

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 7. května 2024

Obor: F

Skupina: Út 16:00

Testováno:

Úloha č. 6: **Tepelné vlastnosti kapalin – elektrický kalorimetr**
 $T = 21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $p = 101,35\text{ kPa}$
 $\varphi = 47,7\text{ \%}$

1. Úvod

Elektrický kalorimetr je zařízení, které umožňuje měřit tepelnou kapacitu látky v něm. V úloze si jeden kalorimetr poskládám a pokusím se ho zkalibrovat. Zároveň bych měl být schopný dopočítat měrnou tepelnou kapacitu kalibrační kapaliny. V úloze použiju kohoutkovou vodu.

2. Teorie

Fyzicky je elektrický kalorimetr tepelně izolovaná nádoba s teploměrem, míchačkou a elektrickou topnou spirálou o výkonu UI . Dokud v něm probíhají tepelné změny pomalu, můžu pro něj vyjádřit 1. termodynamický zákon

$$dE = UI d\tau \quad (1)$$

$$= (mc + K)dt, \quad (2)$$

kde K je kapacita kalorimetru, τ je čas, m hmotnosti látky a c její měrná tepelná kapacita. Pro reálné kalorimetry je ale potřeba uvažovat i ztráty do okolí dQ_s . Předpokládejme, že jsou podle Newtonova zákona přímo úměrné rozdílu teplot oproti teplotě okolí t_0

$$dQ_s = \beta(t - t_0)d\tau \quad (3)$$

$$UI d\tau = (mc + K)dt + dQ_s \quad (4)$$

přičemž veličina β je takto definovaný koeficient chladnutí. Je víc způsobů jak kalorimetr použít, vždycky ale bude prvně potřeba znát kapacitu K a koeficient chladnutí β .

2.1. Měření koeficientu chladnutí kalorimetru β

Uvažujme řešení rovnice (2), kde v čase $\tau = 0$ je teplota kalorimetru rovná teplotě okolí ($t = t_0$) a látku uvnitř ohřívá nenulový výkon spirály. Dosazením dostávám

$$UI = (mc + K) \frac{dt}{d\tau}(0). \quad (5)$$

Zrealizuju popsany experiment, změřím rychlost růstu teploty na začátku a dozvím se celkovou tepelnou kapacitu ($mc + K$). Pokud nechám kapalinu dál ohřívat, bude růst rozdíl teplot ($t - t_0$) a nakonec se ztráty do okolí vyrovnají příkonu UI . Je to moment v čase τ_f , kdy $dt = 0$.

$$UI = \beta(t_f - t_0) \quad (6)$$

Mohl, bych opravdu počkat než se teplota ustálí, ale to by přesahovalo dobu trvání praktika. Místo toho vyřeším analyticky rovnici (2) pro popsané počáteční podmínky

$$t = t_0 + \frac{UI}{\beta} \left(1 - e^{-\frac{\beta}{mc+K}\tau}\right) \quad (7)$$

a koeficient chladnutí β určím z fitu exponenciely, kde už znám ($mc + K$). Tento výraz ještě přepíšu pomocí redukované kapacity kalorimetru $\kappa = \frac{K}{c}$ jako

$$mc + K = c(m + \kappa), \quad (8)$$

kde k dopočítání měrné tepelné kapacity ještě potřebuji změřit κ .

2.2. Měření kapacity kalorimetru K

Do kalorimetru naplněného kapalinou o počáteční teplotě t_1 a hmotnosti m_1 přidám tu samou kapalinu o teplotě $t_2 > t_1$ a hmotnosti m_2 . Platí kalorimetrická rovnice

$$(m_1c + K)(t - t_1) = m_2c(t_2 - t) \quad (9)$$

do které dosadím redukovanou kapacitu

$$c(m_1 + \kappa)(t - t_1) = m_2c(t_2 - t) \quad (10)$$

$$(m_1 + \kappa)(t - t_1) = m_2(t_2 - t) \quad (11)$$

a měrné tepelné kapacity se zkrátí. Vyjádřím κ

$$\kappa = m_2 \frac{t_2 - t}{t - t_1} - m_1 \quad (12)$$

odkud spolu se vztahem (8) můžu dopočítat měrnou tepelnou kapacitu c i kapacitu kalorimetru K , pokud jsem použil tu stejnou kapalinu.

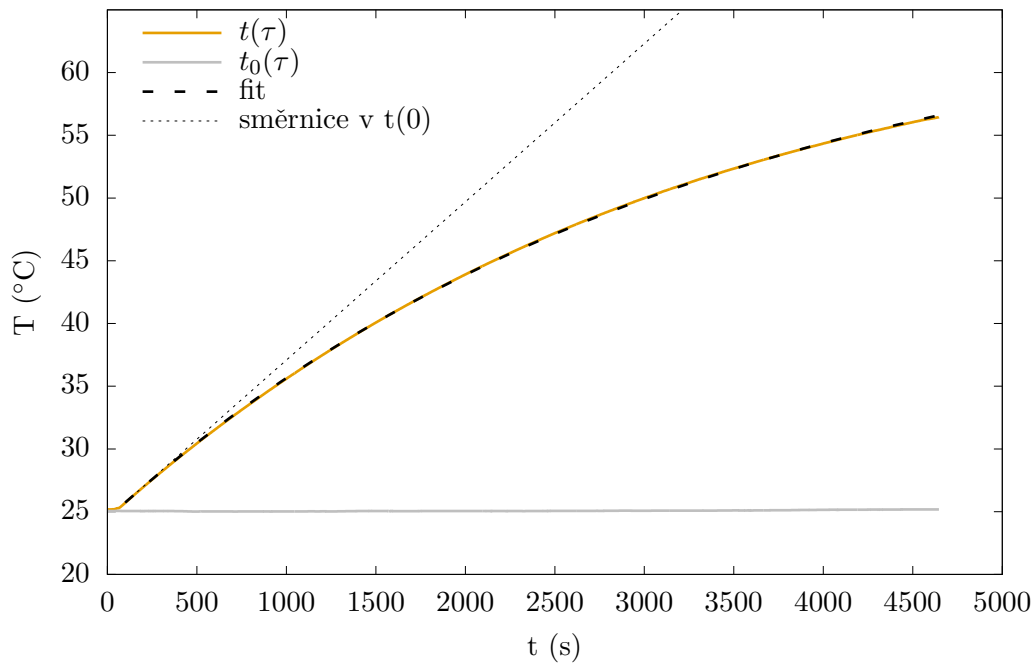
3. Postup měření

Kalorimetr normálně chceme mít s co nejmenšími ztrátami do okolí, abychom ho při běžném používání mohli považovat za úplně izolovaný. Při konstrukci toho mého se budu v zájmu kratšího měření snažit o opak. Na magnetickou míchačku pološím větší kádinku, kterou můžu přiklopit víkem s visutou topnou spirálou a otvory pro teploměry. Nádoba je uzavřená, takže výměna tepla ven z kádinky bude probíhat pouze vedením a tím splňuje podmínky kalorimetru. Jako kalibrační kapalinu použiju vodu z kohoutku.

4. Výsledky měření

4.1. Měření koeficientu chladnutí kalorimetru β

Naplnil jsem kalorimetr vodou o hmotnosti $m_\beta = (349.5 \pm 0.04)$ g a počkal než se teplota vyrovná s teplotou okolí. Potom jsem zapojil topnou spirálu ke zdroji o příkonu 20 W a měřil teplotu v kádince. Naměřené hodnoty jsou uvedené v grafu 1. a fit je rovnicí (7).



Graf 1: Závislost teploty v kalorimetru na čase

$$\beta = (0.4881 \pm 0.0001) \text{WK}^{-1}$$

$$mc + K = (1585 \pm 5) \text{JK}^{-1}$$

4.2. Měření kapacity kalorimetru K

Připravil jsem kádinku s vodou o teplotě $t_2 = (41.9 \pm 0.05) ^\circ\text{C}$ a hmotnosti $m_2 = (236.6 \pm 0.2) \text{ g}$ a kalorimetr naplnil vodou o teplotě $t_1 = (24.1 \pm 0.05) ^\circ\text{C}$ a hmotnosti $m_1 = (429.0 \pm 0.2) \text{ g}$. Po přelití teplejší vody do kalorimetru se teplota ustálila na $t = (30.1 \pm 0.05) ^\circ\text{C}$. Ze vztahu (12) vypočítám redukovanou kapacitu κ a ze vztahu (8) měrnou tepelnou kapacitu vody c a kapacitu kalorimetru K .

$$\kappa = (0.036 \pm 0.007) \text{ kg}$$

$$K = (149 \pm 30) \text{ JK}^{-1}$$

$$c_v = (4110 \pm 80) \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$$

5. Závěr

Postavil jsem kalorimetr z kádinky a změřil jeho kapacitu $K = (149 \pm 30) \text{ JK}^{-1}$ a koeficient chladnutí $\beta = (0.4881 \pm 0.0001) \text{ JK}^{-1}$. Navíc jsem změřil i měrnou tepelnou kapacitu vody $c_v = (4110 \pm 80) \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Tabulky udávají hodnotu $4128 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Největším zdrojem nejistoty jsou nejistoty teplot t_1 , t_2 a t . Ve vztahu (12) se totiž odčítají dvě velmi podobné hodnoty

$$m_2 \frac{t_2 - t}{t - t_1} = (0.465 \pm 0.007) \text{ g}$$

$$m_1 = (0.429 \pm 0.00002) \text{ g}$$

a velká část přesnosti měření se tak ztratí.