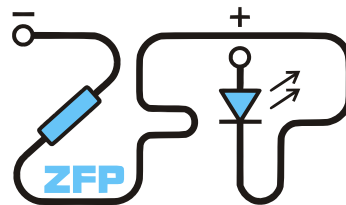


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I



Úloha č. 8

Název úlohy: Kalibrace odporového teploměru a termočlánku – fázové přechody

Jméno: Jonáš Venc

Datum měření: 26. 2. 2024

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0–2	
Výsledky a zpracování měření	0–9	
Diskuse výsledků	0–4	
Závěr	0–1	
Použitá literatura	0–1	
Celkem	max. 17	

Posuzoval:

dne:

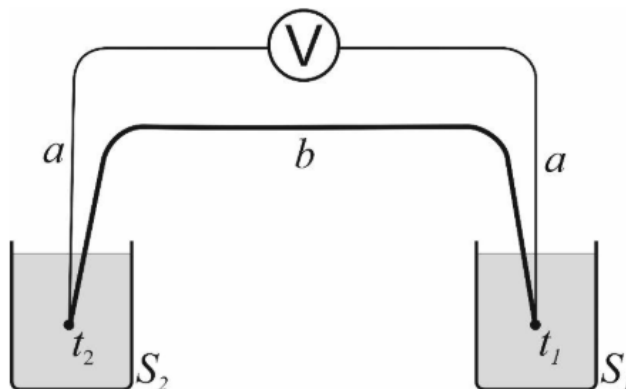
1 Pracovní úkoly

- Okalibrujte pomocí bodu tání ledu, bodu varu vody a bodu tuhnutí cínu:
 - platinový odporový teploměr (určete konstanty R_0, A, B).
 - termočlánek měď-konstantan (určete konstanty a, b, c)
- Registrujte časový průběh termoelektrického napětí termočlánu $\varepsilon(\tau)$ a odporu platinového teploměru $R(\tau)$ při ohřevu a varu vody a při tuhnutí cínu. Změřené průběhy graficky znázorněte.
- Nakreslete graf teplotní závislosti odporu R (kalibrační křivka odporového teploměru) a graf teplotní závislosti termoelektrického napětí ε (kalibrační křivka termočlánu).
- Ze závislostí $\varepsilon(\tau)$ a $R(\tau)$ dle bodu 2 a kalibračních hodnot dle bodu 1 určete časové závislosti $t_R(T)$ a $t_\varepsilon(T)$ teplot měřených odporovým teploměrem a termočlánekem při ohřevu vody a tuhnutí cínu. Určené závislosti porovnejte.

2 Teoretická část

Fázové přechody jsou děje, při kterých látka přechází z jednoho skupenství do jiného. U chemicky čistých látek pozorujeme během fázového přechodu oblast s konstantní teplotou v časové závislosti, kde dochází ke změně skupenství (fáze). U ostatních látek se tato teplota o určitou hodnotu mění.

Termočlánek je složen ze dvou různých kovových vodičů. Tyto vodiče jsou na konci svařené. Podle složení těchto vodičů provádíme kalibraci. Aparatura termočlánu je zobrazena na obrázku 1 podle [1]. Oblast S_1 je srovnávací známé teploty t_1 . Teplota t_2 je měřená teplota. Výhodou je malá tepelná kapacita a tedy nízké ovlivnění teploty měřeného vzorku.



Obr. 1: Aparatura termočlánu

Odporový teploměr měří na základě změny odporu kovu s teplotou. Standardní používané teploměry se vyrábějí z platiny.

V této práci určujeme konstanty R_0, A, B, a, b, c v rovnicích, které popisují závislosti těchto dějů. Pro termočlánek platí v nejjednodušším případě aproximativní kvadratická teplotní závislost

$$\varepsilon = a + b(t_2 - t_1) + c(t_2 - t_1)^2 \quad (1)$$

kde ε je termoelektrické napětí a $(t_2 - t_1)$ je rozdíl teplot na obou koncích vodičů termočlánu.

Pro platinový odporový teploměr platí závislost odporu R na teplotě t platí

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

Teplotu varu vody je možné vyjádřit jako

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

kde p_0 je normální atmosférický tlak $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ a p naměřený tlak.

3 Výsledky a zpracování měření

3.1 Laboratorní podmínky

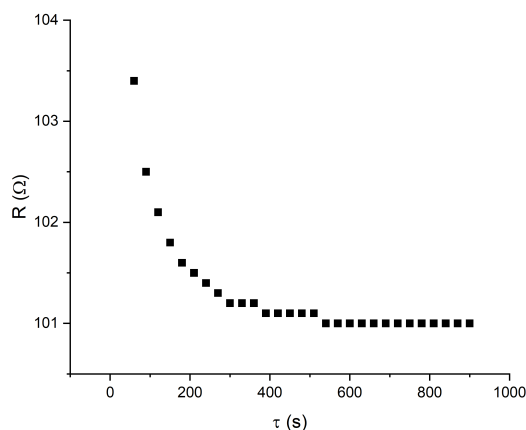
Měření bylo prováděno za laboratorních podmínek uvedených v tabulce 1. Pro nás je, ale důležitý naměřený tlak, který ovlivňuje například teplotu varu vody.

t / °C	p / hPa	vlhkost / %RH
23,5(4)	984(2)	37(3)

Tab. 1: Laboratorní podmínky

3.2 Tání ledu

Nejprve změříme odpor při teplotě 0 °C. Umístíme směs ledu a vody do termosky a měříme vzniklé termoelektrické napětí a zaznamenáváme odpor po časových intervalech. Čekáme, než se ustálí hodnota odporu. Teplota této směsi je právě 0°C, proto ustálená hodnota odporu odpovídá hodnotě R_0 z rovnice (2). Pro odporový teploměr dostáváme $R_0 = 101,0(5) \Omega$. Nepřesnost měření odporu je 0,5 % plus 0,1 % z rozsahu. Tato závislost je zobrazena na obrázku 2.



Obr. 2: Závislost odporu na čase pro tání ledu

Pro termočlánek při rozdílu teplot 0 °C dostáváme $\varepsilon = 1,4(2) \cdot 10^{-6} V$. Udávaná chyba zařízení je 90 ppm z měření a 35 ppm z rozsahu. Závislost je promítnuta do grafu.

Na obrázku 3 vidíme časovou závislost naměřeného napětí.

3.3 Var vody

Jeden konec vodiče termočládku necháme v termosce, která má teplotu $t_1 = 0 \text{ °C}$. Druhý konec umístíme nad zahřívanou vodu. Hodnota varu vody je závislá na atmosférickém tlaku, kterou spočteme podle (3) dosazením laboratorního tlaku

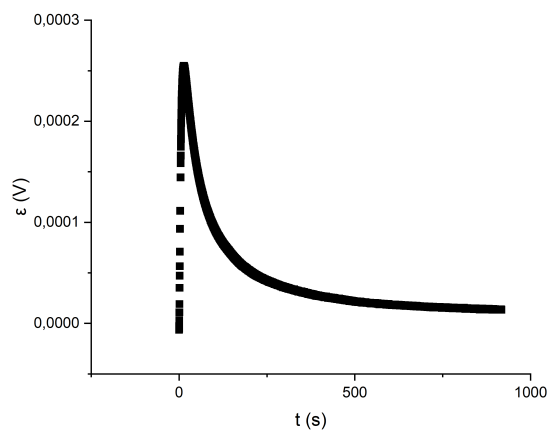
$$t_p = 99,2(4) \text{ °C}$$

kde nejistota je odhadnuta podle metody přenosu chyb.

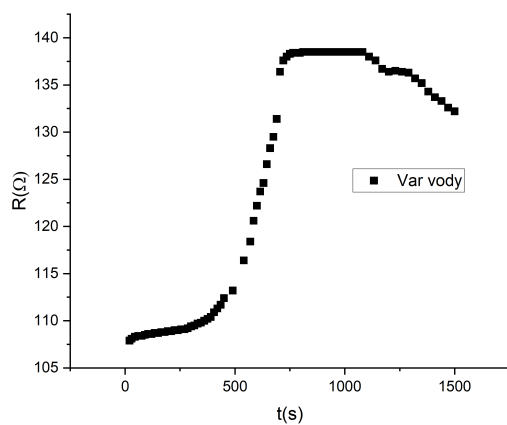
Pro odporový teploměr dostáváme při teplotě varu $R = 138,5(7) \Omega$. Tato závislost je zobrazena na grafu 4.

Pro termočlánek dostáváme při rozdílu teplot odpovídající teplotě varu hodnotu $\varepsilon = 4,24(5) \cdot 10^{-4} V$.

Na obrázku 5 je znázorněný časový průběh naměřeného napětí. V čase 885 s bylo vypnuto topení, což se projevuje na grafu ukončením růstu.



Obr. 3: Časová závislost napětí tání ledu

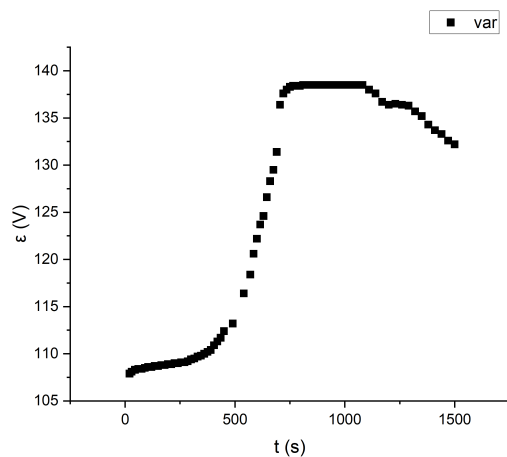


Obr. 4: Závislost odporu na čase pro var vody

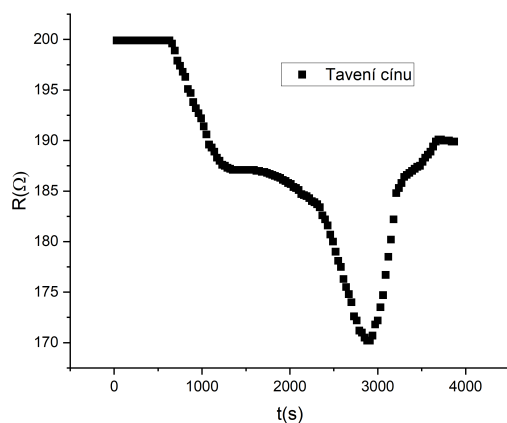
3.4 Tavení cínu

Bod tuhnutí cínu nastává při teplotě $t_c = 232\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hodnota odporu je při této teplotě rovna $R = 187,1(9)\text{ }\Omega$. Hodnota $\varepsilon = 1,095(1) \cdot 10^{-2}\text{ V}$. Závislost odporu na čase je v grafu 6.

V grafu 7 je zobrazena časová závislost napětí během tavení cínu. V čase 2760 s bylo zapnuto zahřívání, což je vidět na grafu.



Obr. 5: Časová závislost napětí var vody



Obr. 6: Závislost odporu na čase pro tavení cínu

3.5 Kalibrační křivky

Z naměřených hodnot odporu na napětí můžeme sestavit kalibrační křivku. Hodnoty jsou zaneseny do grafu 8 odporového teploměru a 9 termočlánu a je zde také sestaven polynomiální fit se stupněm 2. Odtud získáme hledané konstanty.

Po dosazení do rovnice (1) tedy máme

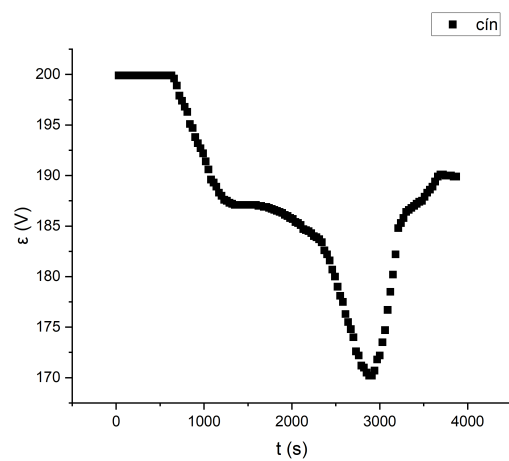
$$a = 1,4(2) \cdot 10^{-6} V$$

$$b = -2,8(1) \cdot 10^{-5} \frac{V}{^{\circ}C}$$

$$c = 3,2(2) \cdot 10^{-7} \frac{V}{^{\circ}C^2}$$

kde chyba koeficientů b, c je 5 %.

Po dosazení do rovnice (2) dostáváme



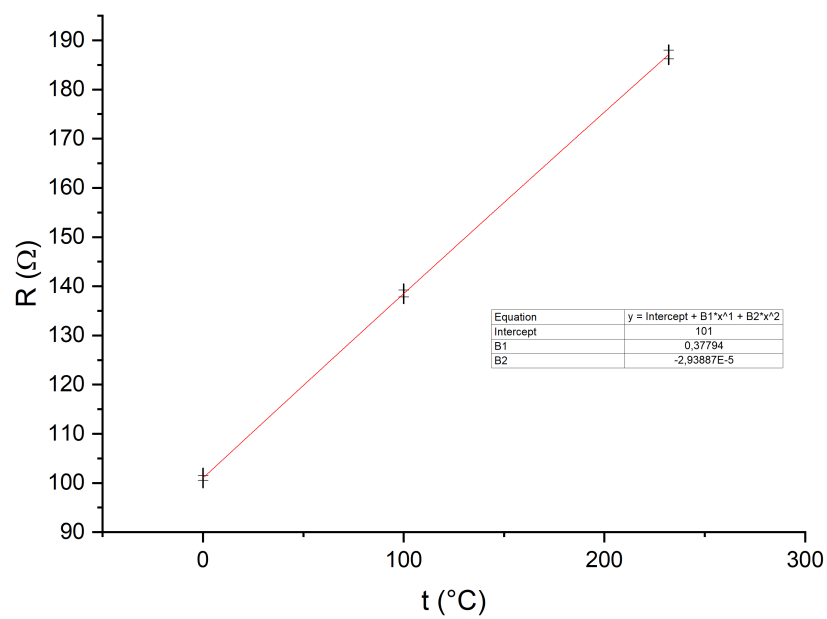
Obr. 7: Časová závislost napětí tavení cínu

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

$$A = 0,38(2) \, \frac{1}{^\circ C}$$

$$B = -2,9(1) \cdot 10^{-5} \, \frac{1}{^\circ C^2}$$

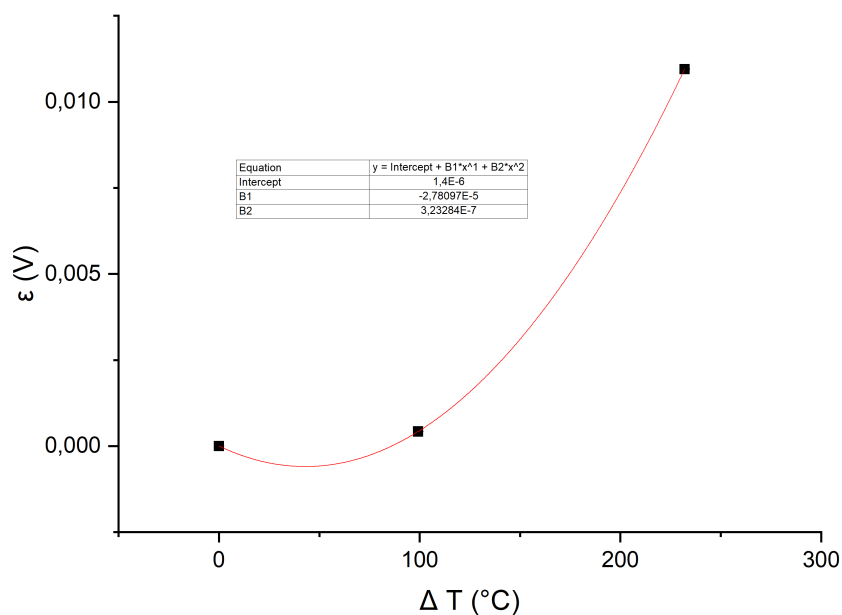
kde chyba koeficientů A, B je opět 5 %.



Obr. 8: Kalibrační křivka pro odporový teploměr

3.6 Časové závislosti

S využitím časových závislostí odporu a napětí a rovnic s vypočítanými koeficienty, můžeme sestavit graf závislosti teploty na čase [10](#) a [11](#).



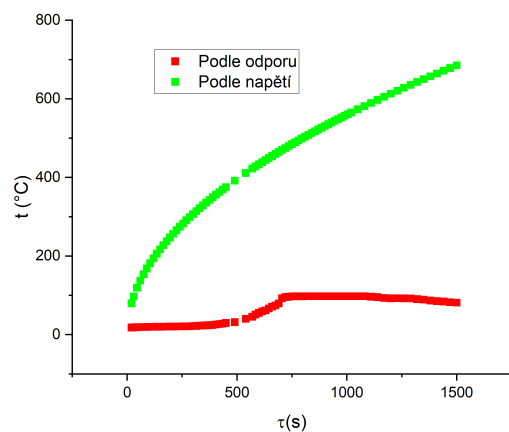
Obr. 9: Kalibrační křivka termočlánku

4 Diskuse výsledků

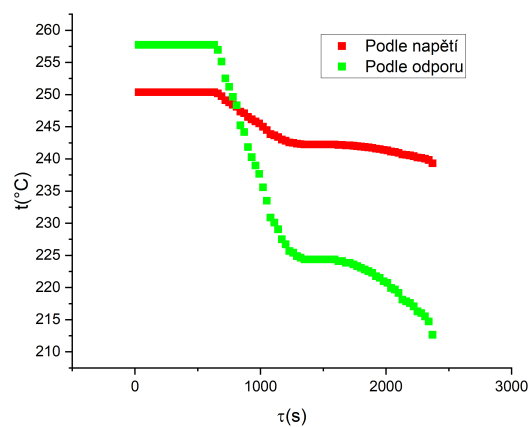
Z grafů časových závislostí je vidět výrazná podobnost při měření odporu a napětí. Při porovnání časových závislostí teplot pro var vody se vypočtené křivky příliš neshodují. Zřejmě není dobře dosazeno do rovnice pro výpočet teploty z odporu. Na druhou stranu pro tavení cínu zde pozorujeme korelaci obou křivek. Drobné odchylky mohou být způsobeny nepřesnostmi popsané dále.

U vypočítaných koeficientů zde byla určena také nepřesnost daná nepřesnostmi měřících přístrojů. Konkrétní hodnoty jsou popsány výše. Vliv na přesnost výsledků mají však i jiné faktory, než jenom tento. Je třeba uvážit, že teploměry mohou mít navzájem zpoždění, tedy nemusejí ve stejnou chvíli zobrazovat aktuální hodnoty. Navíc samotné teploměry pracují s určitou nepřesností, která není uvažována. Dále chyba může vznikat způsobem tohoto zapojení. Bylo by možné použít více bodový teploměr, který by měřený výsledek zpřesňoval díky více počtům měřidel. Samozřejmě uvažujeme dokonale čistou aparaturu i vzorky, ve skutečnosti však tyto vzorky již mohou být kontaminované nečistoty. Nepoužíváme míchadlo a teplotu měříme v jednom bodě, což může například u destilované vody měřit jednu teplotu, zatímco v kádince může být u dna jiná teplota, než u hladiny. Nakonec můžeme také uvážit lidský faktor, díky kterému se opisované hodnoty mohou nepatrně lišit.

U grafů je možné vidět nepořádek v označení veličin způsobené jedním typem používaném v zadání a druhým obecně používaných. Proto je dobré podívat se i na jednotku a předejít tak nedorozuměním. Například u symbolu T je jednotka $^{\circ}\text{C}$, kde bychom zřejmě mohly uvažovat K , ale protože se jedná o rozdíl teplot, jednotky nehrají roli.



Obr. 10: Časová závislost teploty pro var vody



Obr. 11: Časová závislost teploty pro var vody

5 Závěr

V této práci jsme okalibrovali pomocí bodu tání ledu, bodu varu vody a bodu tuhnutí cínu odporový teploměr a termočlánek. získali jsme tyto koeficienty

$$a = 1,4(2) \cdot 10^{-6} V$$

$$b = -2,8(1) \cdot 10^{-5} \frac{V}{^{\circ}C}$$

$$c = 3,2(2) \cdot 10^{-7} \frac{V}{^{\circ}C^2}$$

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

$$A = 0,38(2) \frac{1}{^{\circ}C}$$

$$B = -2,9(1) \cdot 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}C^2}$$

Dále jsme zaregistrovali časový průběh termoelektrického napětí termočlánku $\varepsilon(\tau)$ a odporu platinového teploměru $R(\tau)$ při ohřevu a varu vody a při tuhnutí cínu a graficky znázornili.

Nakreslili jsme graf teplotní závislosti odporu R a graf teplotní závislosti termoelektrického napětí ε .

Nakonec jsme určili časové závislosti $t_R(\tau)$ a $t_\varepsilon(\tau)$ teplot měřených odporovým teploměrem a termočlánkem při ohřevu vody a tuhnutí cínu.

6 Použitá literatura

- [1] MFF. *Studijní text*: [Online]. [cit. 26. dubna 2024].
https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_108.pdf
- [2] MFF. *Zadání*: [Online]. [cit. 26. dubna 2024].
<https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/108>
- [3] Čížek, Jakub. *Metoda přenosu chyb*: [Online]. [cit. 26. dubna 2024].
<https://physics.mff.cuni.cz/kfnt/vyuka/upf/cizek/prednaska8.pdf>
- [4] MIKULČÁK, Jiří; KLIMEŠ, Bohdan; ŠIROKÝ, Jaromír; ŠŮLA, Václav a ZEMÁNEK, František. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 5. vydání. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). Praha: Prometheus, 2020. ISBN 978-80-7196-481-0. [cit. 26. dubna 2024].