

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.

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 ho považovat za kvazistacionární termodynamickou soustavu o teplotě t a vyjádřit pro něj 1. termodynamický zákon

$$dE = UI d\tau = (mc + K)dt, \quad (1)$$

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

$$UI d\tau = (mc + K)dt + dQ_s, \quad dQ_s = \beta(t - t_0)d\tau, \quad (2)$$

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

$$UI = (mc + K)\frac{dt}{d\tau}(0). \quad (3)$$

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

$$UI = \beta(t_f - t_0) \quad (4)$$

Mohl, bych opravdu počkat než se teplota ustálí, ale to by přesahovalo dobu trvání praktika. Místo toho vyřeším analyticky rovnici (3) pro popsané počáteční podmínky

$$t = t_0 + \frac{UI}{\beta} \left(1 - e^{-\frac{\beta}{mc+K}\tau}\right) \quad (5)$$

a koeficient chladnutí β určím z fitu exponenciely, kde už znám $(mc + K)$.

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

$$(m_1 c + K)(t - t_1) = m_2 c(t_2 - t) \quad (6)$$

do které můžu dosadit měrnou tepelnou kapacitu c z měření β v případě, že jsem používal tu stejnou kapalinu jako kalibrační látku.

$$c = \frac{K_\beta - K}{m_\beta}, \quad K = \frac{K_\beta \varpi}{1 + \varpi}, \quad \varpi = \frac{m_2 t_2 - t}{m_\beta t - t_1} - \frac{m_1}{m_\beta} \quad (7)$$

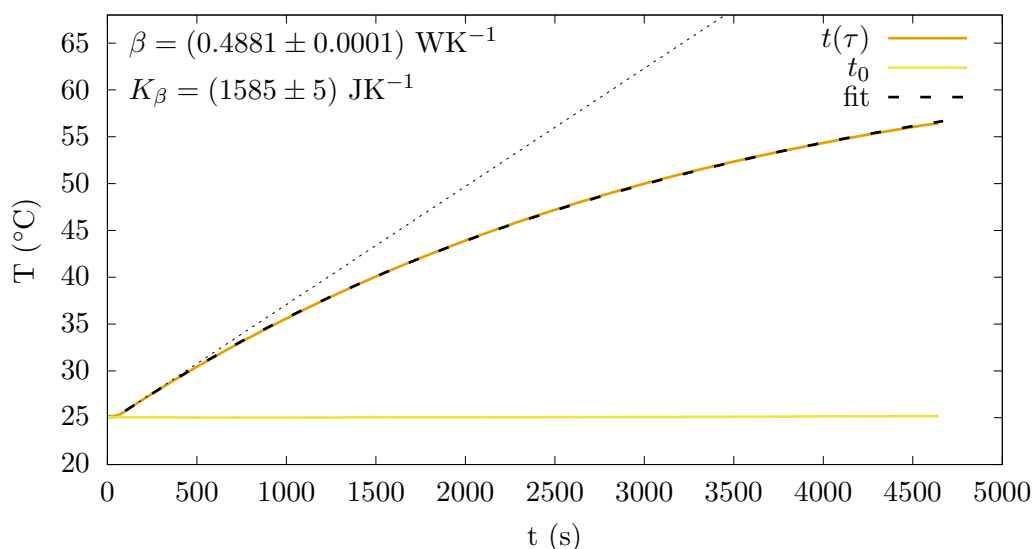
3. Postup měření

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. Výměna tepla ven z kádinky bude probíhat pouze vedením, takže ji můžu prohlásit za kalorimetr. 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 (6).



Graf 1: Závislost teploty v kalorimetru na čase

4.2. Měření kapacity kalorimetru K

Připravil jsem kádinku s vodou o teplotě $t_2 = (41.3 \pm 0.1) ^\circ\text{C}$ a hmotnosti $m_2 = (190.7 \pm 0.02) \text{ g}$ a kalorimetr naplnil vodou o teplotě $t_1 = (24.1 \pm 0.1) ^\circ\text{C}$ a hmotnosti $m_1 = (249.0 \pm 0.02) \text{ g}$. Po přelití teplejší vody do kalorimetru se teplota ustálila na $t = (30.2 \pm 0.1) ^\circ\text{C}$. Ze vztahu (9) můžu dopočítat tepelnou kapacitu a potom i měrnou tepelnou kapacitu vody.

$$K = (347 \pm 26) \text{ JK}^{-1} \quad (8)$$

$$c_{\text{vody}} = (3540 \pm 80) \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1} \quad (9)$$

5. Závěr

Postavil jsem kalorimetr z kádinky a změřil jeho kapacitu $K = (347 \pm 26) \text{ JK}^{-1}$ a koeficient chladnutí $\beta = (0.4881 \pm 0.0001) \text{ JK}^{-1}$. Jako vedlejší produkt jsem změřil i měrnou tepelnou kapacitu vody $c_{\text{vody}} = (3540 \pm 80) \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Tabulky udávají hodnotu $4128 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Největší příčinu chyby vidím v druhé části měření. Ustálení na teplotě $30 ^\circ\text{C}$ se mi zdá moc malá teplota oproti poměru hmotností $m_1:m_2$. Měl jsem použít větší objemy vody.