

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.:VIII.....

Název: Kalibrácia odporového teplomeru a termočlánku – fázové prechody

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 25. 4. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: **Pěšička**.....dne výsledek klasifikace**1**.....

Připomínky:

žiadne

Pracovné úlohy:

- Okalibrujte pomocou bodu topenia ľadu, bodu varu vody a bodu tuhnutia cínu
 - platinový odporový teplomer (určíte konštanty R_0, A, B)
 - termočlánok meď – konštantán (určíte konštanty a, b, c)
- Registrujte teplotným zapisovačom teplotný priebeh termoelektrického napätia ε pri ohrievaní a vare vody a pri tuhnutí cínu. Namerané krivky s úplnými údajmi o experimente priložte k referátu.
- Nakreslite graf teplotnej závislosti odporu R (kalibračná krivka odporového teplomeru) a graf teplotnej závislosti termoelektrického napätia ε (kalibračná krivka termočlánku).

Teoretická časť:

Platinový odporový teplomer

Ako elektrický odporový teplomer môžeme použiť platinový merací odpor DMT. Odporový teplomer sa skladá z keramického valčeka s pozdĺžnymi kanálkami, v ktorých je umiestnené merné vinutie z platiny.

Závislosť odporu platinového odporového teplomeru R na teplote t môžeme vyjadriť v najjednoduchšom prípade polynómom druhého stupňa

$$R = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (1)$$

kde R_0, A, B sú konštanty, ktoré môžeme určiť zmeraním odporu pri teplotách rovnovážnych stavov (bod tuhnutia vody, bod varu vody a bod tuhnutia cínu).

- normálny bod tuhnutia vody: $0\text{ }^\circ\text{C}$
- normálny bod varu vody: $100\text{ }^\circ\text{C}$
- normálny bod tuhnutia cínu: $232\text{ }^\circ\text{C}$

Odpor R_0 určíme pri teplote $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Ak určíme odpory R_1 a R_2 pri teplotách t_1 a t_2 , môžeme konštanty A a B vyjadriť zo vzťahov

$$A = \frac{(R_1 - R_0)t_2^2 - (R_2 - R_0)t_1^2}{R_0 t_1 t_2 (t_2 - t_1)}, \quad (2)$$

$$B = \frac{(R_2 - R_0)t_1 - (R_1 - R_0)t_2}{R_0 t_1 t_2 (t_2 - t_1)}. \quad (3)$$

Teplota varu vody závisí na atmosférickom tlaku. Pre bod varu vody t_p pri tlaku p platí

$$t_p = 100,0 + 28,0216 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 11,642 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 7,1 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3, \quad (4)$$

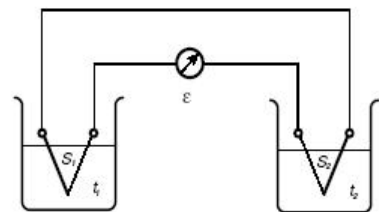
kde $p_0 = 101,325\text{ Pa}$ je normálny atmosférický tlak a teplota t_p je zadaná v stupňoch Celzia.

Termočlánok

Dvojitý termočlánok pozostáva z dvoch kovových vodičov (meď – konštantán) zvarovaných v dvoch spojoch. Ak sú zahriate na rôznu teplotu, vznikne medzi nimi termoelektrické napätie ε . Termoelektrické napätie, ktoré vznikne, ak obe spoje majú rôznu teplotu (t_1 je teplota spoja 1 a t_2 je teplota spoja 2, $t_1 < t_2$) je úmerná rozdielu ($t_2 - t_1$). Teplotnú závislosť môžeme opäť aproximovať kvadratickou závislosťou

$$e = a + b(t_2 - t_1) + c(t_2 - t_1)^2, \quad (5)$$

kde a, b, c sú konštanty, ktoré môžeme určiť meraním.



Obrázok 1 - Schéma dvojitého termočlánku

Ak jeden spoj ponoríme do zmesi vody a ľadu, bude $t' = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keď ponoríme oba spoje do látok s rovnakou teplotou, môžeme termoelektrické napätie považovať za nulové. Môžeme teda položiť $a = 0\text{ V}$. Pre koeficienty a , b platí

$$b = \frac{e_1(t_2 - t')^2 - e_2(t_1 - t')^2}{(t_1 - t')(t_2 - t')(t_2 - t_1)} = \frac{e_1 t_2^2 - e_2 t_1^2}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)}, \quad (6)$$

$$c = \frac{e_2(t_1 - t') - e_1(t_2 - t')}{(t_1 - t')(t_2 - t')(t_2 - t_1)} = \frac{e_2 t_1 - e_1 t_2}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)}. \quad (7)$$

Pri tejto voľbe musíme vo vzťahoch (6) a (7) vplyv hodnoty t' uvažovať iba pre chybu výsledných koeficientov.

Postup:

1. Do termosky pripravíme zmes topiaceho sa ľadu a vody. Do zmesi umiestnime oba spoje termočlánku a platinový odporový teplomer.
2. Po ustálení rovnováhy odčítame odpor teplomeru. Na zapisovači nastavíme pero do nulovej polohy.
3. Studený spoj termočlánku necháme v zmesi ľadu, druhý spoj a platinový teplomer premiestnime do banky s vodou, kde meriame teplotu pár. Začneme ohrievať vodu a sledujeme priebeh termoelektrického napätia na zapisovači. V momente, keď sa ustáli napätie, odčítame odpor teplomeru.
4. Cín roztavíme v elektrickej pecku. Je dôležité, aby sa cín zbytočne neprehrial. Do roztaveného cínu vložíme spoj termočlánku a odporový teplomer. Necháme cín ochladnúť. Bodu tuhnutia cínu zodpovedá v krivke termoelektrického napätia úsek s nemenným napätím. Pre tento bod odčítame takisto odpor teplomeru.
5. Pri každej zmene rozsahu zapisovača je potrebné opäť nastaviť 0.

Podmienky merania:

Podmienky merania boli určené pomocou digitálneho meracieho prístroja:

- teplota: $t = (24,3 \pm 0,1)\text{ }^{\circ}\text{C}$
- atmosféricky tlak: $p = (9,789 \pm 0,005) \cdot 10^4\text{ Pa}$
- vlhkosť vzduchu: $(35,4 \pm 0,1)\%$

Výsledky merania:

Hodnotu teploty varu vody prepočítanú na tlak v miestnosti (uvažujeme tlak uvedený v podmienkach merania) určíme podľa vzťahu (4). Jej chybu určíme z kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [3].

$$\bullet \quad t_1 = (99,0 \pm 0,01)\text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{t_1} = 1,0 \cdot 10^{-4},$$

kde η je relatívna chyba danej veličiny.

Odpor teplomeru sme merali pomocou digitálneho ohmmetra, ktorý má pre použité rozsahy presnosť 0,5 % z meranej hodnoty; na základe relatívnej chyby určíme absolútnu chybu odporu. Určili sme odpor R_0 pri teplote topenia ľadu, odpor R_1 pri teplote varu vody a odpor R_2 pri teplote tuhnutia cínu.

- $R_0 = (101,0 \pm 0,5)\text{ }\Omega$ $h_{R_0} = 5,0 \cdot 10^{-3},$
- $R_1 = (138,8 \pm 0,7)\text{ }\Omega$ $h_{R_1} = 5,0 \cdot 10^{-3},$
- $R_2 = (188,0 \pm 0,9)\text{ }\Omega$ $h_{R_2} = 5,0 \cdot 10^{-3}.$

Konštanty A a B určíme podľa vzťahov (2) a (3); teploty t_1 a t_2 dosadzujeme podľa [2]. Ich chyby určíme podľa kvadratickeho zákona prenosu chýb, viď [3], pričom hodnotu t_2 považujem za presne určenú.

- $A = (3,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ $h_A = 5,3 \cdot 10^{-2}$,
- $B = (-5,1 \pm 0,9) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ $h_B = 1,8 \cdot 10^{-1}$.

Termoelektrické napätie sme určovali pomocou zapisovača, ktorý ho zapisoval na registračný papier. Jeden dielik na registračnom papieri zodpovedá $0,01 \text{ mV}$ pri rozsahu 1 mV , $0,05 \text{ mV}$ pri rozsahu 5 mV a $0,2 \text{ mV}$ pri rozsahu 20 mV . (Rýchlosť posúvania zapisovača bola 10^{-4} m.s^{-1}) Jeden zo spojov sme ponorili do zmesi vody a ľadu a tým udržiavali na teplote $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Druhý sme ponorili do prostredia, ktorého teplotu sme určovali. Pri ponorení oboch spojov do zmesi vody a ľadu sme nastavili rysku na nulovú hodnotu, čo sme overili aj pre rozsah 1 mV . Konštantu a zo vzťahu (4) môžeme považovať za nulovú.

Pri meraní pri bode topenia ľadu sme používali rozsah 1 mV ; pri meraní varu vody sme používali rozsah 5 mV ; pri meraní teploty tuhnutia cínu rozsah 20 mV .

Termoelektrické napätie pri fázovom prechode určujeme po ustálení rovnováhy. Jeho absolútnu chybu odhadneme ako polovicu hodnoty napätia, ktorá prislúcha jednému dieliku na registračnom papieri pri príslušnom rozsahu.

- $e_0 = (0,00 \pm 0,005) \text{ mV}$,
- $e_1 = (4,16 \pm 0,03) \text{ mV}$ $h_{e_1} = 7,2 \cdot 10^{-3}$,
- $e_2 = (10,5 \pm 0,1) \text{ mV}$ $h_{e_2} = 9,5 \cdot 10^{-3}$.

Konštanty b a c určíme podľa vzťahov (6) a (7), pričom za t' dosadíme hodnotu $t' = (0,0 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}$. Chyby konštant určíme podobne ako sme určili chyby konštant A a B .

- $b = (3,96 \pm 0,06) \cdot 10^{-2} \text{ mV } ^\circ\text{C}^{-1}$ $h_b = 1,5 \cdot 10^{-2}$
- $c = (2,43 \pm 0,40) \cdot 10^{-5} \text{ mV } ^\circ\text{C}^{-2}$ $h_c = 1,6 \cdot 10^{-1}$

Teplotnú závislosť odporu platinového odporového teplomeru (1) s koeficientmi (2) a (3) sme vyniesli do *grafu 3*. Teplotnú závislosť termoelektrického napätia (5) dvojitého termočlánku s vodičmi meď – konštantán s koeficientmi (6) a (7) sme vyniesli do *grafu 2*.

Diskusia výsledkov:

Na presnosť určenia kalibračných kriviek má vplyv presné určenie teplôt rovnovážnych stavov. Teplotu topenia ľadu a tuhnutia cínu som uvažoval podľa hodnôt uvedených v [2]; teplotu varu vody so určil zo vzťahu (4). Presnosť teplôt rovnovážnych stavov je ovplyvnená čistotou použitých látok; túto chybu nedokážem odhadnúť, a preto som ju pri výpočtoch chýb neuvažoval.

Namerané hodnoty termoelektrického napätia $e_1 = (4,16 \pm 0,03) \text{ mV}$ a $e_2 = (10,5 \pm 0,1) \text{ mV}$ sa odlišujú od tabuľkových hodnôt uvedených pri prístroji $e_{1,tab} = 4,277 \text{ mV}$ a $e_{2,tab} = 11,015 \text{ mV}$.

Kalibračná krivka platinového odporového teplomeru je zaťažená chybou merania odporu, ktorá je daná chybou prístroja – digitálneho ohmmetra ($0,5 \%$ z meranej hodnoty). Kalibračná krivka termočlánku je podobne zaťažená chybou merania termoelektrického napätia – polovicou dieliku na registračnom papieri. V oboch prípadoch ležia namerané body na kalibračnej krivke.

Veľké relatívne chyby (18% resp. 16%) konštant B resp. c pri kvadratických členoch sú spôsobené tvarom vzťahov (3) resp. (7), v ktorých odčítavame blízke hodnoty, kým ich chyby sa sčítavajú. Vzhľadom k malým hodnotám týchto členov sú zistené závislosti na malých intervaloch takmer lineárne.

Záver:

Okalibroval som platinový odporový teplomer; pre konštanty vystupujúce vo vzťahu (1) platí

$$R_0 = (101,0 \pm 0,5) \Omega$$

$$A = (3,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = (-5,1 \pm 0,9) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

Teplotná závislosť odporu platinového teplomeru má tvar

$$R = 101,0 \left(1 + 3,8 \cdot 10^{-3} t - 5,1 \cdot 10^{-7} t^2 \right) \Omega.$$

Okalibroval som termočlánok med' – konštantán; pre konštanty vystupujúce vo vzťahu (5) platí

$$a = 0 \text{ mV}$$

$$b = (3,96 \pm 0,06) \cdot 10^{-2} \text{ mV } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$c = (2,43 \pm 0,40) \cdot 10^{-5} \text{ mV } ^\circ\text{C}^{-2}$$

Teplotná závislosť termoelektrického napätia termočlánku má tvar

$$e = \left[3,96 \cdot 10^{-2} (t - t') + 2,43 \cdot 10^{-5} (t - t')^2 \right] \text{ mV}.$$

V oboch vzťahoch je teplota udávaná v stupňoch Celzia.

Obe teplotné závislosti sú znázornené v *grafe 3* resp. v *grafe 4*.

Namerané krivky sú priložené k protokolu (*graf 1* a *graf 2*).

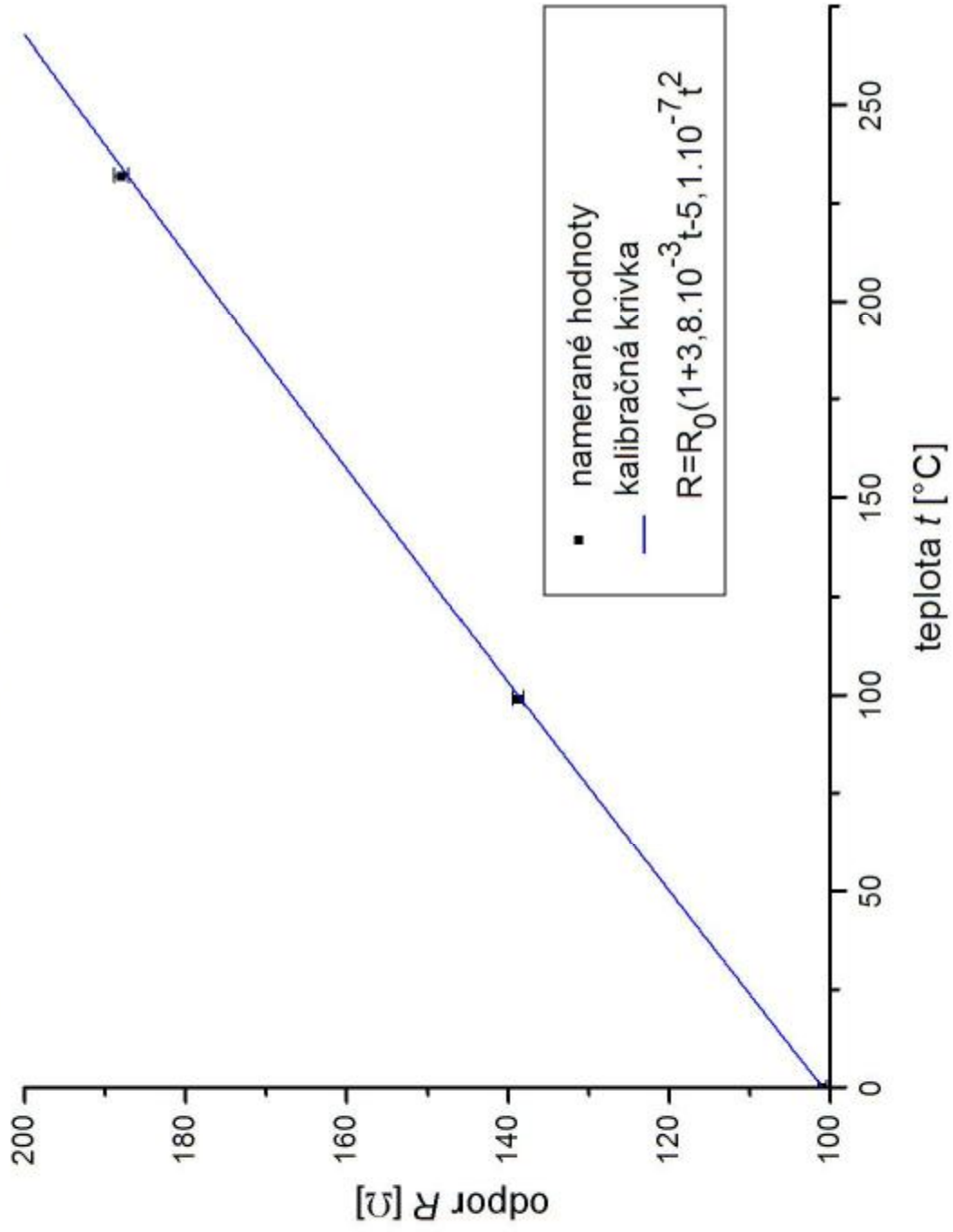
Literatúra:

[1] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálných měření I; SPN; Praha 1967

[2] Študijný text z www stránky fyzikálneho praktika MFF UK

[3] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálných měření, LS 1999/2000

Graf 3 - Kalibrační křivka platinového odporového teploměru



Graf 4 - Kalibrační křivka dvojitého termočlánku medí-konštantán

