

Ústav fyzikální elektroniky PŘF MU

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Artem Gorodilov

Obor: Astrofyzika

Skupina: Pá 10:00

Naměřeno: 21. dubna 2023

Testováno: uznano

Úloha č. 8: Měření teploty

$$T = 19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 988\text{ hPa}$$

$$\varphi = 40\text{ \%}$$

1. Zadání

Zjistit teplotní koeficient elektrického odporu, odpor při normální teplotě a termoelektrický Seebeckův součinitel pro odporová čidla vyrobená z různých termočlánků.

Určit relaxační dobu zapouzdřených a nezapouzdřených snímačů (PT1000 a K-typu).

Určit teplotní koeficient pomocí můstku.

Určit emisivitu pro různé povrchy.

Určit propustnost oken z různých materiálů.

2. Teorie

2.1. Teplotní součinitel elektrického odporu

Pro zjištění teplotního koeficientu elektrického odporu je nutné změřit odpor čidla v závislosti na teplotě.

Snímače se umístí do olejové lázně a zahřívají se v určitém teplotním rozsahu v krocích po 5 až 10 stupních.

Poté bude třeba ze získaných údajů vykreslit grafy.

Koeficienty určíme ze vzorce:

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

kde R je měřený odpor, R_0 je odpor při dané normální teplotě, α je teplotní koeficient elektrického odporu a Δt je rozdíl mezi měřenou a normální teplotou.

Z lineární aproximace určíme koeficienty R_0 a α pomocí následujících vztahů s aproximačními koeficienty A a B :

$$A = R_0\alpha, B = R_0, \alpha = \frac{A}{B}$$

Seebeckův koeficient zjistíme stejnou metodou, ale budeme hledat koeficienty pro vzorec:

$$U = \beta(t_1 - t_2) \quad (2)$$

Z lineární aproximace vyplývá, že koeficient β se rovná koeficientu A

2.2. Relaxační doba

Pro stanovení relaxační doby zapouzdřeného a nezapouzdřeného čidla je zahřejte horkovzdušnou pistolí nastavenou na 200 °C.

Dále nakreslete graf závislosti odporu čidel na čase a napětí na čase, a pomocí exponenciální aproximace zjistěte hodnotu τ_m ze vzorce:

$$t(\tau) = t_2 - (t_2 - t_1)e^{-\frac{\tau}{\tau_m}} \quad (3)$$

kde t_1 a t_2 jsou hodnoty teploty v různých časových okamžicích a τ_m je relaxační doba.

2.3. Můstek

K určení teploty čidla použijeme následující vzorec:

$$\Delta t = \frac{4U}{\alpha U_0} \quad (4)$$

kde U je rozladění můstku, U_0 je napájecí napětí můstku, Δt je rozdíl teplot.

2.4. Emisivita

Pro určení emisivity musíme změřit teplotu materiálu teploměrem a změřit teplotu infračerveným teploměrem. Poté můžeme použít vzorec:

$$\varepsilon = \left(\frac{T_p}{T}\right)^4 \quad (5)$$

kde T_p je teplota naměřená infračerveným teploměrem a T je skutečná teplota materiálu.

Emisivita nastavená na IR teploměru byla $\varepsilon = 1$.

2.5. Propustnost

Koeficient propustnosti oken z různých materiálů lze určit měřením teploty materiálu infračerveným teploměrem přímo a přes okno. Zjištěné hodnoty lze použít ve vzorcích:

$$\tau = \frac{T_{IR,O}^4}{T_{IR,V}^4} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{T_{IR,O}^4 - T_{IR,P}^4}{T_{IR,V}^4} \quad (7)$$

kde $T_{IR,O}$ je teplota měřená přes okno, $T_{IR,V}$ je teplota měřená přímo a $T_{IR,P}$ je teplota objektu s nízkým tepelným vyzařováním.

V tomto případě se vzorec (7) použije pro okna z materiálu s nízkou propustností.

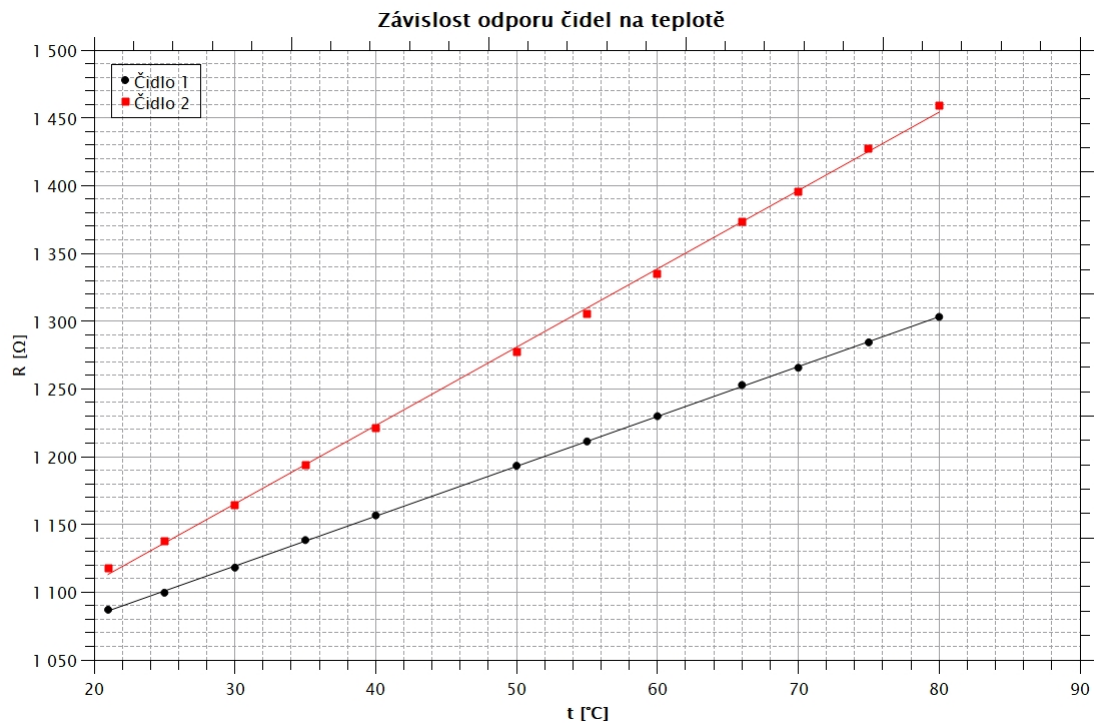
2.6. Měření emisivity materiálu při různých teplotách

Abychom určili emisivitu materiálu při různých teplotách, vezmeme chlazenou měděnou desku pokrytou linií a změříme její teplotu v místě pokrytém linií a bez ní. Poté určíme emisivitu podle vzorce (5)

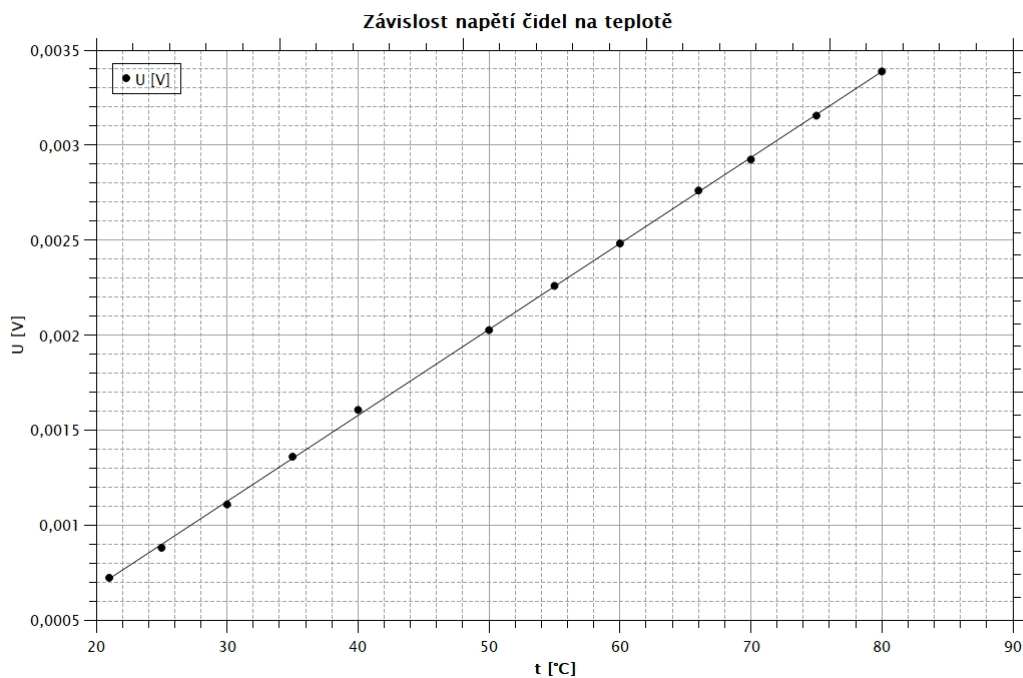
3. Měření

3.1. Teplotní součinitel elektrického odporu

Z našich měření získáme následující graf a jeho lineární aproximace:



Obrázek (1) Závislost odporu čidel na teplotě



Obrázek (2) Závislost napětí čidel na teplotě

Z lineárních aproximací byly získány následující koeficienty:

B (y-intercept)	1,0088949125503e+03	6,8769144055974e- B (y-intercept)	9,9154740006834e+02	2,4342116117969e- B (y-intercept)	-2,3374196976723e-04	1,0726892046856e-05
A (slope)	3,6789705578188e+00	1,2697885827453e- A (slope)	5,7802548464249e+00	4,4946525874014e- A (slope)	4,5259478809237e-05	1,9806681087018e-07
Errors were scaled with $\sqrt{\text{Chi}^2/\text{doF}}$ = 8,5112941419121e-01 Errors were scaled with $\sqrt{\text{Chi}^2/\text{doF}}$ = 3,0127306826442e+00 Errors were scaled with $\sqrt{\text{Chi}^2/\text{doF}}$ = 1,3276264332302e-05						

(a) Odpor čidla 1

(b) Odpor čidla 2

(c) Napětí

Hodnoty R_0 a α stanovené podle vzorce (1) jsou s ohledem na nejistoty následující:

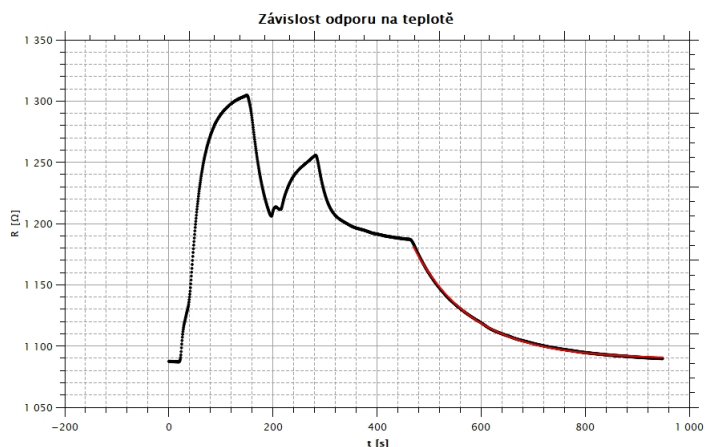
$$\begin{aligned} \text{čidlo 1: } R_{01} &= 1000(1) [\Omega], \alpha_1 = 3.65(1) \times 10^{-3} [K^{-1}], \\ \text{čidlo 2: } R_{02} &= 992(2) [\Omega], \alpha_2 = 5.83(2) \times 10^{-3} [K^{-1}] \end{aligned}$$

Seebeckův koeficient se bude rovnat:

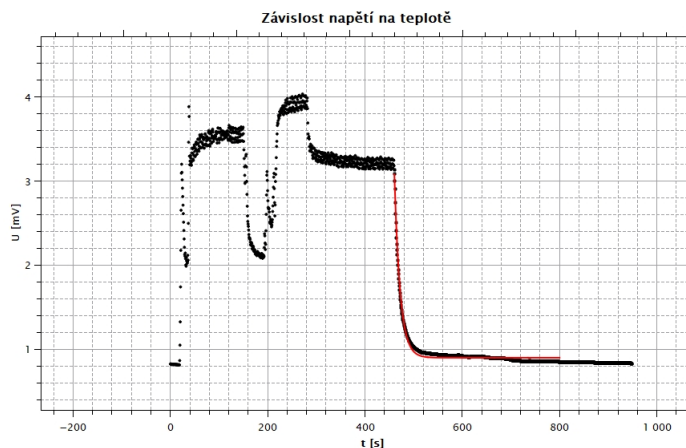
$$\beta = 453\text{E-}7 [\frac{V}{^\circ C}], u_C(\beta) = 2\text{E-}7 [\frac{V}{^\circ C}]$$

3.2. Relaxační doba

Ze získaných hodnot sestrojte následující graf závislosti odporu a napětí na čase pro oba čidla:



Obrázek (4) Závislost odporu na teplotě



Obrázek (5) Závislost napětí na teplotě

Koeficienty jejich exponenciálních aproximací jsou následující:

A (амплитуда)	5,6789700940713e+03	5,6091031133379e+01
t (время убывания в е раз)	1,1386911326820e+02	2,6345235994203e-01
y0 (смещение)	1,0893536887580e+03	4,9396313046893e-02

Errors were scaled with sqrt(Chi^2/dof) = 6,0552748455527e-01

(a) Odpor

A (амплитуда)	2,5293255206747e+17	1,0212750892336e+17
t (время убывания в е раз)	1,1718203611815e+01	1,1908143714992e-01
y0 (смещение)	8,9878816031513e-01	1,5457779432585e-03

Errors were scaled with sqrt(Chi^2/dof) = 3,4919348282008e-02

(b) Napětí

Hodnoty τ_m odvozené z koeficientů exponenciální aproximace:

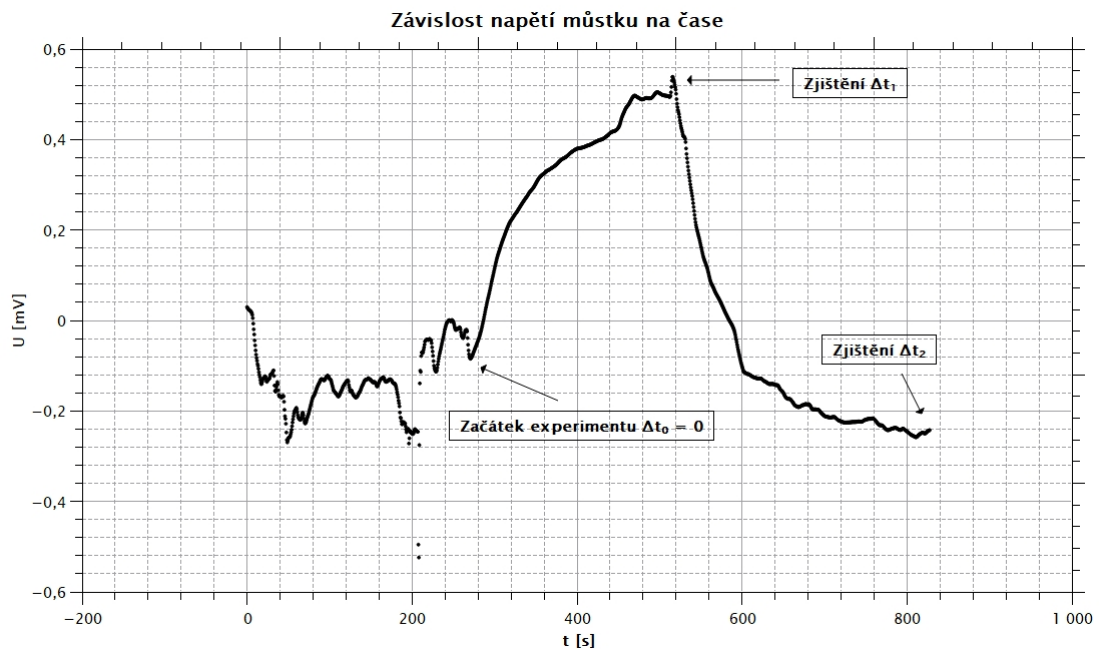
$$\begin{aligned} \text{Napětí: } \tau_{m1} &= 11,7 \text{ [s]}, u_C(\tau_{m1}) = 0,1 \text{ [s]}, \\ \text{Odpor: } \tau_{m2} &= 113,9 \text{ [s]}, u_C(\tau_{m2}) = 0,3 \text{ [s]}, \end{aligned}$$

3.3. Můstek

Známe údaje:

$$U_0 = 2,1953 \text{ [V]}, \alpha = (3,85 \pm 0,04) \times 10^{-3} \text{ [K}^{-1}\text{]}$$

Po měření získáte následující graf:



Obrázek (7) Závislost napětí můstku na čase

Proto se změna jeho teploty vypočtená podle vzorce (4) bude rovnat:

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= 0,25 \text{ [}^\circ\text{C]}, u_C(\Delta t_1) = 0,03 \text{ [}^\circ\text{C]}, \\ \Delta t_2 &= -0,12 \text{ [}^\circ\text{C]}, u_C(\Delta t_2) = 0,01 \text{ [}^\circ\text{C]} \end{aligned}$$

3.4. Emisivita

Po měření byly získány následující výsledky:

	Černý povrch	Šedý povrch	Bílý povrch
T_p [K]	620.7	494.4	648.1
T [K]	608.4	662.8	631.8
ε	1.0834	0.3096	1.1073

Po zaokrouhlení a výpočtu nejistot jsou výsledky následující:

černý povrch: $\varepsilon_1 = 1.1$, $u_C(\varepsilon_1) = 0.001$,

šedý povrch: $\varepsilon_2 = 0.3$, $u_C(\varepsilon_2) = 0.0003$,

bílý povrch $\varepsilon_3 = 1.1$, $u_C(\varepsilon_3) = 0.001$

3.5. Propustnost

Známe údaje:

$$T_{IR,P} = 298.4(1) \text{ [K]}$$

Po měření byly získány následující výsledky:

	$T_{IR,O}$ [K]	$T_{IR,V}$ [K]	τ	$u_C(\tau)$
<i>NaCl</i> (7,4 mm)	507.1	550.2	0.7216	0.001
<i>CaF₂</i> (2 mm)	456.9	568.7	0.4166	0.001
<i>KBr</i> (3 mm)	444.3	536.3	0.4711	0.001
<i>Si</i> (0,5 mm)	442.3	524.3	0.5056	0.001
<i>GaAs</i> (0,5 mm)	455.2	527.1	0.5562	0.001
<i>Polykarbonát</i> (1,5 mm)	302.1	579.7	0.0036	0.0002
<i>Sklo</i> (1 mm)	300.8	574.3	0.0024	0.0002
<i>SiO₂</i> (3 mm)	298.1	556.2	-0.0003	0.0002
<i>Cu</i> (0,3 mm)	299.4	530.2	0.0014	0.0002

3.6. Měření emisivity materiálu při různých teplotách

Po měření byly získány následující výsledky:

	T [K]	T_p [K]	ε	$u_C(\varepsilon)$	
S nánazem	253.6	260.2	0.902	0.002	1.1
Bez nánaza	257.6	271.0	0.816	0.002	>1.2
	-18	18			

K výpočtu chyb byl použit následující kód:

```
import pandas as pd
import numpy as np
import uncertainties as u
from uncertainties import ufloat
from uncertainties.umath import *
from uncertainties import unumpy

ch1_A = ufloat(3.6789705578188, 1.2697885827453*10**(-2))
ch1_B = ufloat(1.0088949125503*10**(3), 6.8769144055974*10**(-1))

ch2_A = ufloat(5.7802548464249, 1.2697885827453*10**(-2))
ch2_B = ufloat(9.9154740006834*10**(2), 2.4342116117969)

U_A = ufloat(4.5259478809237*10**(-5), 1.9806681087018*10**(-7))
U_B = ufloat(-2.3374196976723*10**(-4), 1.0726892046856*10**(-5))

alpha_1 = ch1_A / ch1_B
print(alpha_1)
alpha_2 = ch2_A / ch2_B
print(alpha_2)

U_0 = ufloat(2.1953, 0)
alpha_coeff = ufloat(3.85*10**(-3), 0.04*10**(-3))

U_1 = ufloat(0.53822252*10**(3), 0)
U_2 = ufloat(-0.24239068*10**(3), 0)

dt_1 = (4 * U_1) / (alpha_coeff * U_0)
print(dt_1)
dt_2 = (4 * U_2) / (alpha_coeff * U_0)
print(dt_2)

epsilon_1 = (ufloat(620.7, 0.1) / ufloat(608.4, 0.1))**4
epsilon_2 = (ufloat(494.4, 0.1) / ufloat(662.8, 0.1))**4
epsilon_3 = (ufloat(648.1, 0.1) / ufloat(631.8, 0.1))**4
print(epsilon_1, epsilon_2, epsilon_3)

tau_1 = ufloat(507.1, 0.1)**4 / ufloat(550.2, 0.1)**4
tau_2 = ufloat(456.9, 0.1)**4 / ufloat(568.7, 0.1)**4
tau_3 = ufloat(444.3, 0.1)**4 / ufloat(536.3, 0.1)**4
tau_4 = ufloat(442.3, 0.1)**4 / ufloat(524.3, 0.1)**4
tau_5 = ufloat(455.2, 0.1)**4 / ufloat(527.1, 0.1)**4
tau_6 = (ufloat(302.1, 0.1)**4 - ufloat(298.4, 0.1)**4) / ufloat(579.7, 0.1)**4
tau_7 = (ufloat(300.8, 0.1)**4 - ufloat(298.4, 0.1)**4) / ufloat(574.3, 0.1)**4
tau_8 = (ufloat(298.1, 0.1)**4 - ufloat(298.4, 0.1)**4) / ufloat(556.2, 0.1)**4
tau_9 = (ufloat(299.4, 0.1)**4 - ufloat(298.4, 0.1)**4) / ufloat(530.2, 0.1)**4

print(tau_1, tau_2, tau_3, tau_4, tau_5, tau_6, tau_7, tau_8, tau_9)

epsilon_2_1 = (ufloat(-13, 0.1) / ufloat(-19.6, 0.1))**4
epsilon_2_2 = (ufloat(-2.2, 0.1) / ufloat(-15.6, 0.1))**4
print(epsilon_2_1, epsilon_2_2)
```

4. Závěr

4.1. Teplotní součinitel elektrického odporu

Výsledné hodnoty teplotního koeficientu ($\alpha_1 = 3.647\text{E-}3 [K^{-1}]$) a odporu ($R_{01} = 1000 [\Omega]$) pro první čidlo odpovídají čidlu typu Pt1000.

Výsledné hodnoty teplotního koeficientu ($\alpha_2 = 5.830\text{E-}3 [K^{-1}]$) a odporu ($R_{02} = 992 [\Omega]$) pro druhý čidlo odpovídají čidlu typu Ni1000.

Na základě výsledného seebeckův koeficientu ($\beta = 453\text{E-}7 [\frac{V}{^\circ C}]$) jsem také určil, že termočlánek je typu K.

4.2. Relaxační doba

Relaxační doby, které jsem získal pro oba čidla ($\tau_{m1} = 11,7 [s]$, $\tau_{m2} = 113,9 [s]$), ukazují, že nezapouzdřené čidlo má kratší relaxační dobu než zapouzdřené čidlo, což svědčí o jeho vysoké citlivosti na změny teploty.

4.3. Můstek

Měření na můstku poskytlo hodnoty pro teplotní rozsahy ($\Delta t_1 = 0,25 [^\circ C]$, $\Delta t_2 = -0,12 [^\circ C]$), které se vyskytují, když je senzor izolovaný. Tyto teplotní rozsahy představují chyby výpočtu, které je třeba při měření zohlednit.

4.4. Emisivita

Emisivita, kterou jsem definoval pro různé povlaky, je následující: černý povrch: $\varepsilon_1 = 1.1$, šedý povrch: $\varepsilon_2 = 0.3$, bílý povrch $\varepsilon_3 = 1.1$. Což je aproximace k tabulkovým údajům.

4.5. Propustnost

Z výsledků vyplývá, že okna ze *NaCl*, *CaF₂*, *KBr*, *Si* a *GaAs* propouštějí záření, a okna z *Polykarbonátu*, *Skla*, *SiO₂* a *Cu* nikoli.

4.6. Měření emisivity materiálu při různých teplotách

Získal jsem také hodnoty emisivity pro měděnou desku při různých teplotách, s povlakem a bez něj (s iníem: $\varepsilon = 0.902$, bez inia: $\varepsilon = 0.816$).