

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Tomáš Plšek, 461281

Naměřeno: 23.3.2017

Obor: Astrofyzika

Skupina: Čt, 8:00

Úloha: 6. Tepelné vlastnosti kapalin – elektrický kalorimetr

$T = 22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 31,7\text{ }\%$

$p = 99,45\text{ hPa}$

Úkoly

1. Navrhnete takové uspořádání experimentu, při kterém se teplota po určité době ohřevu odchýlí o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ od hodnoty předpovězené teorií nezohledňující tepelné ztráty (1). Experiment proved'te a porovnejte s vaší předpovědí.

1. Úvod

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.

Energie, kterou topná spirála dodá do kalorimetru, se určí jednoduše z proudu, napětí a času, po který spirála pracovala. Pokud neuvažujeme tepelné ztráty, můžeme k výpočtu využít vztah:

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

kde m je hmotnost kapaliny, c je měrná tepelná kapacita kapaliny, K je tepelná kapacita kalorimetru, t_v je výsledná teplota, t_p je počáteční teplota a UI je dodaný výkon.

Reálný elektrický kalorimetr je zatížen tepelnými ztrátami, jejichž existence není v rovnici zahrnuta. Tepelné ztráty zohledňuje přesné analytické řešení:

$$t = t_o + \frac{UI}{\beta} \left\{ UI - [UI - \beta(t_p - t_o)] e^{-\frac{\beta}{mc+K}\tau} \right\}, \quad (2)$$

kde β je koeficient chladnutí kalorimetru a t_o je teplota okolí.

2. Postup měření

Pro stanovení přesného analytického řešení potřebujeme nejprve proměřit vlastnosti kalorimetru (kapacitu kalorimetru K a koeficient chladnutí kalorimetru β).

Kapacitu kalorimetru určíme následujícím způsobem: do kalorimetru nalijeme vodu o hmotnosti m_1 o teplotě t_1 a následně do kalorimetru přilijeme horkou vodu o teplotě t_2 a hmotnosti m_2 . Po promíslení obou kapalin a vyrovnaní teploty s kalorimetrem se teplota vody ustálí na hodnotě t a platí:

$$(m_1 c + K)(t - t_1) = m_2 c(t_2 - t). \quad (3)$$

Koeficient chladnutí určíme tak, že budeme dostatečně dlouho určitým výkonem zahřívat kapalinu v kalorimetru. Po určité době už se teplota nebude dále zvyšovat a ustálí se na maximální teplotě t_r , pro kterou platí:

$$t_r = t_0 + \frac{UI}{\beta}. \quad (4)$$

Nyní jsme schopni porovnat časové závislosti při ohřevu kalorimetru (srovnání řešení nezohledňujícího tepelné ztráty a přesného analytického řešení). Ze závislostí stanovíme okamžik, kdy se bude přesné analytické řešení od řešení nezohledňující tepelné ztráty lišit právě o 2 °C.

Provedeme experiment a naměřenou závislost srovnáme s naší předpovědí.

3. Měření

Kapacita kalorimetru

Hmotnost kapaliny $m_1 = 366,5(5) \text{ g}$

Teplota kapaliny $t_1 = 25,8(1) \text{ °C}$

Hmotnost kapaliny $m_2 = 333,4(5) \text{ g}$

Teplota kapaliny $t_2 = 74,5(1) \text{ °C}$

Výsledná teplota $t_v = 47,8(1) \text{ °C}$

Dosazením do vzorce (3) získáme výslednou hodnotu kapacity kalorimetru:

$$K = 159(14) \text{ J K}^{-1}.$$

Koeficient chladnutí

Výkon topné spirály $UI = 11,7 \text{ W}$

Teplota okolí $t_0 = 22,6(1) \text{ °C}$

Rovnovážná teplota $t_r = 58,9(1) \text{ °C}$

Koeficient chladnutí z měřených hodnot spočteme podle vzorce (4):

$$\beta = 0,321(3) \text{ W K}^{-1}.$$

Ověření experimentem

Počáteční teplota $t_p = 33,0(1) \text{ °C}$

Teplota okolí $t_0 = 22,5(5) \text{ °C}$

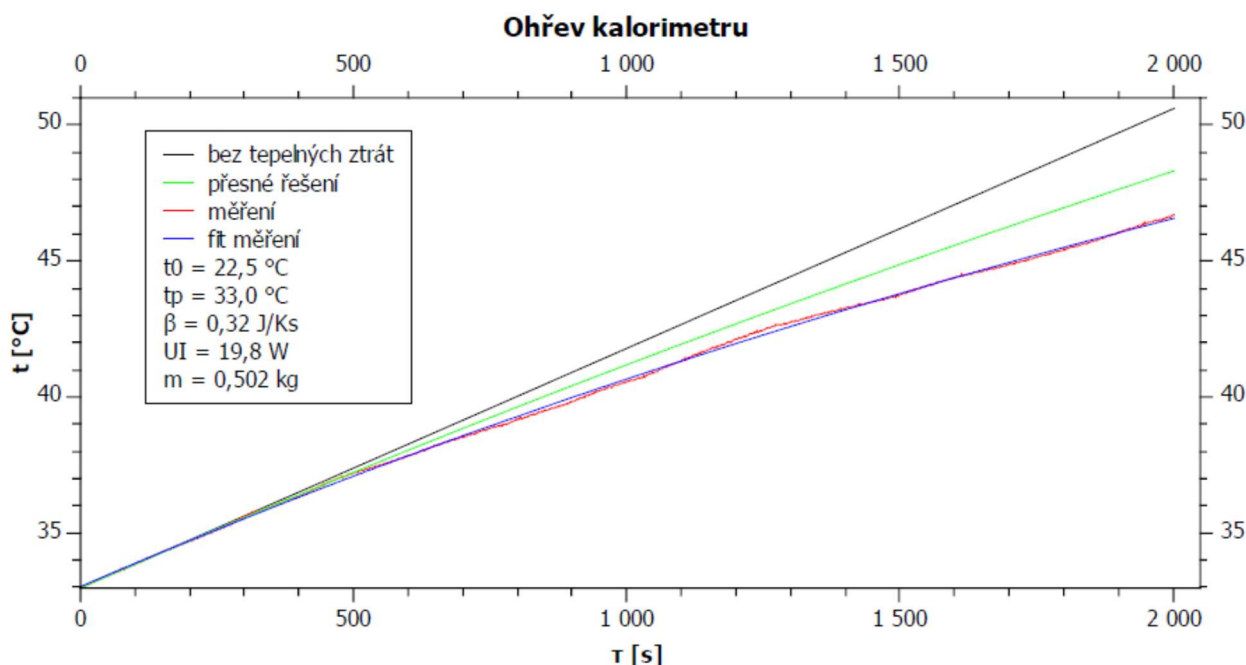
Výkon spirály $UI = 19,8 \text{ W}$

Hmotnost vody v kalorimetru $m = 502,3(5) \text{ g}$

Měrná tepelná kapacita vody $c_{voda} = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Pro dané hodnoty koeficientů (koeficient chladnutí a kapacita kalorimetru) se bude teplota předpovězená teorií nezohledňující tepelné ztráty lišit od 2 °C od přesného analytického řešení v čase $\tau = 1\,861,3\text{ s} \doteq 31\text{ min}$.

Hodnoty získané experimentem se však liší o 2 °C od řešení nezohledňujícího tepelné ztráty už v čase $\tau = 1\,381,2\text{ s} \doteq 23\text{ min}$.



Graf 1: Srovnání přesného výpočtu, výpočtu nezohledňujícího tepelné ztráty, samotného měření a fitu měření

4. Závěr

Určil jsem vlastnosti kalorimetru: kapacita kalorimetru $K = 159(14)\text{ J K}^{-1}$ a koeficient chladnutí $\beta = 0,321(3)\text{ W K}^{-1}$. Na nejistotě kapacity kalorimetru se podílela nejistota měření teploty a nejistota při vážení vody. Výslednou nejistotu koeficientu chladnutí ovlivnila nejistota měření teploty, proudu a napětí.

Provedl jsem experiment a zjistil jsem, že měřená hodnota se liší o 2 °C od teorie nezohledňující tepelné ztráty už v čase $\tau = 1\,381,2\text{ s} \doteq 23\text{ min}$. Zatímco přesné analytické řešení se liší od teorie nezohledňující tepelné ztráty v čase $\tau = 1\,861,3\text{ s} \doteq 31\text{ min}$. Rozdíl je tedy přibližně 8 minut.

Na začátku (v rozmezí 0-500 s) analytické řešení dost dobře odpovídá měření, s odstupem času se však objevuje zvětšující se odchylka. Na rozdíl závislosti má tedy pravděpodobně největší vliv nepřesnost určení koeficientu β , nepřesnost určení kapacity kalorimetru může mít také vliv, ale podstatně menší, neboť $c \cdot m \gg K$. Po nařetování měření jsem získal pro koeficient β hodnotu $\beta = 0,581\text{ W K}^{-1}$.