Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

# PRAKTIKUM I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. VIII.

Název: Kalibrace odporového teploměru a termočlánku – fázové přechody

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. Y – 16 dne 18. dubna 2008

Odevzdal dne: .....

Hodnocení:.....

Připomínky:

| Kapitola referátu | Možný počet bodů | Udělený počet bodů |
|---|---|---|
| Teoretická část | 0 – 3 | |
| Výsledky měření | 0 – 9 | |
| Diskuse výsledků | 0 – 5 | |
| Závěr | 0 – 2 | |
| Seznam použité literatury | 0 – 1 | |
| **Celkem** | max. 20 | |

## Pracovní úkol

1. Okalibrujte pomocí bodu tání ledu, bodu varu vody a bodu tuhnutí cínu:
   a) platinový odporový teploměr (určete konstanty $R_0$, $A$, $B$)
   b) termočlánek měď-konstantan (určete konstanty $a$, $b$, $c$)
2. Registrujte zapisovačem teplotní průběh termoelektrického napětí $\varepsilon$ při ohřevu a varu vody a při tuhnutí cínu. Naměřené křivky s úplnými údaji o experimentu přiložte k referátu.
3. Nakreslete graf teplotní závislosti odporu $R$ (kalibrační křivka odporového teploměru) a graf teplotní závislosti termoelektrického napětí $\varepsilon$ (kalibrační křivka termočlánku).

## Teoretický úvod

Ke snímání teploty se využívá platinového teploměru. Tento teploměr je realizován měřícím rezistorem DMT. Tento rezistor se skládá z čisté platiny. Teplota se určuje sledováním elektrického odporu rezistoru. Závislost elektrického odporu na teplotě je dána vztahem

$$R = R_0 \left(1 + At + Bt^2\right) \tag{1}$$

kde $A$ a $B$ jsou konstanty. Tyto konstanty je možné určit, pokud se změří elektrický odpor teploměru při třech různých známých teplotách. Hodnota $R_0$ vyjadřuje velikost elektrického odporu článku při teplotě $0°C$.

Dalším způsobem jak určit teplotu je měření napětí na termočlánku. Jedná se o čidlo, které využívá tzv. Seebeckova jevu. Pokud jsou dva různé konce vodiče umístěny v prostředích, které mají různou teplotu $\Delta T$, vzniká na koncích tohoto vodiče rozíl napětí (jak udává [1.]) $\Delta U = \alpha \Delta T$, kde $\alpha$ je materiálová konstanta.

K měření se obvykle používá termočlánek, který je složen ze dvou vodičů z různých materiálů. Tyto materiály jsou na koncích bodově svařeny. Ke kalibraci je předložen termočlánek složený z konstantamu a mědi.

Jeden z konců termočlánku je ponořen v roztoku s definovanou teplotou $0°C$. Druhý termočlánek slouží k měření rozdílu napětí. Termoelektrické napětí, které na termočlánku vznikne je dáno vztahem

$$\varepsilon = a + b\,(t - t_0) + c\,(t - t_0)^2 \tag{2}$$

Kde $t_0$ je teplota prostředí ve které je ponořen studený konec termočlánu. Konstanty $a$, $b$ a $c$ se určí ze tří měření při třech různých pevně definoaných teplotách. Obdobně jako u platinového teploměru.

Jak již bylo zmíněno, pro kalibraci je potřeba alespoň tří rozdílných teplot. Teploty $0°C$ se dosahuje při bodu tání (tuhnutí) vody. K tomu se používá směs vody s ledem. Dále se ke kalibraci používá var vody. Var vody je závislý na tlaku $p$. Teplota varu vody je dána vztahem

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

kde $p_0$ je tzv. normální barometrický tlak $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 Pa$. $t_p$ je udávána v $°C$

Jako poslední kalibrační teplota se používá bod tání čistého cínu. Pro chemicky čistou látku platí, že při rovnoměrném odebírání tepla, nastane při zaznamenávání teploty v závislosti na čase kolem bodu tuhnutí oblast, kdy zůstane teplota konstantní. Tanto teplota udává bod tuhnutí. Pro čistý cín je tato teplota $t_c = 232°C$.

Z naměřených hodnot se získá pro platinový teploměr a termočlánek soustavu tří lineárních ronic s neznámými $A$, $B$ a $R_0$, respektive $a$, $b$ a $c$. Pro měření při teplotě $0°C$ určím $a$ a $R_0$ jako

$$R_0 = R_1 \tag{4}$$

$$a = \varepsilon_0 \tag{5}$$

Dále jsem úpravou rovnic získal vztahy:

$$A = \frac{(R_1 - R_2)\, t_3^2 + (R_3 - R_1)\, t_2^2}{R_1 t_2 t_3\, (t_2 - t_3)} \tag{6}$$

$$B = \frac{(R_2 - R_1)\, t_3 + (R_1 - R_3)\, t_2}{R_1 t_2 t_3\, (t_2 - t_3)} \tag{7}$$

$$b = \frac{\varepsilon_2\, (t_1 - t_0)^2 - \varepsilon_1\, (t_2 - t_0)^2}{(t_1 - t_0)\, (t_2 - t_0)\, (t_1 - t_2)} \tag{8}$$

$$c = \frac{\varepsilon_1\, (t_2 - t_0) - \varepsilon_2\, (t_1 - t_0)}{(t_1 - t_0)\, (t_2 - t_0)\, (t_1 - t_2)} \tag{9}$$

kde $R_1$, $R_2$ a $R_3$ jsou elektrické odpory platinového teploměru pro teploty $t_1$, $t_2$ a $t_3$, $\varepsilon_1$ a $\varepsilon_2$ jsou termoelektrické napětí napětí termočlánku pro teploty $t_1$, $t_2$ (předpokládá se, že druhý konec termočlánku je v prostředí s teplotou $0°C$).

## Výsledky měření

Laboratorní podmínky na počátku měření:
Teplota: $t = 22,8°C$
Tlak: $p = 975,0 hPa$

Z laboratorních podmínek jsem určil teplotu varu podle vztahu (3) $t_v = 98,96°C$.

Pro platinový teploměr a pro termočlánek jsem naměřil tyto hodnoty:

| t $[°C]$ | R $[\Omega]$ | $\varepsilon$ $[mV]$ |
|---|---|---|
| | Platinový teploměr | Termočlánek |
| $0°C$ | $100,3 \pm 0,5$ | 0 |
| $98,96°C$ | $138,3 \pm 0,7$ | $4,30 \pm 0,05$ |
| $232°C$ | $187,4 \pm 0,9$ | $11,0 \pm 0,2$ |

Tabulka 1.: Naměřené hodnoty pro platinový teploměr a termočlánek

Ze vztahů (4) až (9) jsem získal kalibrační koeficinety pro platinový teploměr:

$$R_0 = (100,3 \pm 0,5)\Omega$$

$$A = (3,89 \pm 0,20) \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$$B = (0,64 \pm 0,55) \cdot 10^{-6} K^{-1}$$

Pro termočlánek jsem získal tyto kalibrační koeficienty:

$$a = 0$$

$$b = (0,0405 \pm 0,0010) \cdot 10^{-3} VK^{-1}$$

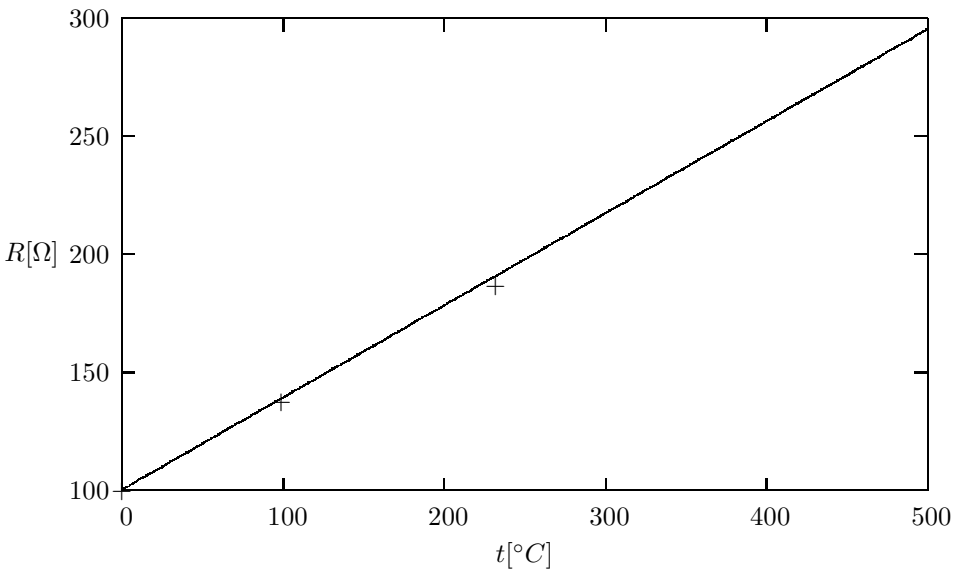
$$c = (0,0298 \pm 0,0060) \cdot 10^{-6} VK^{-1}$$

Z těchto kalibračních koeficientů jsem sestavil rovnici popisující vztah mezi odporem platinového teploměru a termoelektrickým napětím termočláku v závislosti na teplotě:

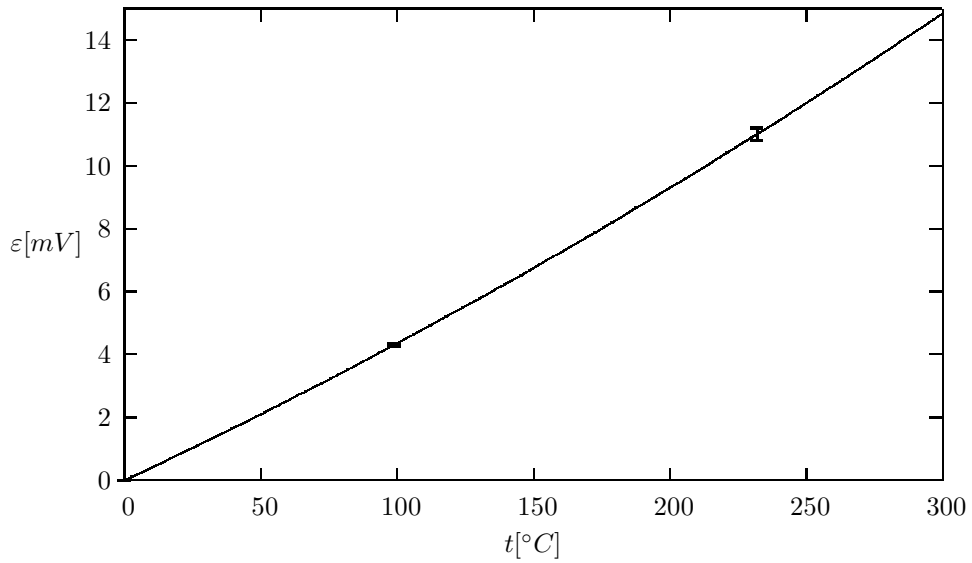
$$R = \left[100,3\left(1 + 3,89 \cdot 10^{-3} t + 0,64 \cdot 10^{-6} t^2\right)\right] \Omega$$

$$\varepsilon = \left[0,0405(t - t_0) + 0,0298 \cdot 10^{-3}(t - t_0)^2\right] mV$$

Naměřená data jsem graficky znázornil. Pro platinový teploměr jsem zobrazil kalibrační křivku a dále jsem do grafu zanesl body, které jsem naměřil. Při grafickém znázornění kalibrační křivky pro termočlánek jsem se rozhodl zobrazit k jednotlivým bodům také jejich chyby. Neboť zde byly alespoň trochu patrné.




Graf 1.: Kalibrační křivka odporového teploměru



Graf 2.: Kalibrační křivka termočlánku

## Diskuse výsledků

Při kalibraci platinového odporového teploměru jsem se dopouštěl největší chyby při měření odporu. Neboť vzhledem k zapsaným průběhům zapisovačem, při měření termočlánkem, jde vidět, že jednotlivé teploty, při kterých probíhalo měření, byly dosaženy poměrně přesně.

U měření tuhnutí cínu mohly být nepřesnoti způsobeny nečistotami v cínu. Ovšem opět z grafického záznamu jde vidět, že se během tuhnutí změnila teplota jen minimálně, což podel [1.] vypovídá o tom, že měřená látka je chemicky čistá.

Při měření termočlánku jsem se dopouštěl největší chyby při odečítání hodnot ze záznamového archu. Chyba pak závisela na zvoleném rozsahu. Pro měření varu vody jsem použil rozsah do $5mV$. Chybu jsem tak určil jako $\pm 0,05mV$. Pro teplotu tání cínu jsem používal rozsah $20mV$. Chybu jsem proto určil $\pm 0,2mV$.

Ovšem i tak, mi vyšly hodnoty, které byly v poměrně dobré shodě s očekávanými hodnotami. Podle tabulek, které byly k dispozici u úlohy, bylo pro teplotu $0°C$ očekáváno napětí $0mV$, pro teplotu $100°C$ napětí $4,277mV$ a pro teplotu $232°C$ napětí $11,015mV$, což se v rámci chyby měření shoduje s údaji, které jsem naměřil.

Měření mohlo být také mírně ovlivněno změnami podmínek v laboratoři, neboť na konci měření se změnila teplota na $t = 23,5°C$ a tlak se změnil na $p = 974,7hPa$. Jedná se však o dostatečné malé změny aby neměly větší vliv na naměřené údaje

Chyby měření jsem určil pouze z kvadratického zákonu přenosu chyb. Vzhledem k množství provedených měření nemělo cenu uvažovat statistickou chybu, neboť měřené hodnoty byly dosaženy po dostatečně dlouhou dobu, abych je mohl prohlásit za neměnné.

## Závěr

Podařilo se mi určit kalibrační konstanty pro platinový odporový článek a pro termočlánek.

$$R = \left[100,3\left(1 + 3,89 \cdot 10^{-3}t + 0,64 \cdot 10^{-6}t^2\right)\right]\Omega$$

$$\varepsilon = \left[0,0405(t - t_0) + 0,0298 \cdot 10^{-3}(t - t_0)^2\right] mV$$

Z výsledků je zřejmé, že výsledné charakteristiky jsou převážně lineární a kvadratické, respektive kubické, členy se výrazněji neprojevují.

## Seznam použité literatury

[1.] *Studijní materiály na stránkách fyzikálního praktika* pro úlohu 8.
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/108.html