

DIFERENCIÁLNA TERMOMETRICKÁ METÓDA

V tejto úlohe použijeme diferenciálnu termometrickú metódu na riešenie nasledujúcich úloh:

1. Určovanie teploty tuhnutia kryštalickej tuhej látky.
2. Určovanie účinnosti solárneho článku.

A Diferenciálna termometrická metóda

V tomto experimente sa využíva dvojica kremíkových diód napájaných v priepustnom smere ako senzor na meranie teploty. Ak je elektrický prúd diódy konštantný, klesá napätie na dióde s rastúcou teplotou podľa vzťahu

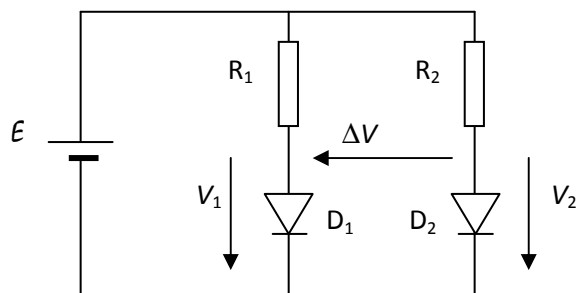
$$V(T) = V(T_0) - \alpha (T - T_0), \quad (1)$$

kde $V(T)$ a $V(T_0)$ sú napätia na dióde pri teplotách T a T_0 (meraných v $^{\circ}\text{C}$) a

$$\alpha = 2,00 \pm 0,03 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}. \quad (2)$$

Hodnota $V(T_0)$ sa môže pre rôzne diódy líšiť.

Ak sú diódy v miestach s rozdielnou teplotou, možno teplotný rozdiel určiť z rozdielu napätí na obidvoch diódach. Rozdiel napätí, ktorý sa nazýva *diferenciálne napätie*, sa dá merať s vysokou presnosťou. Takto možno aj rozdiel teplôt určiť s vysokou presnosťou. To je základom *diferenciálnej termometrickej metódy*. Elektrický obvod, ktorý sa používa pri tomto meraní, je na obr. 1.



Obr. 1. Elektrické zapojenie diód senzora.

Diódy D_1 a D_2 sú zapojené v priepustnom smere a napájané zo zdroja s napätím 9 V cez rezistory R_1 a R_2 s rovnakým odporom $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$. Obvod zabezpečuje konštantný prúd cez obidve diódy.

Ak je T_1 teplota diódy D_1 a T_2 teplota diódy D_2 , dostaneme podľa (1)

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

a

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

Diferenciálne napätie je potom

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

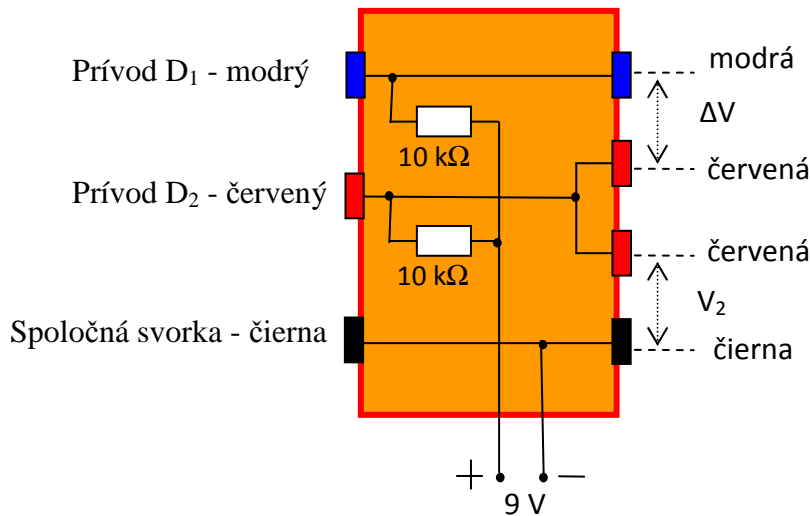
a teda

$$\Delta V = \Delta V(T_0) - \alpha \Delta T,$$

kde $\Delta T = T_2 - T_1$.

Na základe merania diferenciálneho napätia ΔV môžeme určovať rozdiel teplôt ΔT .

Na napájanie diód použijeme škatuľku so schémou zapojenia na obr. 2.



Obr 2. Schéma škatuľky
(pohľad zhora)

V škatuľke je obvod, ktorý obsahuje napájacie rezistory diód s odporom 10 kΩ, elektrické prírody k 9 V batérii, svorky pre pripojenie diód D₁ a D₂ a svorky pre pripojenie digitálneho multimetra na meranie napätia V₂ na dióde D₂ a diferenciálneho napätia ΔV diód D₁ a D₂.

B ÚLOHA 1: Zistenie teploty tuhnutia kryštalickej látky

1. Cieľ experimentu

Ak kryštalickú látku zohrejeme nad bod topenia do tekutého stavu a potom ju ochladíme, bude tuhnúť pri konštantnej teplote T_s , ktorá sa volá *teplota tuhnutia* alebo tiež *bod topenia* danej látky. Klasická metóda spočíva v sledovaní zmeny teploty látky počas jej ochladzovania z kvapalného stavu. Keďže tuhnutie je spojené s uvoľňovaním latentného tepla, teplota látky sa počas zmeny skupenstva nemení. Keď je látky dostatočné množstvo, trvá proces tuhnutia dosť dlhý čas, takže sa dá teplota tuhnutia pohodlne zmerať. Ak je však látky málo, trvá prechod krátky čas a meranie T_s nie je také jednoduché.

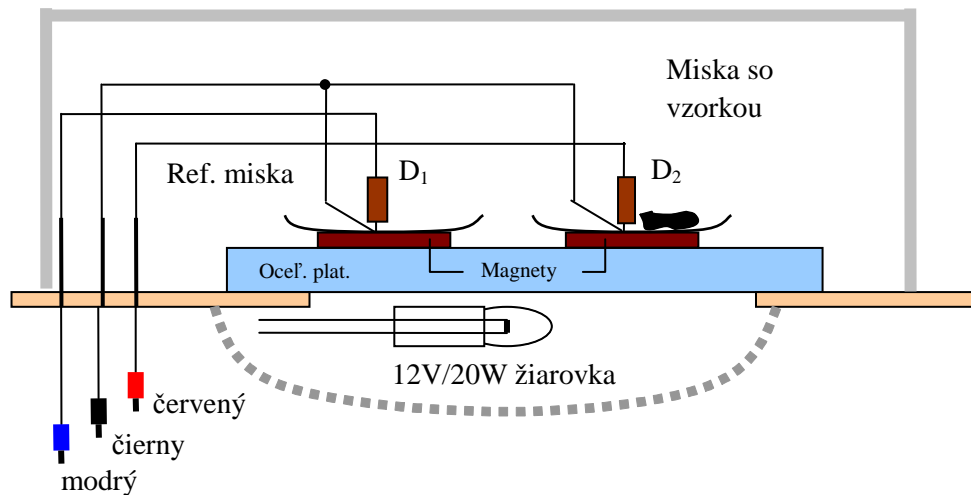
Experimental Problem

Na meranie T_s v prípade malej vzorky látky použijeme *diferenciálnu termometrickú metódu*, ktorej princíp možno opísať nasledovne. Použijeme dve malé rovnaké misky, jednu na vzorku a druhú prázdnu – nazývanú *referenčná*. Obidve misky sa umiestnia na tepelný zdroj a začnú sa pomaly zahrievať. Tepelný tok do oboch misiek je približne rovnaký. Každá miska má teplotný senzor (diódu napájanú v priepustnom smere). Ak nedochádza k skupenskej premene, rastú teploty vzorky T_{samp} a referenčnej misky T_{ref} približne rovnako rýchlo, takže rozdiel teplôt $\Delta T = T_{\text{ref}} - T_{\text{samp}}$ sa mení veľmi pomaly so zmenou T_{samp} . Ak začne prebiehať zmena skupenstva, prestane sa T_{samp} meniť a počas premeny sa udržiava na hodnote T_s . T_{ref} sa naďalej mení približne nezmeneným tempom. Rozdiel ΔT sa tak začne rýchlo meniť. Graf ΔT ako funkcie T_{samp} vykazuje výraznú zmenu správania. Teplota T_{samp} , ktorá zodpovedá tejto zmene správania rozdielu ΔT , je teplota T_s .

Cieľom tohto merania je určenie bodu topenia/tuhnutia T_s čistej kryštalickej látky s hodnotou T_s niekde v intervale od $50\text{ }^\circ\text{C}$ do $70\text{ }^\circ\text{C}$ klasickou metódou a diferenciálnou termometrickou metódou. Hmotnosť použitej vzorky je približne 20 mg.

2. Aparatúra, pomôcky a materiál

1. Tepelný zdroj je halogénová lampa s výkonom 20 W.
2. Držiak na misky je bakelitová platnička so štvorcovým otvorom. Na otvore je pripevnená oceľová platnička. Na oceľovej platničke sú položené dva malé magnety.
3. Malé oceľové misky majú každá prispájkovanú kremíkovú diódu. Jedna sa používa ako referenčná miska, druhá ako miska na vzorku (sample).



Obr. 3. Aparatúra na meranie teploty bodu topenia.

Každá miska je umiestnená na magnete. Magnetické sily zabezpečia dobrý tepelný kontakt medzi oceľovou platničkou a magnetmi a medzi magnetmi a miskami. Magnety tiež udržiavajú primeraný tepelný tok k miskám.

Experimental Problem

Šedý plastický kryt slúži pri meraní na zakrytie misiek pred nežiaducimi vonkajšími vplyvmi počas merania.

Zostava je znázornená na obr. 3.

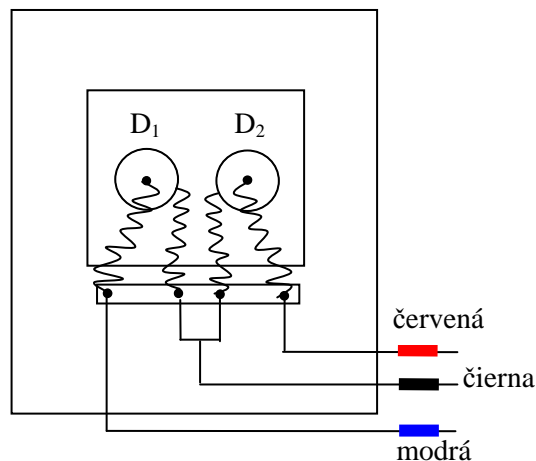
4. Dva digitálne multimetre na meranie napätí. Pomocou nich tiež možno merať izbovú teplotu otočením prepínača funkcie (FUNCTION SELECTOR) do polohy „°C/°F“. Napät'ové rozsahy majú chybu ± 2 poslednej zobrazovanej číslice.

Poznámka: aby ste sa vyhli samočinnému prechodu multimetra do režimu „Auto power off“, otočte prepínač funkcií z polohy OFF do zvolenej polohy tak, že súčasne stlačíte a podržíte tlačidlo SELECT (pozri Obr. 9).

5. Schéma obvodu – obr. 2.
6. Zdroj napätia 9V.
7. Elektrické spojovacie vodiče.
8. Malá nádobka (skúmavka) s obsahom približne 20 mg látky na meranie.
9. Stopky na meranie času.
10. Kalkulačka.
11. Grafický papier.

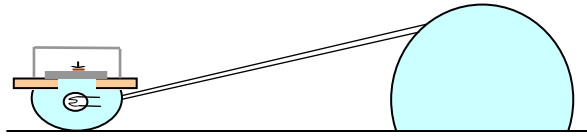
3. Experiment

1. Magnety položte na príslušné miesta na oceľovej platničke. Misky umiestnite na magnety (pozri obr. 4). Misku na ľavej strane s diódou D_1 použijeme ako referenčnú (dióda D_1 sa volá *referenčná dióda*) a misku s diódou D_2 na pravej strane na vzorku (D_2 sa volá *meracia dióda*).



Obr. 4. Misky na držiaku (pohľad zhora)

Halogénovú lampu umiestnite tienidlom dole – aby svietila smerom nahor, obr. 5.



Obr. 5.
Halogénová lampa ako tepelný zdroj.

Lampu nezapínajte. Bakelitový držiak položte na tienidlo lampy. Zapojte škatuľku tak, aby ste merali napätie V_2 na dióde D_2 , ktoré je napätím na miske so vzorkou $V_{\text{samp}} = V_2$, a diferenciálne napätie ΔV .

Aby sa vylúčila chyba spôsobená intervalom zohrievania zariadenia a prístrojov, dôrazne sa odporúča, aby sa zapojený obvod pripojil k zdroju 5 minút pred skutočným začiatkom merania.

- 1.1 Zmerajte teplotu v miestnosti T_0 a napätie $V_{\text{samp}}(T_0)$ pri tejto teplote na dióde D_2 pripevnenej k miske na vzorku.
- 1.2 Vypočítajte napätia $V_{\text{samp}}(50^\circ\text{C})$, $V_{\text{samp}}(70^\circ\text{C})$ a $V_{\text{samp}}(80^\circ\text{C})$ na meracej dióde pri teplotách 50°C , 70°C a 80°C .
2. Pri stále ešte prázdnych miskách zapnite lampu. Sledujte napätie V_{samp} . Keď teplota misky určenej pre vzorku dosiahne teplotu $T_{\text{samp}} \sim 80^\circ\text{C}$, lampu vypnite.
 - 2.1 Počkajte, kým teplota klesne na $T_{\text{samp}} \sim 70^\circ\text{C}$, a potom sledujte zmenu V_{samp} a ΔV počas chladnutia ocelej platničky. Hodnoty V_{samp} a ΔV zaznamenajte približne každých 10 sekúnd a zapíšte do tabuľky. Ak sa ΔV mení príliš rýchlo, treba interval medzi nasledujúcimi meraniami skrátiť. Keď teplota misky na vzorku poklesne na $T_{\text{samp}} \sim 50^\circ\text{C}$, meranie ukončite.
 - 2.2 Zostrojte graf V_{samp} v závislosti od t na grafický papier, ktorý ste dostali – napíšte naň názov **GRAF 1**.
 - 2.3 Zostrojte graf závislosti ΔV od V_{samp} na grafický papier, ktorý ste dostali – napíšte naň názov **GRAF 2**.
3. Vložte vzorku zo skúmavky do misky pre vzorku. Meranie opakujte rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcej časti 2.
 - 3.1 Zapíšte namerané hodnoty V_{samp} a ΔV spolu s časom t do tabuľky.
 - 3.2 Zostrojte graf závislosti V_{samp} od času t na grafický papier, ktorý ste dostali – napíšte naň názov **GRAF 3**.
 - 3.3 Zostrojte graf závislosti ΔV od V_{samp} na grafický papier, ktorý ste dostali – napíšte naň názov **GRAF 4**.

Experimental Problem

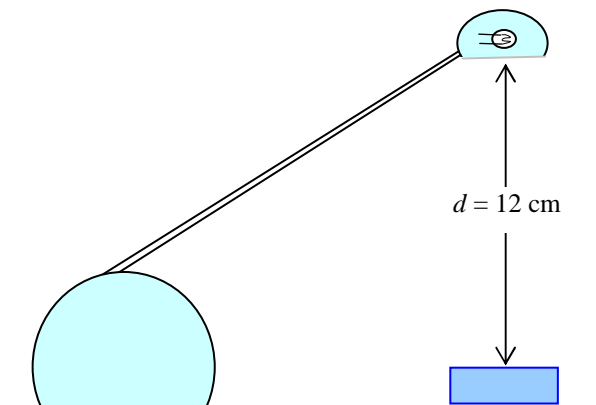
4. Z porovnania grafov z častí 2 a 3 určte teplotu tuhnutia danej látky
- 4.1 Určte T_s klasickou metódou: porovnajte grafy závislosti V_{samp} od času t z častí 2 a 3, tzn. grafy GRAF 1 a GRAF 3, a v grafe - GRAF 3 vyznačte, kde dochádza k tuhnutiu, a určte hodnotu V_s napätia V_{samp} (zodpovedajúcu tomuto bodu).
Určte teplotu tuhnutia T_s vzorky a odhadnite chybu merania.
- 4.2 Určte T_s s použitím diferenciálnej termometrickej metódy: porovnajte grafy závislostí ΔV od V_{samp} v častiach 2 a 3, tzn. grafy GRAF 2 a GRAF 4, v grafe GRAF 4 vyznačte, kde dochádza k tuhnutiu vzorky, a určte hodnotu V_s napätia V_{samp} . Určte teplotu T_s tuhnutia vzorky.
- 4.3 Z chyby nameraných hodnôt a z chyby prístrojov vypočítajte chybu hodnoty T_s určenej diferenciálnou termometrickou metódou. Uveďte výpočet chyby merania a potom zapíšte výsledok T_s spolu s chybou do ZÁZNAMU VÝSLEDKOV.

C ÚLOHA 2: Určenie účinnosti solárneho článku pri osvetlení lampou s žeraveným vláknom

1. Cieľ experimentu

Cieľom experimentu je určiť účinnosť solárneho článku osvetleného lampou s žeraveným vláknom. Účinnosť je definovaná ako pomer elektrického výkonu, ktorý je článok schopný dodávať do vonkajšieho obvodu, a celkového žiarivého výkonu zachyteného plochou článku. Účinnosť závisí od spektra vlnových dĺžok dopadajúceho žiarenia. V našom prípade sa ako zdroj použije halogénová lampá.

Aby sme mohli určiť účinnosť, potrebujeme zmerať hustotu žiarivého toku E v bode zvislo pod lampou vo vzdialenosti d od zdroja a maximálny výkon P_{\max} solárneho článku, keď je umiestnený v tejto polohe. Pri našom meraní je $d = 12$ cm (Obr. 6). Hustota žiarivého toku je definovaná vzťahom $E = \Phi / S$, kde Φ je žiarivý tok (žiarivý výkon) dopadajúci kolmo na danú osvetlenú plochu s obsahom S .

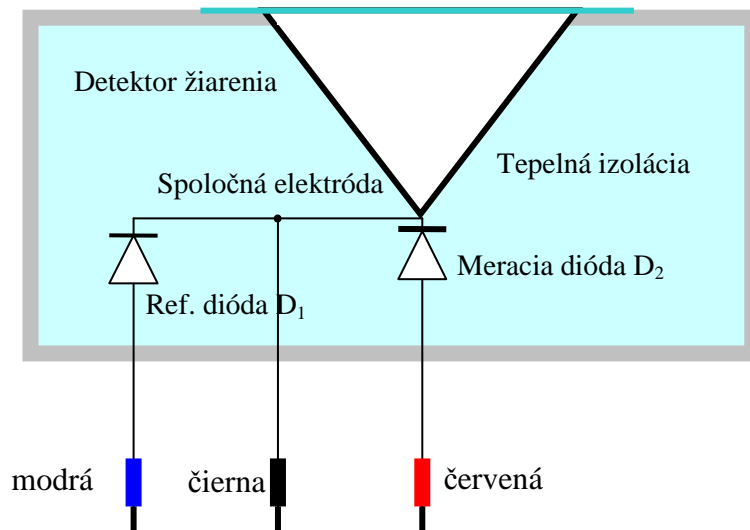


Obr. 6. Použitie halogénovej lampy ako zdroja žiarenia.

2. Aparatúra a pomôcky

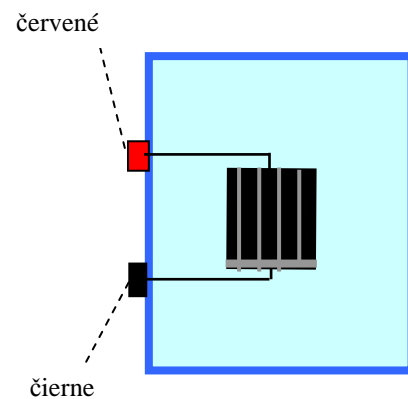
1. Zdroj svetla je halogénová lampá s príkonom 20 W.
2. Detektor žiarenia je dutý medený lievnik, ktorý je na vnútornej strane začiernený sadzami (Obr. 7). Lievnik je čiastočne tepelne izolovaný od okolia. V našom experimente sa detektor považuje za dokonale čierne teleso. Na meranie teploty sa použijú kremíkové diódy. Meracia dióda (D_2 na obr. 1 a obr. 7) je pripevnená k detektoru žiarenia tak, aby sa jej teplota rovnala teplote lievika. Referenčná dióda je umiestnená na vnútornej strane krytu obsahujúceho detektor – jej teplota je rovná teplote okolia. Celková tepelná kapacita detektora (lievnik a meracia dióda) je $C = (0,69 \pm 0,02)$ J/K. Detektor je zakrytý veľmi tenkou polyetylénovou fóliou, ktorej vplyv na prechod žiarenia je zanedbateľný.

Experimental Problem



Obr. 7. Nákres detektora žiarenia.

3. Elektrické zapojenie diód je na Obr. 2.
4. Kúsok solárneho článku upevnený na plastovej škatuľke (Obr. 8). Povrch článku obsahuje kovové pripojovacie pásiky. Pre výpočet účinnosti sa tieto pásiky považujú za súčasť povrchu článku.



Obr. 8. Solárny článok.

5. Dva digitálne voltmetre. Keď sa používajú na meranie napätia, majú veľmi vysoký vstupný odpor, ktorý možno považovať za nekonečne veľký. Ak ich použijeme na meranie prúdu, ich vnútorný odpor zanedbať nemožno. Pri meraní na napäťovom rozsahu je chyba prístroja ± 2 poslednej zobrazovanej číslice. Multimetre možno použiť aj na meranie teploty miestnosti.

Pozn.: Aby ste predišli samovoľnému vypnutiu multimetra - „Auto power off“, otáčajte prepínač funkcií zo stavu OFF do požadovanej polohy za súčasného stlačenia tlačidla SELECT (pozri obr. 9).

6. Zdroj napätia 9 V.
7. Premenný rezistor.
8. Stopky.
9. Dĺžkové meradlo s delením 1 mm.
10. Elektrické spojovacie vodiče.
11. Grafický papier.

3. Experiment

Keď detektor získava energiu zo žiarenia, zohrieva sa. Zároveň detektor stráca energiu v dôsledku rôznych mechanizmov (tepelná vodivosť, prúdenie, žiarenie a pod). Preto celková energia, ktorú získa detektor v časovom intervale dt , je súčtom energie, potrebnej na zvýšenie teploty detektora, a energie vyžarovanej detektorom do okolia:

$$\Phi dt = C dT + dQ,$$

kde C je tepelná kapacita detektora a diódy, dT - zvýšenie teploty a dQ - straty tepla.

Keď je rozdiel teplôt detektora a okolia $\Delta T = T - T_0$ malý, môžeme predpokladať, že teplo dQ odovzdané v časovom intervale dt okoliu, je priamo úmerné ΔT a dt , t.j. $dQ = k \Delta T dt$, kde k je konštanta s rozmerom W/K. Potom za predpokladu, že k je konštantné a ΔT je malé, môžeme písať

$$\Phi dt = C dT + k \Delta T dt = C d(\Delta T) + k (\Delta T) dt$$

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

Ak je k konštantné, vyjadruje riešenie tejto diferenciálnej rovnice zmenu rozdielu teplôt ΔT v závislosti od času t od okamihu, keď začalo na detektor dopadať svetlo s konštantnou hustotou žiarivého toku

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

Keď zdroj žiarenia vypneme, nadobudne diferenciálna rovnica tvar

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

a rozdiel teplôt ΔT závisí od času nasledujúcim spôsobom:

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

kde $\Delta T(0)$ je rozdiel teplôt v čase $t = 0$ (v okamihu, keď začneme meranie).

Experimental Problem

1. Zmerajte teplotu v miestnosti T_0 .
2. Zostavte elektrický obvod na meranie teploty detektora, pozostávajúci z diódových senzorov, skrinky s obvodom a multimetrov.
Aby ste zmenšili nepresnosť, ktorá je spôsobená dobou zohrievania prístrojov, odporúča sa, aby bol celý merací obvod zapojený asi 5 minút pred začiatkom vlastného merania.
 - 2.1. Umiestnite detektor pod zdroj svetla do vzdialenosti $d = 12$ cm od lampy. Lampa je vypnutá. Sledujte zmenu ΔV po dobu 2 minút v intervaloch 10 s a určte hodnotu $\Delta V(T_0)$ v rovnici (3).
 - 2.2. Zapnite lampu na osvetlenie detektora. Sledujte zmenu ΔV . Každých približne 10 s si zapíšte hodnotu ΔV . Po 2 minútach vypnite lampu. (Pozn.: Stĺpce x a y v tabuľke použijete v časti 4)
 - 2.3. Odložte detektor spod lampy. Sledujte zmenu ΔV . Počas 2 minút po vypnutí lampy si zapíšte každých približne 10 s hodnoty ΔV . (Pozn.: Stĺpce x a y použijete v časti 3.)

Pomôcka:

Pretože detektor má tepelnú zotrvačnosť, odporúča sa nepoužívať hodnoty, získané ihneď po začatí a ihneď po ukončení osvetľovania detektora.

3. Nakreslite graf v pravouhlej súradnicovej sústave, v ktorej sú premenné x a y vhodne zvolené tak, aby ste potvrdili platnosť rovnice (7) v čase po vypnutí lampy.
 - 3.1. Napíšte vzťahy pre premenné x a y .
 - 3.2. Nakreslite graf závislosti y od x – napíšte naň názov **GRAF 5**.
 - 3.3. Z tohto grafu určte hodnotu k .
4. Nakreslite graf v pravouhlej súradnicovej sústave, v ktorom sú premenné x a y vhodne zvolené tak, aby ste potvrdili platnosť rovnice (5), ak je detektor osvetlený.
 - 4.1. Napíšte vzťahy pre premenné x a y .
 - 4.2. Nakreslite graf závislosti y od x - napíšte naň názov **GRAF 6**.
 - 4.3. Určte hustotu žiarivého toku E v otvore detektora.

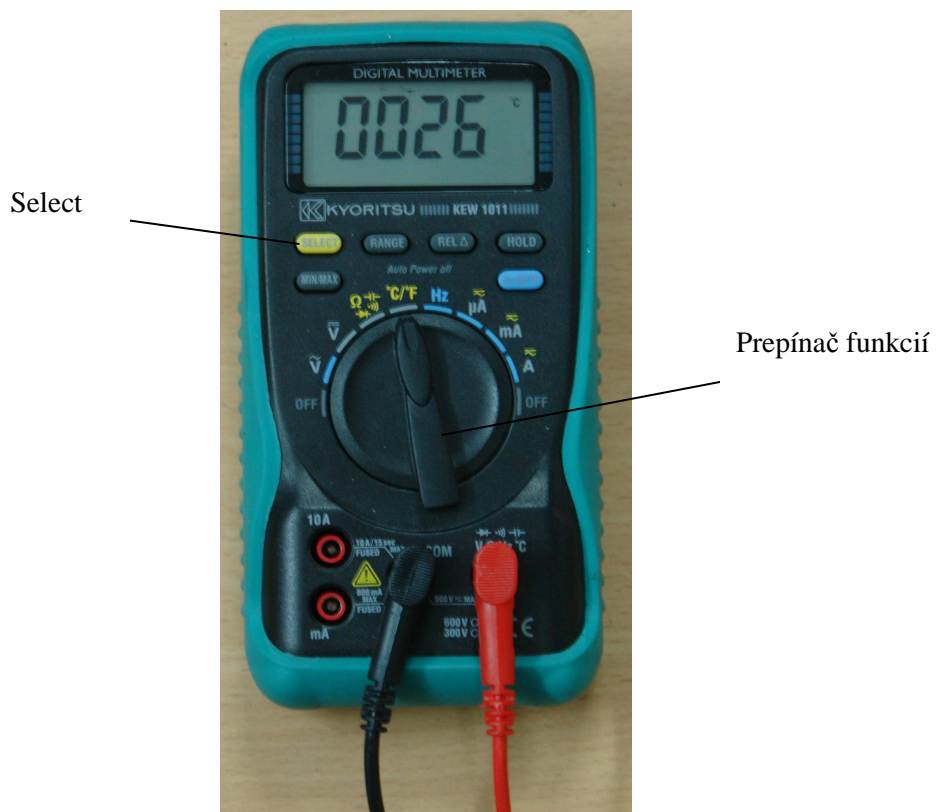
Experimental Problem

5. Položte solárny článok na miesto, na ktorom sa predtým nachádzal detektor žiarenia. Zapojte solárny článok do príslušného obvodu s multimetrami a nastaviteľným rezistorom, pomocou ktorého sa bude meniť elektrické zaťaženie článku. Odmerajte prúd v obvode a napätie na článku pri rôznych hodnotách odporu rezistora.
 - 5.1. Nakreslite schému zapojenia, ktoré ste použili v tomto experimente.
 - 5.2. Pomocou otočného gombíka nastaviteľného rezistora môžete meniť hodnoty odporu záťaže. Zapište hodnoty prúdu I a napätia V pre rôzne polohy z celého rozsahu otáčania gombíka.
 - 5.3. Zostrojte graf výkonu článku, ktorý článok odovzdáva záťaži, ako funkciu prúdu, ktorý prechádza článkom. Na graf napíšte názov - **GRAF 7**.
 - 5.4. Z grafu určte maximálnu hodnotu výkonu článku P_{\max} a odhadnite jej chybu.
 - 5.5. Napíšte vzťah pre výpočet účinnosti solárneho článku. Vypočítajte jej hodnotu, ktorá zodpovedá získanej hodnote maximálneho výkonu, a chybu tejto hodnoty.

Zoznam prístrojov (pozri Obr. 10)

1	Halogénová lampa 220 V/ 20 W	9	Stopky
2	Držiak misiek	10	Kalkulačka
3	Misky	11	Detektor žiarenia
4	Multimeter	12	Solárny článok
5	Skrinka s obvodom	13	Premenný rezistor
6	9 V batéria	14	Dĺžkové meradlo
7	Elektrické vodiče	15	Krabička používaná ako kryt
8	Skúmvka s meranou látkou		

Poznámka: aby ste sa vyhli samočinnému prechodu multimetra do režimu „Auto power off“, otočte prepínač funkcií z polohy OFF do zvolenej polohy tak, že stlačíte a podržíte tlačidlo SELECT (pozri Obr. 9).



Obr. 9. Digitálny multimeter