestämma  $T_s$  genom att jämföra diagrammen för  $\Delta V$  mot  $V_{\text{prov}}$  i del 3 och del 2, d v s diagram 4 och diagram 2. Markera i diagram 4 den punkt där substansen stelnar och bestäm värdet  $V_s$  av  $V_{\text{prov}}$ . Bestäm stelningstemperaturen  $T_s$  för substansen.

4.3. Beräkna, utgående från uppskattade felen i mätdata och instrument, felet i  $T_s$  i den differentialtermometriska metoden. Skriv ner dina felberäkningar och skriv slutligen in värdet på  $T_s$  tillsammans med dess fel på svarsbladet.

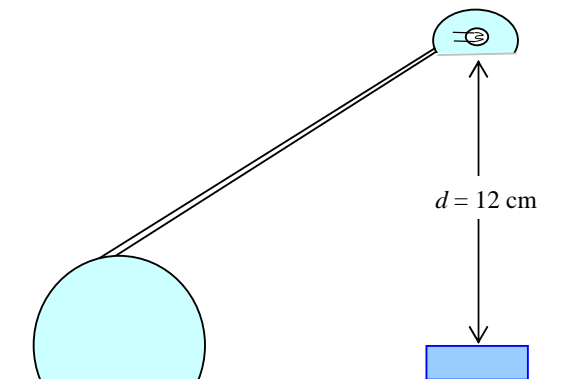
### C. Uppgift 2: Bestämning av verkningsgraden hos en solcell när den belyses med en glödlampa.

#### 1. Syfte med experimentet

Syftet med experimentet är att bestämma *verkningsgraden* hos en solcell när den belyses med en glödlampa.

Verkningsgraden definieras som kvoten mellan den effekt solcellen kan leverera till en yttre förbrukare och den av cellen mottagna strålningseffekten.

Verkningsgraden beror på den infallande strålningens spektrum, som i detta



**Figur 6**  
Halogenlampans  
placering

## Experimentellt problem

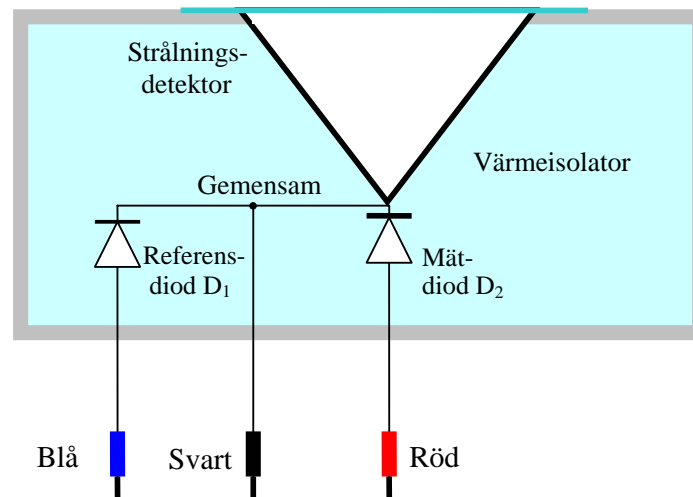
experiment kommer från en glödlampa. För att bestämma verkningsgraden måste du först mäta *irradiansen*  $E$  i en punkt under lampan belägen på ett vertikalt avstånd  $d$  från lampan. Därefter mäter du den maximala effekten  $P_{max}$  från solcellen när den placerats i nämnda punkt. I detta experiment är  $d = 12$  cm (Figur 6). Irradiansen  $E$  definieras som:

$$E = \Phi / S$$

där  $\Phi$  är strålningseffekten och  $S$  är den belysta ytans area.

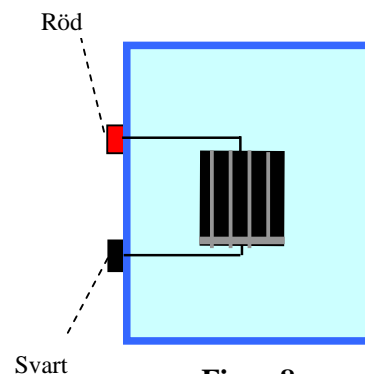
## 2. Apparatur

1. Ljuskälla, en 20W halogenlampa.
2. Strålningsdetektor, som innehåller en ihålig kopparkon, vars inre yta är sotad (Figur 7). Konen är inte helt värmeisolerad från omgivningen. I detta experiment kan detektorn antas vara en svart kropp. Temperaturen mäts med kiseldioder, där den mätande dioden är fixerad vid strålningsdetektorn ( $D_2$  i Figur 1 och Figur 7), så att dess temperatur är lika med konens. Referensdioden är placerad vid strålningsdetektorns innervägg, som antas ha samma temperatur som omgivningen. Totala värmekapaciteten för detektorn (kon och diod) är  $C = (0.69 \pm 0.02) \text{ J/K}$ . Konens överdel skyddas av en polyetenfilm, vars absorption och reflektion av strålningen kan försummas.



**Figur 7.** Diagram över strålningsdetektorn

3. En kopplingslåda enligt figur 2.
4. En solcell fixerad på en plastlåda (Figur 8). Solcellen innehåller också tunna kontakttrådar, vars areor kan antas ingå i solcellens area.
5. Två digitalmultimetrar. När de används för spänningsmätning har de mycket stor inre resistans som kan antas vara oändlig. När man använder dem för att mäta ström, kan man inte försumma deras inre resistans. Spänningsvisningen på multimetern har ett fel på  $\pm 2$  enheter i sista siffran. Multimetrarna kan också mäta rumstemperaturen.
6. Ett 9 V batteri
7. En variabel resistor.
8. Ett stoppur



**Figur 8**  
Solcell

9. En linjal med 1mm -skala
10. Kopplingsladdar.
11. Diagrampapper.

### 3. Experiment

När detektorn tillförs energi vid bestrålning stiger dess temperatur. Samtidigt förlorar den energi på olika sätt, t ex genom ledning, konvektion och strålning. Sålunda är den strålningsenergi som detektorn mottar under tiden  $dt$  lika med summan av den energi som krävs för att värma upp detektorn och den från detektorn till omgivningen avgivna energin:

$$\Phi dt = CdT + dQ$$

där  $C$  är värmekapaciteten för detektorn och dioden,  $dT$  är temperaturökningen och  $dQ$  är energiförlusten.

När temperaturdifferensen mellan detektor och omgivning  $\Delta T = T - T_0$  är liten, kan vi anta att energin som överförs från detektor till omgivning är proportionell mot  $\Delta T$  och  $dt$ , dvs  $dQ = k\Delta T dt$ , där  $k$  har dimensionen W/K. Sålunda

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

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

Lösningen till denna differentialekvation bestämmer variationen i temperaturdifferensen  $\Delta T$  som funktion av tiden  $t$ , från det ögonblick detektorn börjar motta ljus med konstant irradiation, under antagandet att  $t = 0$ ,  $\Delta T = 0$ .

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

När strålningen stängs av blir differentialekvationen

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

och lösningen ger temperaturdifferensen  $\Delta T$  som:

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

där  $\Delta T(0)$  är temperaturdifferensen vid  $t = 0$  (tidpunkten när mätningen startar).

1. Bestäm rumstemperaturen  $T_0$ .
2. Gör en uppkoppling med diodgivaren, kopplingslådan och multimetrarna för att mäta detektorns temperatur.

För att eliminera fel beroende på uppvärmning av utrustningen rekommenderas att slå på strömmen minst 5 minuter innan några mätningar påbörjas.

2.1. Placera detektorn vertikalt under lampan på avståndet  $d = 12$  cm. Lampan ska vara avslagen. Mät  $\Delta V$  var 10:e sekund under ca 2 minuter och bestäm värdet på  $\Delta V(T_0)$  i ekvation (3).

2.2. Slå på strömmen till lampan, så att detektorn belyses. Mät  $\Delta V$  var 10-15:e sekund, skriv ner värdet på  $\Delta V$  i tabellen för detta ändamål bland svarsarken. (Amn. x- och y-kolumnerna i tabellen kommer att användas senare i del 4.) Släck lampan!

2.3. Flytta detektorn från lampan. Följ variationen av  $\Delta V$  i ungefär 2 minuter. Mät var 10-15:e sekund och skriv ner värdet på  $\Delta V$  i tabellen för detta ändamål bland svarsarken. (Amn. x- och y-kolumnerna i tabellen kommer att användas senare i del 3.)

***Tips för avsnittet 3 och 4:***

*Tänk på att apparaturens uppvärmning/avsvalning innebär att mätvärdena inte är stabila förrän efter en viss tid.*

**3.** Rita ett diagram som verifierar ekvation (7).

- 3.1. Redovisa vilka storheter som finns på  $x$ - respektive  $y$ -axeln.
- 3.2. Rita  $y$  som funktion av  $x$  och kalla diagrammet "Diagram 5".
- 3.3. Bestäm medelst diagrammet värdet på  $k$ .

**4.** Rita ett diagram som verifierar ekvation (5).

- 4.1. Redovisa vilka storheter som finns på  $x$ - respektive  $y$ -axeln.
- 4.2. Rita  $y$  som funktion av  $x$  och kalla diagrammet "Diagram 6".
- 4.3. Bestäm irradiansen  $E$  vid detektorns mynning.

**5.** Placera solcellen på den plats där strålningsdetektorns fanns när den belystes. Koppla solcellen till en variabel resistor som används för att reglera strömtaget från solcellen. Koppla sedan in multimetrarna för att kunna mäta spänningen över och strömmen genom solcellen för olika värden på resistansen hos resistorn.

- 5.1. Rita ett schema som visar uppkopplingen.
- 5.2. Mät och redovisa spänningen  $V$  över och strömmen  $I$  genom solcellen för olika inställningar på den variabla resistorn.

5.3. Rita ett diagram över effekten från solcellen, d v s den effekt som överförs till resistorn, som funktion av strömmen genom cellen. Detta är "Diagram 7".

5.4. Bestäm medelst diagrammet maximala effekten  $P_{\max}$  och gör en uppskattning av felet i detta värde.

5.5. Redovisa ett uttryck för solcellens verkningsgrad vid maximal effekt. Beräkna med hjälp av detta dels ett värde på effekten, dels en uppskattning av felet i detta värde.

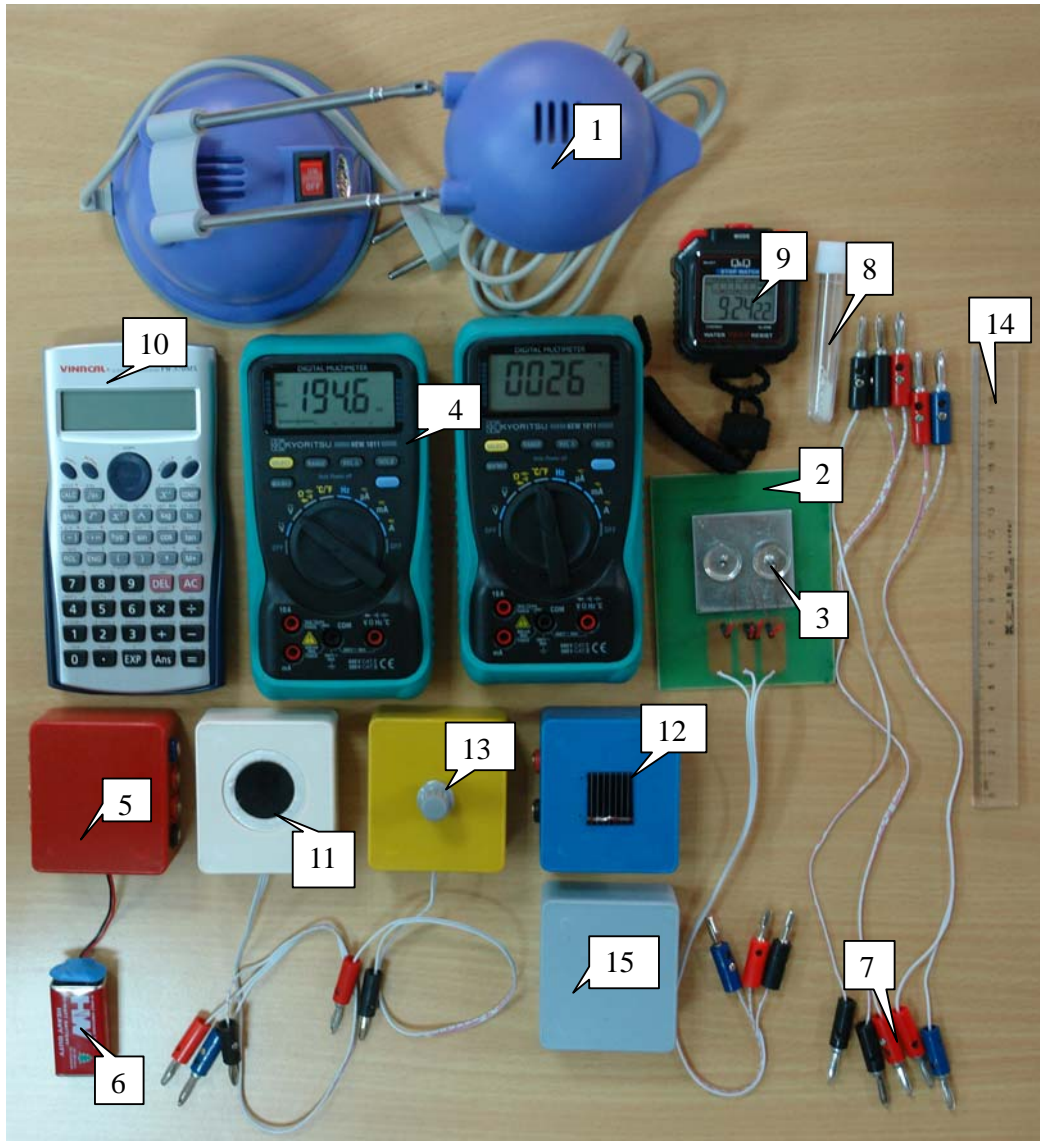
**Innehållet i experimentsatsen (se också figur 10)**

1	Halogenlampa 220 V/ 20 W	9	Stoppur
2	Skålhållare	10	Räknedosa
3	Skål	11	Strålningsdetektor
4	Multimeter	12	Solcell
5	Kopplingslåda	13	Variabel resistor
6	9 V batteri	14	Linjal
7	Kopplingsladdar	15	Låda som används som lock
8	Ampull med substans		

**Anm.:** För att förhindra att multimeteren (se figur 9) gör "Auto power off", vrid funktionsväljaren från OFF till lämplig funktion medan SELECT-knappen hålles intryckt.



**Figur 9.** Digitalmultimeter



Figur 10. Experimentsats