

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Teodor Duraković

Naměřeno: 27. března 2024

Obor: F

Skupina: St 8:00

Testováno:

Úloha č. 1: Měření teploty

$$T = 22.35\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 98\,900\text{ Pa}$$

$$\varphi = 42.3\text{ \%}$$

1. Zadání

1.1. Identifikace teplotních čidel, relaxační doba

Změřit závislost proudu, resp. odporu, čidel na teplotě a následně čidla identifikovat. Dále změřit relaxační dobu zapouzdřeného a nezapouzdřeného čidla.

1.2. Měření teploty infračerveným teploměrem

- Změřit teplotu měděné desky s emisivitou nastavenou na $\varepsilon = 1$, porovnat výsledky pro černou, bílou a lesklou část desky.
- Změřit teplotu již zmíněného objektu přes vrstvy deseti různých materiálů. Kalkulace propustnosti okének.
- Změřit teplotu vychlazené měděné desky, porovnat výsledek pro část s námrazou a bez námrazy. Kalkulace emisivity obou povrchů.

2. Postup

2.1. Čidla

1. Lázeň se silikonovým olejem za opatrného míchání (promícháváním zajišťujeme rychlejší a rovnoměrnější přenos tepla) pomalu ohříváme. V lázni je umístěn rtuťový teploměr a tři neznámá čidla. Pro termočláanky je referenční teplota realizována tepelně izolovanou nádobou, ve které je umístěna směs vody a ledu, pohybující se velmi blízko teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zde jsou umístěny spoje termočláneků a další rtuťový teploměr. Lázeň ohříváme v rozmezí cca $20 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, po teplotní změně zhruba pěti stupňů vždy zapisujeme hodnoty z obou teploměrů spolu s odpory, resp. napětím čidel.

U odporových čidel očekáváme vztah

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t) \quad (1)$$

Kde R_0 je odpor při určené standardní teplotě, α je teplotní součinitel odporu a Δt je rozdíl teploty měřené a standardní. Při analýze formule (1) vidíme jasnou lineární závislost. Hodnoty proto budeme fitovat lineární funkcí $y = B + AX$, ze které získáme hodnotu R_0 a α :

$$R_0 = B, \alpha = \frac{A}{B} \quad (2)$$

U termoelektrického článku očekáváme vztah

$$U = \beta(t - t_r) \quad (3)$$

Kde β je Seebeckův termoelektrický koeficient a t_r je zmíněná referenční teplota. Získané hodnoty tedy znovu aproximujeme lineární funkcí, získáme Seebeckův koeficient:

$$\beta = A \quad (4)$$

2. Pomocí počítače zapisujeme hodnoty odporu a napětí dvou čidel. Zápis aktivujeme, po změření okolní teploty pod čidla umístíme horkovzdušnou pistoli nastavenou na teplotu 100 °C, ohříváme je až do ustálení hodnot odporu a napětí. Následně pistoli rychle odejmeme, hodnoty měříme až do opětovného ustálení teploty. Z principů termodynamiky a ochlazování objektů očekáváme, že teplota po odejmutí čidla bude popsitelná exponenciální funkcí záporné mocniny. Užijeme tedy aproximace exponenciální funkce. Závislost teploty na čase je popsitelná funkcí

$$t(\tau) = t_2 - (t_2 - t_1)e^{\frac{\tau}{\tau_m}} \quad (5)$$

Kde relaxační doba je τ_m , t_1 je původní teplota a t_2 teplota po zahřátí.

2.2. IR teploměr

1. Přenosný vaříč nahřejeme na teplotu cca 300 °C. Následně změříme teploty různých typů povrchu měděné desky.

Elektromagnetické (tepelné) záření vyzařují všechna tělesa. Emise je ovlivněna zejm. teplotou (při jejím zvyšování platí Wienův posunovací zákon). Ukazuje se, že nejvíce září tělesa, která na dané oblasti vlnových délek nejvíce absorbují - ideálním zářičem je tedy absolutně černé těleso. Odchylku vyzařování konkrétního povrchu od AČR (absolutně černého tělesa, nikoliv armády - tuto zkratku budeme v tomto dokumentu používat vícekrát) popisuje **emisivita** ε :

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{I(\lambda, T)}{I_{\text{AČR}}(\lambda, T)} \quad (6)$$

Z výše uvedeného vztahu a S-B zákona vychází formule pro skutečnou teplotu tělesa, nesplňuje-li kritéria pro AČR:

$$T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\varepsilon}}, \quad \varepsilon = \frac{T_p^4}{T^4} \quad (7)$$

Kde T_p je teplota změřená IR teploměrem očekávajícím záření AČR. 2. Propustnost měříme termokamerou upřenou na zahřátou desku. Měříme vždy co nejrychleji pár teplot bez okénka - s okénkem. Teplotu bez okénka měříme po každém měření přes povrch z toho důvodu, že se deska poměrně rychle ochlazuje. Používáme formule

$$\tau = \frac{T_0^4}{T^4} \quad (8)$$

$$\tau = \frac{T_0^4 - T_P^4}{T_4^4} \quad (9)$$

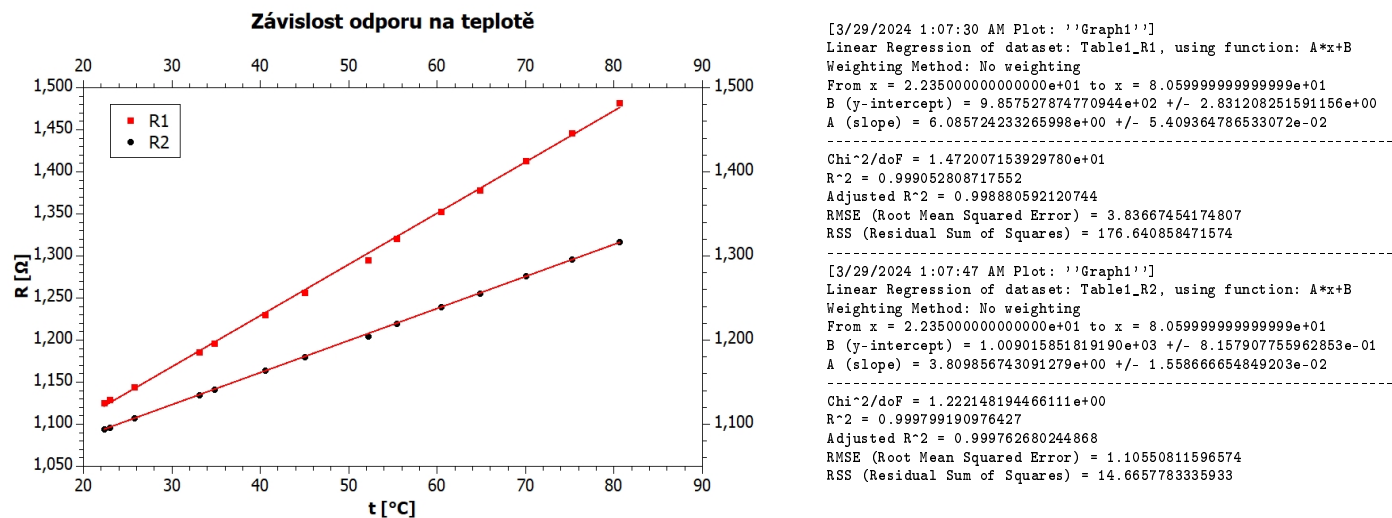
kde T_0 je teplota měřená přes okénko. Formuli (9) použijeme v případech okének s malou propustností, ty poznáme tak, že se teplota naměřená přes ně nebude blížit teplotě měřeného objektu, ale teplotě okolí. T_P je teplota málo vyzařujícího objektu měřená přes okénko - pokud jím zvolíme okolí, můžeme T_P pro všechna okénka položit rovno okolní teplotě (která je rovna teplotě okének). Uvažujeme tedy $T_P = 295.5\text{K}$.

3. Měření

3.1. Čidla

3.1.1 První úloha

Získáváme následující grafy:



(a) Graf závislosti odporu na teplotě s lineárními aproximacemi

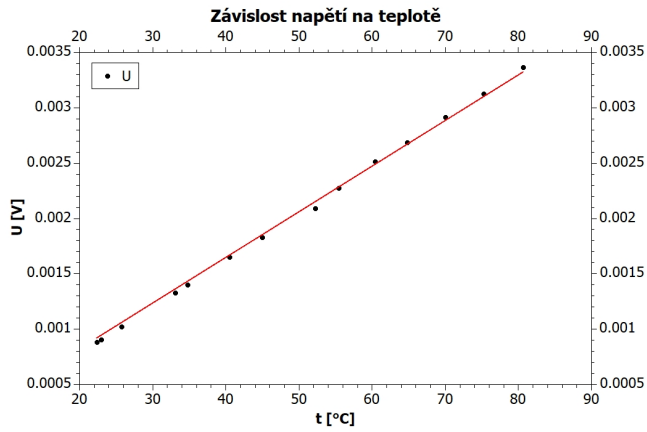
(b) výsledky počítačové aproximace

Užitím formule (2) (a velmi krátkého kódu v Pythonu) získáváme z výsledků počítačového fitu

$$R_{01} = 985 \pm 3 \Omega, R_{02} = 1009 \pm 0.8 \Omega \quad (10)$$

$$\alpha_1 = 0.617 \cdot 10^{-2} \pm 0.006 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}, \alpha_2 = 0.3776 \cdot 10^{-2} \pm 0.0016 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1} \quad (11)$$

Vidíme, že R_0 , tj. odpor při teplotě nula stupňů pro obě čidla činí zhruba 1000Ω . Jejich klasifikace tedy zjevně bude $X1000$, kde X značí materiál snímače. U čidla 1 si můžeme všimnout mnohem větší nejistoty, zároveň na grafu jasně vidíme deviaci od linearity. Tento jev je charakteristický pro Ni čidla a zjištěná skutečnost napovídá, že se bude jednat právě o něj. U čidla 2 jsou odchylky od linearity mnohem nižší, předpokládáme čidlo Pt. Pokud porovnáme získané koeficienty α , své předpoklady potvrdíme. Pro čidlo Ni se jeho hodnota pohybuje v intervalu $0.617 - 0.675 \cdot 10^{-2}$, u čidla Pt $0.385 - 0.391 \cdot 10^{-2}$. S naprostou jistotou lze tedy říci, že u čidla jedna se jedná o Ni1000, u čidla 2 o Pt1000. Pro čidlo měřící napětí získáváme:



```
[3/29/2024 1:12:18 AM Plot: 'Graph2']
Linear Regression of dataset: Table1_U, using function: A*x
Weighting Method: No weighting
From x = 2.235000000000000e+01 to x = 8.059999999999999e+01
A (slope) = 4.122027320386069e-05 +/- 1.732240671896891e-07

Chi^2/dof = 1.150788703342456e-09
R^2 = 0.998362479968588
Adjusted R^2 = 0.998226019965971
RMSE (Root Mean Squared Error) = 3.39232767188321e-05
RSS (Residual Sum of Squares) = 1.49602531434519e-08
```

(a) Graf závislosti napětí na teplotě s lineárními aproximacemi

(b) výsledky počítačové aproximace

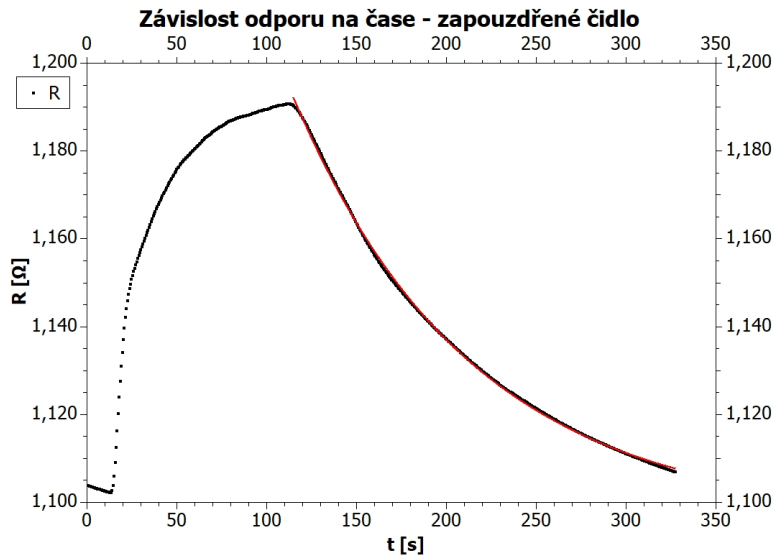
V souladu s formulí (4) získáme Seebeckův koeficient:

$$\beta = 4.122 \cdot 10^{-5} \pm 0.017 \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \quad (12)$$

Tato hodnota se nejvíce blíží termočlánek o složení chromel - alumel ($4.2 \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), což je ostatně jedno z nejčastěji používaných čidel.

3.1..2 Druhá úloha

Získáváme následující grafy:



```
[3/29/2024 2:22:02 AM Plot: 'Graph6']
Exponential decay of dataset: Table3_R, using function: y0+A*exp(-x/t)
Weighting Method: No weighting
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0.0001
From x = 1.155260000000000e+02 to x = 3.271390600000000e+02
A (amplitude) = 3.049424243569190e+02 +/- 1.235437953008848e+00
t (e-folding time) = 9.910052453670433e+01 +/- 4.109632021518551e-01
y0 (offset) = 1.096489714598173e+03 +/- 1.592473668725486e-01

Chi^2/dof = 2.183958822093816e-01
R^2 = 0.999605591585544
Adjusted R^2 = 0.999602367538559
RMSE (Root Mean Squared Error) = 0.467328452171898
RSS (Residual Sum of Squares) = 80.3696846530525

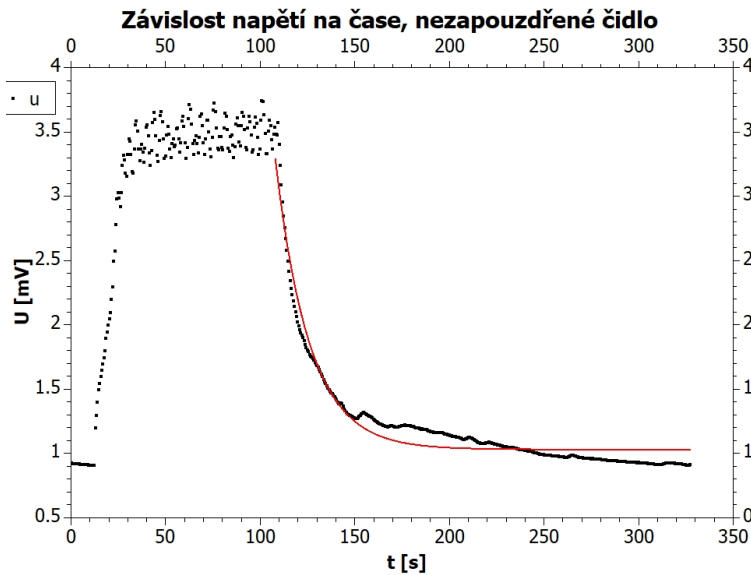
Iterations = 7
Status = success
```

(a) Graf závislosti odporu na čase

(b) výsledky exponenciálního fitu

Pro zapouzdřené čidlo získáváme

$$\tau_m = 99.10 \pm 0.016 \text{ s} \quad (13)$$



(a) Graf závislosti odporu na čase

```
[3/29/2024 2:43:41 AM Plot: 'Graph5']
Exponential decay of dataset: Table3_u , using function: y0+A*exp(-x/t)
Weighting Method: No weighting
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0.0001
From x = 1.0809384000000e+02 to x = 3.2713906000000e+02
A (amplitude) = 9.1467769382112e+02 +/- 1.3878541710017e+02
t (e-folding time) = 1.7982623758038e+01 +/- 4.2526289817182e-01
y0 (offset) = 1.0316344449208e+00 +/- 5.9592369975803e-03

-----
Chi^2/dof = 9.1711600854334e-03
R^2 = 0.9512954976709
Adjusted R^2 = 0.950910988442
RMSE (Root Mean Squared Error) = 0.0957661740148
RSS (Residual Sum of Squares) = 3.49421199255

-----
Iterations = 26
Status = success
```

(b) výsledky exponenciálního fitu

Pro nezapouzdřené čidlo získáváme

$$\tau_m = 17.9 \pm 0.4 \text{ s} \quad (14)$$

Můžeme si všimnout velkého rozdílu hodnot τ_m pro čidla. Výsledek, že relaxační doba bude pro nezapouzdřené čidlo významně kratší než pro čidlo zapouzdřené, je v souladu s našimi předpoklady. Právě pouzdro čidla zpřičňuje akumulaci tepelné energie, čímž je přenos tepla mezi čidlem a okolím pomalejší. Čidlo s pouzdem má mnohem větší tepelnou kapacitu než čidlo bez pouzdra - uvažujeme n-krát větší hmotnost, a tím pádem i n-krát vyšší množství energie, které je v čidlu po dosažení cílové teploty uloženo, jehož následné předání zpět okolí trvá déle. Je nutné konstatovat, že relaxační doba τ_m značí pouze dobu, za kterou bude teplotní rozdíl aktuální a cílové teploty e -krát menší než rozdíl teploty cílové a počáteční.

3.2. měření teploty IR teploměrem

3.2..1 První úloha

Získáváme následující údaje:

	Černá			Lesklá			Bílá		
	T [K]	T_p [K]	ε	T [K]	T_p [K]	ε	T [K]	T_p [K]	ε
1	561.02	562.55	1.011	560.88	424.75	0.329	560.74	561.85	1.008
2	560.20	557.95	0.984	558.72	421.65	0.324	557.24	556.85	0.997
3	556.45	553.65	0.980	553.79	414.85	0.315	551.12	552.35	1.009
4	550.02	548.65	0.990	549.74	416.35	0.329	549.45	546.75	0.980
5	548.82	546.95	0.986	547.79	415.25	0.330	546.75	542.85	0.972
6	545.40	539.05	0.954	543.03	405.15	0.310	540.66	536.75	0.971
7	539.61	536.15	0.975	538.26	405.75	0.323	536.9	533.25	0.973
8	536.20	534.55	0.988	534.73	400.95	0.316	533.26	530.25	0.978
9	532.10	524.15	0.942	532.03	400.05	0.320	531.95	521.15	0.921
10	520.12	519.85	0.998	519.88	397.35	0.341	519.64	513.85	0.956
	0.981			0.324			0.977		

Pro černou, lesklou a bílou část získáváme hodnoty emisivity:

$$\varepsilon_{\check{C}} = 0.981 \pm 0.007, \varepsilon_L = 0.324 \pm 0.003, \varepsilon_B = 0.977 \pm 0.009, (p = 0.6827, \nu = 9).$$

3.2..2 Druhá úloha

	T_V [K]	T_O [K]	τ
Polykarbonát*	467.15	297.65	0.0047
Sklo*	465.55	297.85	0.0052
SiO ₂ *	456.65	297.95	0.0059
CaF ₂	455.45	400.65	0.5988
Ge	453.15	386.65	0.5300
KBr	450.45	440.35	0.9133
NaCl	448.25	425.05	0.8085
PE500	446.65	308.75	0.2283
Si	444.65	388.85	0.5849
GaAs	443.45	394.35	0.6254
Cu*	441.55	297.25	0.0048

Pro získání propustnosti jsme aplikovali formule (8) a (9), druhá formule byla aplikována pro látky označené *.

3.2..3 Třetí úloha

Po odborné aplikaci námrazy na vychlazenou měděnou desku dýchnutím byly změřeny teploty T - kontaktním teploměrem - a T_p - IR teploměrem. Měření bylo opakováno po odstranění námrazy žiletkou. Získali jsme následující údaje o emisivitě:

	T [K]	T_p [K]	ε
S námrazou	255.35	261.85	1.110
Bez námrazy	256.65	295.95	1.768

Vidíme, že jsme dosáhli nereálného výsledku - emisivita z podstaty definice **nemůže** být vyšší než jedna. Systematická chyba je v tomto případě způsobena odraženým zářením. Teplota získaná IR teploměrem je vyšší než teplota skutečná, jelikož teploměr měří i okolní záření objektů pokojové teploty. Toto záření se pokusíme eliminovat položením vychlazené kovové hemisféry s otvorem na destičku a měřením skrze otvor. Teplota je však stále vyšší, než teplota měřená kontaktním teploměrem ($T_p = 272.15$ K), znovu bychom získali emisivitu nereálné hodnoty. V tomto případě chyba nejspíše pramení v záření samotného teploměru, které se mezi deskou a hemisférickou slupkou odráží zpět do měřícího přístroje.

4. Závěr

U čidel se nám úspěšně podařilo změřit závislosti odporu, resp. napětí na teplotě a určit, o jaký typ se jednalo. Měření relaxační doby nám ukázalo, že zapouzdržené čidlo na změny teplot reaguje pomaleji. Měření IR teploměrem ukázalo, že AČR se těleso může blížit nezávisle na barvě povrchu, reflexní vrstvy emisivitu však snižují. Podařilo se nám změřit propustnost deseti různých povrchů a změřili jsme zdánlivé teploty vychlazené měděné desky, u této úlohy se nám však nepodařilo eliminovat odražené okolní záření a úspěšně změřit emisivitu.