Ústav fyzikální elektroniky PřF MU

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Artem Gorodilov **Naměřeno:** 31. března 2023

Obor: Astrofyzika **Skupina:** Pá 10:00 **Testováno:** uznano

---

Úloha č. **6:** **Tepelné vlastnosti kapalin – elektrický kalorimetr**

$T = 19,0$ °C
$p = 977$ hPa
$\varphi = 32,3$ %

1. Zadání

Je třeba stanovit podmínky, za kterých budou tepelné ztráty elektrického kalorimetru pro výpočty zanedbatelné (Úkol č. 4).

2. Teorie

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:

$$(mc + K)(t - t_p) = UI\tau \tag{1}$$

kde m je hmotnost kapaliny, c je měrná tepelná kapacita kapaliny, K je tepelná kapacita kalorimetru, t_p je počáteční teplota, t je koncová teplota, U je napětí dodávané do kalorimetru, I je proud protékající kalorimetrem a τ je doba měření.

Hledám takový $(t - t_p)$, kde budou tepelné ztráty minimální.

Použijeme vzorec pro nekonečně malou tepelnou ztrátu kalorimetru za nekonečně malou dobu $d\tau$:

$$dQ_s = \beta(t_k - t_0)d\tau \tag{2}$$

kde b je konstanta úměrnosti, kterou nazýváme chladicí koeficient, t_k je teplota kalorimetru, a t_0 je teplota okolí.

Z toho vyplývá, že tepelné ztráty budou minimální, když v závislosti $(t_k - t_0)$ na čase τ bude součet závislostí mezi počáteční teplotou a konečnou teplotou na čase nulový (tj. integrál na grafu závislosti $(t_k - t_0)$ na τ, od t_p do t bude nulový). Tímto způsobem budeme moci získat optimální hodnoty t_p a t.

Dále je třeba zjistit tepelnou kapacitu kalorimetru K. Tu lze zjistit ze vzorce:

$$K = kc \tag{3}$$

kde k je redukovaná kapacita kalorimetru.

Redukovanou kapacitu kalorimetru lze získat z pokusu se smícháním kapalin o stejné hmotnosti, ale různých teplotách. Poté lze hodnoty hmotnosti a teploty dosadit do vzorce:

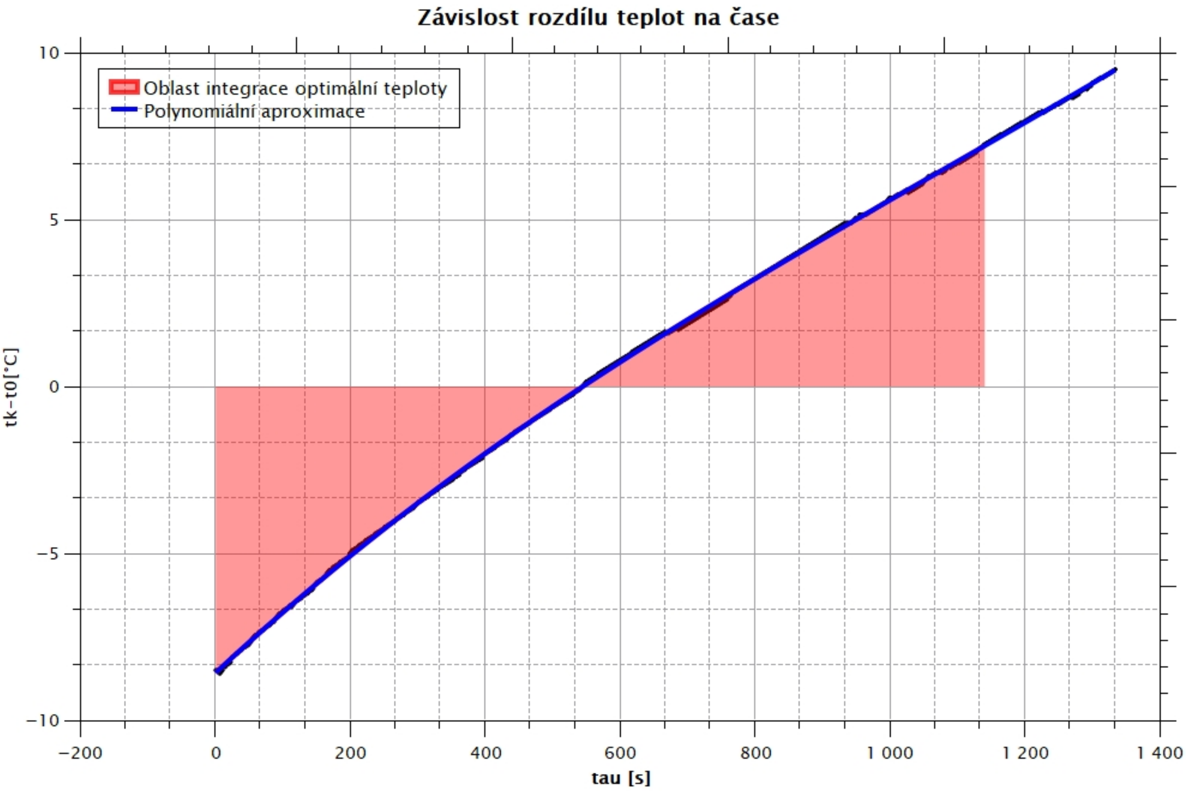
$$k = \frac{(m_2 - m_0)(t_2 - t)}{t - t_1} - (m_1 - m_0) \tag{4}$$

kde kde m_0 je hmotnost prázdné nádoby, m_1 je hmotnost studené vody, m_2 je hmotnost teplé vody, t_1 je teplota studené vody, t_2 je teplota teplé vody a t je teplota vody po smíchání.

3. Měření

3.1. Určení optimálního teplotního rozsahu

Vykreslíme graf závislosti rozdílu teplot na čase:



Obrázek 1: Závislost rozdílu teplot na čase

Výsledné hodnoty nejistot přístroje:

$u_B(t)$ [^oC]	$u_B(\tau)$ [s]	$u_B(v)$ [g]
0.03	0.03	0.03

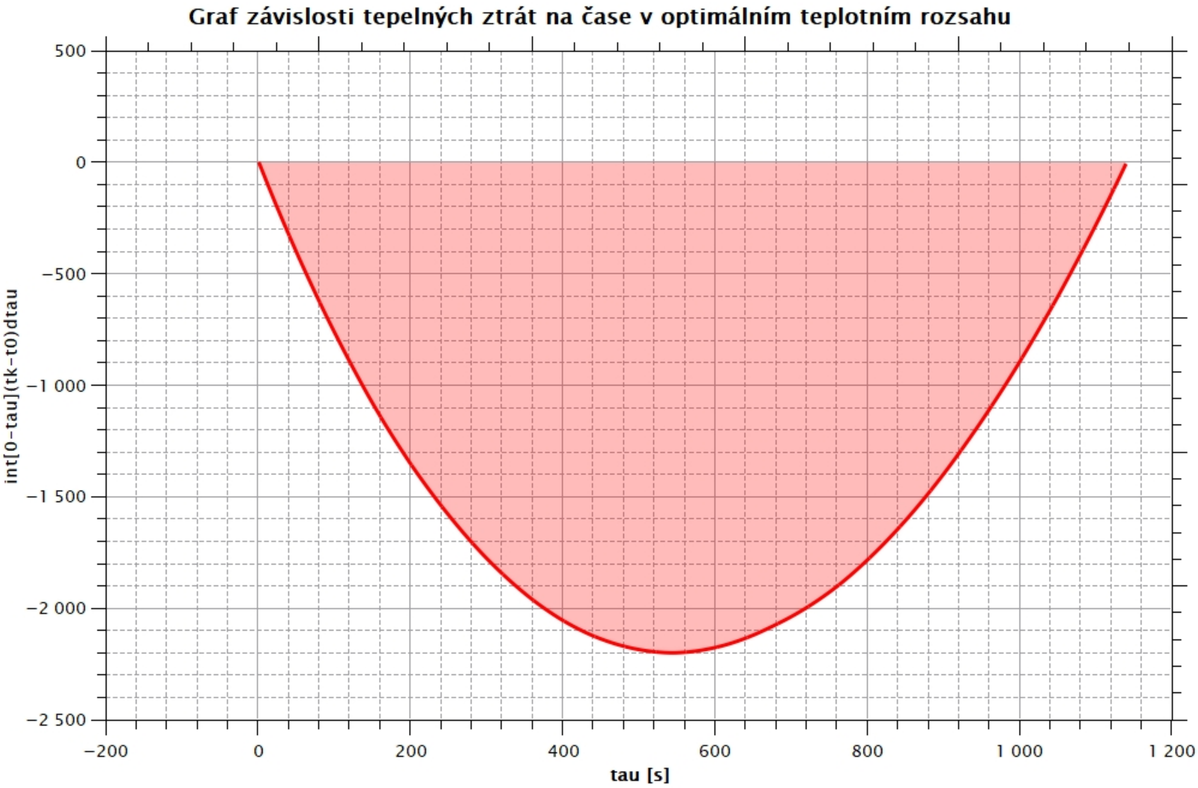
Interpolací a výběrem hodnot pro integraci získáme následující optimální hodnotu rozdílu teplot:

$$(t_k - t_p) = 15.8\ [^oC],\ u_C(t_k - t_p) = 0.04\ [^oC]$$

Pokud je $t_p = 12.5[^oC]$, pak z výsledků vyplývá, že optimální koncová teplota bude rovna:

$$t = 28.3\ [^oC],\ u_C(t) = 0.04\ [^oC],$$
$$\text{přičemž } t_0 = 20.3\ [^oC]$$

Uvádíme také graf závislosti tepelných ztrát $(\int_0^\tau (t_k - t_0) d\tau)$ na čase (τ):



Obrázek 2: Graf závislosti tepelných ztrát na čase v optimálním teplotním rozsahu

3.2. Určení tepelné kapacity kalorimetru

Po měření byly získány následující výsledky:

$$m_0 = (241.1 \pm 0.03)\ [g]$$
$$m_1 = (499.5 \pm 0.03)\ [g]$$
$$m_2 = (499.9 \pm 0.03)\ [g]$$
$$t_1 = (19.4 \pm 0.03)\ [^oC]$$
$$t_2 = (29.3 \pm 0.03)\ [^oC]$$
$$t = (24.4 \pm 0.03)\ [^oC]$$

Z tabulkových údajů vyplývá, že:

$$c_v = 4.19\ [\frac{J}{kg \times {}^oC}]$$

Proto vychází:

$$k = 26\ [g],\ u_C(k) = 4\ [g]$$

Z toho lze vypočítat tepelnou kapacitu kalorimetru:

$$K = 110\ [\frac{J}{^oC}],\ u_C(K) = 17\ [\frac{J}{^oC}]$$

3.3. Kontrola vzorce (1)

Byly naměřeny následující proudové výkony:

$$UI = P = 30.3\ [W]$$

Doba experimentu se rovná:

$$\tau = 1334.4\ [s],\ u_C(\tau) = 0.03\ [s]$$

Hmotnost kapaliny se rovná:

$$m = 576.8\ [g],\ u_C(m) = 0.04\ [g]$$

Dosazením těchto hodnot do vzorce (1) získáme:

$$(39930 \pm 280 = 40432 \pm 1)\ [J]$$

Z toho je patrné, že rozdíl mezi těmito hodnotami představuje tepelné ztráty:

$$Q_s = (511 \pm 280)\ [J]$$

3.4. Zjištění měrné tepelné kapacity vody

Ze vzorce (1) určete měrnou tepelnou kapacitu vody:

$$c = 4.25\ [\frac{J}{kg \times {}^oC}],\ u_C(c) = 0.03\ [\frac{J}{kg \times {}^oC}]$$

Pro interpolaci, integraci a výpočet chyby 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
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import AutoMinorLocator
from matplotlib import gridspec
from scipy import interpolate, integrate

temp = pd.read_csv('temp.csv') #file is attached to the document

temp['tk'] = (temp['tk_1'] + temp['tk_2']) / 2
temp['t0'] = (temp['t0_1'] + temp['t0_2']) / 2
temp['tk-t0'] = temp['tk'] - temp['t0']

f = interpolate.interp1d(temp['tau'], temp['tk-t0'], kind='cubic', bounds_error=False)

def integrand(x):
    return f(x)

result = integrate.quad(integrand, 1.22566, 1140.88)
print(result)

print(f(1140.88))
print(f(1.22566))

m_0 = ufloat(241.1, 0.03)
m_1 = ufloat(499.5, 0.03) - m_0
m_2 = ufloat(499.9, 0.03) - m_0
t_1 = ufloat(19.4, 0.03)
t_2 = ufloat(29.9, 0.03)
t = ufloat(24.4, 0.03)
c = ufloat(4.19, 0)

k = ((m_2*(t_2-t))/(t-t_1)) - m_1
print(k)

K = k * c
print(K)

m = ufloat(576.8, 0.04)
tau = ufloat(1334.4, 0.03)
P = ufloat(30.3, 0.002)
dt = ufloat(15.8, 0.04)

print((m*c + K)*dt ,'=', P*tau)
print((m*c + K)*dt - P*tau)
print(np.mean(temp['t0']))
print((m*c + K)*dt - P*tau)

c_2 = (((P*tau)/(dt)) - K)/m
print(c_2)
```

4. Závěr

Výsledky ukazují, že při správné volbě teplotního rozsahu je možné provádět velmi přesná měření teploty kapalin pomocí elektrického kalorimetru bez zohlednění tepelných ztrát.

V tomto případě je tepelná ztráta pro mnou vypočtený teplotní rozsah velmi malou hodnotou (Q_s = (511 ± 280) [J]), kterou lze při výpočtech se střední přesností zanedbat.

Výsledná hodnota měrné tepelné kapacity ($c = 4.25$ [$\frac{J}{kg \times ^oC}$]) rovněž odpovídá tabulkové hodnotě $c = 4.19$ [$\frac{J}{kg \times ^oC}$].

Podstata chyb v tomto případě spočívá v měření teploty. Přesnost měření teploty je pravděpodobně nejdůležitějším prvkem výpočtu, protože se s ní provádí většina výpočtů.