

Úloha 17: Stanovení měrné tepelné kapacity kapaliny elektrickým kalorimetrem

Pomůcky

Kalorimetr s míchačkou, nádoba na přelévání kapaliny a měřená kapalina (v lednici), teplotní čidlo, měřicí modul Cobra, zdroj napětí, 2 digitální multimetry, propojovací vodiče, digitální váha (společná pro všechny úlohy; umístěna v zadní části laboratoře)

Úkol

Stanovte měrnou tepelnou kapacitu c dané kapaliny.

Dílčí úkoly

1. Stanovte hmotnost kapaliny m .
2. Změřte teplotu v laboratoři t_{lab} .
3. Sledujte závislost teploty na čase pro vypnutí a zapnutí zdroj.
4. Stanovte čas vypnutí zdroje tak, aby bylo dosaženo symetrie grafu podle teploty v laboratoři.
5. Z grafu odečtete rozdíl teplot a odpovídající čas při zapnutém zdroji.
6. Vypočtete teoretickou hodnotu měrné tepelné kapacity dané kapaliny a porovnejte s výsledkem měření.

Poznámky k měření

- Digitální váhu najdete na stole v zadní části laboratoře.
- Kalorimetr před vážením vysušte.
- Kapalina je směs vody, líhu a glycerinu v poměru 3:1:1.
- Kapalinu najdete v lednici. Vyberte nádobu, která je vychlazená.
- Hmotnost kapaliny m stanovte jako rozdíl hmotnosti kalorimetru s kapalinou a hmotnosti prázdného kalorimetru.
- Tepelná kapacita kalorimetru je $K_K = (100 \pm 10) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Doporučené hodnoty proudu a napětí jsou $I = (3 - 4) \text{ A}$, $U = (10 - 13) \text{ V}$. Tyto doporučené hodnoty si ověřte krátkým spuštěním obvodu před začátkem měření. **Při této zkoušce musí být topná spirála ponořená v kapalině!!!**
- Zápis průběhu teploty na čase je prováděn automaticky, zaznamenejte pouze čas a teplotu na začátku a na konci ohřevu. Napětí a proud měřte na multimetrech (nikoli na zdroji).
- Po ukončení měření vyjměte z kapaliny míchačku pomocí magnetické tyčky. Následně nalijte kapalinu zpět do nádoby a uložte do lednice.

Matematický model pro výpočet nepřímo měřené veličiny

Měrná tepelná kapacita kapaliny c :

$$c = \frac{UI(\tau_2 - \tau_1)}{m(t_2 - t_1)} - \frac{K_K}{m} = \frac{P \Delta \tau}{m \Delta t} - \frac{K_K}{m} \quad (1)$$

U ... elektrické napětí

I ... elektrický proud

P ... elektrický výkon

m ... hmotnost kapaliny

τ_1, τ_2 ... časové okamžiky při zapnutí zdroje, přičemž $\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$

t_1, t_2 ... teploty kapaliny odpovídající časovým okamžikům τ_1 a τ_2 , přičemž $\Delta t = t_2 - t_1$

K_K ... kapacita kalorimetru

Poznámky a návod k výpočtu nejistot

- Nejistoty se určují na základě vztahu (1).
- Všechna měření probíhají jednorázově. Pro všechny veličiny se tedy určuje pouze nejistota typu B, která je zároveň rovna kombinované nejistotě.
- Hmotnost kapaliny m , časový interval $\Delta \tau$ a rozdíl teplot Δt jsou prostým rozdílem (jednoduchou lineární kombinací).
- Přesnost digitálního multimetru pro se liší pro různé rozsahy stejnosměrného proudu a napětí. Pro rozsah proudu 2 mA, 20 mA a 200 mA je chyba 0,3 % + 3 digity, pro vyšší rozsahy proudu 0,5 % + 3 digity. Pro všechny rozsahy napětí je chyba 0,05 % + 3 digity.
- Nejistotu je třeba vyjádřit z parciálních derivací:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial P}\right)^2 u_P^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial m}\right)^2 u_m^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \Delta \tau}\right)^2 u_{\Delta \tau}^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \Delta t}\right)^2 u_{\Delta t}^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial K_K}\right)^2 u_{K_K}^2}$$

Parciální derivace jsou zároveň citlivostními koeficienty:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial P} &= \frac{\Delta \tau}{m \Delta t} & \frac{\partial c}{\partial m} &= -\frac{P \Delta \tau}{m^2 \Delta t} + \frac{K_K}{m^2} = -\frac{1}{m} \cdot c & \frac{\partial c}{\partial \Delta \tau} &= \frac{P}{m \Delta t} \\ \frac{\partial c}{\partial \Delta t} &= -\frac{P \Delta \tau}{m \Delta t^2} & \frac{\partial c}{\partial K_K} &= -\frac{1}{m} \end{aligned}$$

Podněty k diskusi

- Diskutujte vliv tepelných ztrát na přesnost měření.
- Porovnejte teoretickou hodnotu měrné tepelné kapacity kapaliny s výsledkem měření.
- Diskutujte různé metody vyhodnocení naměřených hodnot.