

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Teodor Duraković

Naměřeno: 13. března 2024

Obor: F

Skupina: St 8:00

Testováno:

Úloha č. 6: Tepelné vlastnosti kapalin - elektrický

$T = 20.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  kalorimetr

$p = 98\,741\text{ Pa}$

$\varphi = 45.1\text{ }\%$

### 1. Zadání

Zadání č. 4 - Navrhněte takové uspořádání experimentu, při kterém principiálně nedojde ke zkreslení výsledku vlivem tepelných ztrát. Řešením tohoto úkolu se nemyslí maximální tepelná izolace nádoby kalorimetru.

### 2. Postup

Elektrický kalorimetr je zařízení, které dovoluje měřit tepelnou kapacitu kapalin i pevných látek. Na rozdíl od kalorimetru směšovacího dovoluje jednoduše určit měrnou tepelnou kapacitu absolutně a nikoliv jen relativně vzhledem ke kapacitě nějaké jiné látky. Elektrický kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba s elektrickou topnou spirálou, teploměrem a míchačkou. Energie, kterou topná spirála dodá do kalorimetru, se určí jednoduše z proudu, napětí a času, po který spirála pracovala. Pokud neuvažujeme tepelné ztráty, můžeme pro energetickou výměnu mezi spirálou a kalorimetrem s náplní psát:

$$(mc + K)(t - t_p) = UI\tau \quad (1)$$

Kde  $m$  je hmotnost látky v kalorimetru,  $c$  její měrná tepelná kapacita,  $K$  kapacita kalorimetru,  $t$  a  $t_p$  teplota koncová, resp. počáteční,  $U, I$  napětí a proud a  $\tau$  je čas, po který je spirála daným výkonem ohřívána. Při uvážení tepelných ztrát se formule (1) změní následovně:

$$(mc + K)dt + dQ_s = UI d\tau \quad (2)$$

Přičemž tepelné ztráty  $dQ_s$  jsou (uvažujeme-li Newtonův zákon ochlazování) přímo úměrné rozdílu teplot objektu a okolí:

$$dQ_s = \beta(t - t_o)d\tau \quad (3)$$

kde  $\beta$  je koeficient chladnutí.

#### 2.1. Minimalizace tepelných ztrát

Z formule (3) vidíme, že celkové tepelné ztráty získáme integrací pravé strany rovnice přes čas:

$$Q_s = \int_{\tau} \beta(t - t_o)d\tau \quad (4)$$

**Pro nulové tepelné ztráty se tento integrál musí rovnat nule**, čehož přibližně dosáhneme tím, že počáteční rozdíl teplot kalorimetru a okolí bude roven záporně vzatému koncovému rozdílu teplot:

$$(t_p - t_o) = -(t_k - t_o) \quad (5)$$

**Hlavní částí experimentu bude tedy ohřátí vody o  $2(t_o - t_p)$  °C.**

K experimentální kalkulaci tepelné kapacity vody budeme ještě potřebovat kapacitu kalorimetru  $K$

$$K = kc, \quad (6)$$

kteřou získáme z redukované kapacity kalorimetru  $k$ , kterou zjistíme experimentálně použitím vztahu

$$k = \frac{m_2(t_2 - t)}{(t - t_1)} - m_1 \quad (7)$$

V kalorimetru je tedy třeba provést směšovací měření vody.

### 3. Údaje použitých přístrojů

Název přístroje	typ přístroje	krajní nejistota
KPZ 2-05-4	váha	1g
CEM DT-613	teploměr	$\pm 0,15 + 1$
Sensit T63-135	snímač teploty - voda	$\pm 0,01 + 0,6$
Sensit T63-25	snímač teploty - vzduch	$\pm 0,01 + 0,6$

#### 3.1. Měření

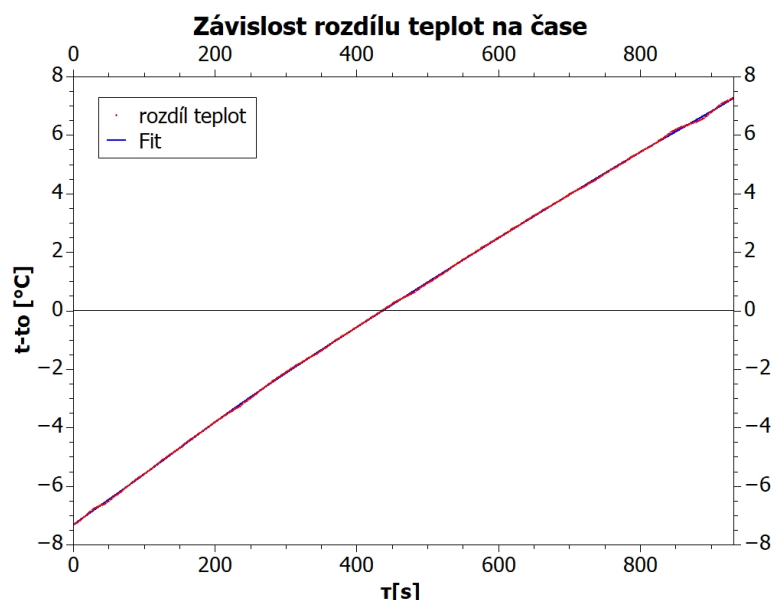
Nejdříve získáme redukovanou kapacitu kalorimetru. Smísíme v něm studenou a teplou vodu o přibližně stejných hmotnostech a teplotu po ustálení odečteme. Získáme následující údaje:

	m[g]	t[°C]
Studená voda	199,1	18,224
Teplá voda	200,3	42,115
Výsledek		28,733

$$k = \frac{m_2(t_2 - t)}{(t - t_1)} - m_1 = \frac{0.1991(42.115 - 28.807)}{(28.733 - 18.224)} - 0.2003 = 0.0560 \pm 0.0019 \text{ kg}$$

$$K = kc = 234 \pm 8 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

Následně do kalorimetru vložíme studenou vodu a ohříváme ji tepelnou spirálou s výkonem  $P = 30 \text{ W}$ . Zapišeme rozdíl teplot na počátku a měříme, dokud není splněna formule (5), přidáme nějakou rezervu. Následně vyhodnotíme data:



Proložíme-li graf hodnot polynomem, můžeme tuto spojitou funkci integrovat a následně získat tepelné ztráty podělené chladicí konstantou (jelikož její hodnotu neznáme):

$$\frac{Q_s}{\beta} = \int a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + a_3\tau^3 d\tau \quad (8)$$

Při zafixování spodní meze a proměnné horní meze hledáme hodnotu  $\tau_2$ , při které bude integrál velice blízko nule. Při  $\tau = 890$  s získáváme hodnotu  $\frac{Q_s}{\beta} = 0 \pm 50$ . (Od výše zmíněného předpokladu (5) se tento výsledek liší pouze o cca. deset sekund - předpoklad by byl splněn po 931.7 s experimentu.)

### 3.2. Tepelné ztráty pomocí kalorimetrické rovnice

$m = 0.4006$  kg vody je ohřáto z počáteční teploty  $t_p = 13.83$  °C na teplotu  $t_k = 27.74$  °C výkonem  $P = 30.2$  W za dobu  $\tau = 888.8$  s. Získaná kapacita kalorimetru je  $K = 234$  J.K<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> Po dosazení do vzorce uvažujícího tepelné ztráty (při použití tabulkové hodnoty tepelné kapacity vody) získáme:

$$Q_s = P\tau - (mc + K)(t_k - t_p) = 260 \pm 150 \text{ J} \quad (9)$$

Což je v porovnání s cca 30 kJ dodaného tepla **velmi** uspokojivá hodnota

## 4. Tepelná kapacita vody

Se získanými veličinami můžeme spočítat dle rovnice (2) tepelnou kapacitu vody:

$$c = \frac{\frac{P\tau - Q_s}{t_k - t_p} - K}{m} = 4231 \pm 28 \text{ J.}^\circ\text{C}^{-1}.\text{kg}^{-1} \quad (10)$$

## 5. Závěr

Z experimentu vyplývá, že při správném uspořádání pokusu elektrického kalorimetru s cílem minimalizace tepelných ztrát lze dosáhnout výsledku, který bude mít přijatelnou hodnotu i bez zohlednění tepelných ztrát.