Jakub Juránek, UČO 393110
skupina č.08

Úloha č. 6 - Tepelné vlastnosti kapalin

1 Teorie

Elektrický kalorimetr je zařízení, které umožňuje měřit tepelnou kapacitu kapalin.
Energie dodaná do soustavy se vypočte z napětí U na spirále, proudu I jí procházející a času τ, po kterou pracovala.
Tato dodaná energie se spotřebuje jednak pro ohřátí vnitřní kapaliny, jednak pro ohřátí samotného kalorimetru a část se vytratí ve formě ztrát. Přitom platí rovnice:

$$(mc + K)\mathrm{d}t + \mathrm{d}Q_s = UI\mathrm{d}\tau$$

kde m je hmotnost vnitřní kapaliny, c měrná tepelná kapacita vnitřní kapaliny, K tepelná kapacita kalorimetru; a kde $\mathrm{d}t$ je změna teploty soustavy a $\mathrm{d}Q_s$ tepelné ztráty kalorimetru za malý čas $\mathrm{d}\tau$.
Tepelné ztráty kalorimetru $\mathrm{d}Q_s$ je možno spočítat ze vztahu:

$$\mathrm{d}Q_s = \beta(t - t_0)\mathrm{d}\tau$$

kde β je konstanta chladnutí, t teplota soustavy, t_o teplota okolí.
Nás bude zajímat, jak změřit právě konstantu chladnutí β. Ukážeme si hned dvě metody.

1.1 Metoda 1 - ustálením teploty

První metoda spočívá v tom, že ohřejeme soustavu na teplotu t_r a poté nastavíme hodnoty napětí a proudu tak, aby dodávaná energie pouze kompenzovala tepelné ztráty, čili aby se teplota soustavy neměnila.
Pro tento stav pak platí:

$$t_r = t_o + \frac{UI}{\beta}$$

Z toho pak dostáváme:

$$\beta = \frac{UI}{t_r - t_o}$$

Označíme-li $t_z = t_r - t_o$, pak platí $u(t_z) = u(t_r) + u(t_o)$.
Pro nejistotu konstanty chladnutí pak platí:

$$r(\beta) = \sqrt{r(U)^2 + r(I)^2 + r(t_z)^2}$$

1.2 Metoda 2 - chladnutí za nulového výkonu

Druhá metoda spočívá v tom, že necháme vyhřátý kalorimetr volně chladnout a změříme časovou závislost teploty soustavy, která při nulovém výkonu odpovídá vztahu:

$$t(\tau) = t_o + (t_p - t_o)e^{-\frac{\beta}{mc+K}\tau}$$

kde t_p je počáteční teplota.
Označíme-li $D = \frac{\beta}{mc+K}$, dostane po úpravě vztah:

$$-\ln\left(\frac{t(\tau) - t_o}{t_p - t_o}\right) = D\tau$$

Z této závislosti pak proložením lineární funkcí dostame konstantu D a z ní pak dostaneme požadovanou konstantu chladnutí β:

$$\beta = D(mc + K)$$

Uvědomíme-li si, že nejistota hmotnosti je oproti ostatním zanedbatelná, dostává pro nejistotu konstanty chladnutí:

$$r(\beta) = \sqrt{r(D)^2 + r(K)^2}$$

2 Postup měření

Měření probíhalo za těchto podmínek:
teplota . . . $23,0$ °C
tlak . . . $97,15$ kPa
vlhkost . . . 48 %

2.1 Metoda 1

Zvolíme si teplotu, na kterou soustavu vyhřejeme a poté upravujeme hodnoty napětí a proudu, dokud nedosáhneme stavu, kdy se již teplota nemění. Jelikož dosáhnout konstatní teploty je v našich podmínkách skoro nemožné, bude nám stačit, dosáhneme-li oscilace teploty pod půl desetiny tupně. Teplotu t_r pak zvolíme jako střední hodnotu z oscilovaných hodnot a samotnou oscilaci zahrneme do její nejistoty.
Zvolená teplota musí být dostatečne vyšší, než je teplota okolí, ale ne tak vysoká, aby se blížila bodu varu.

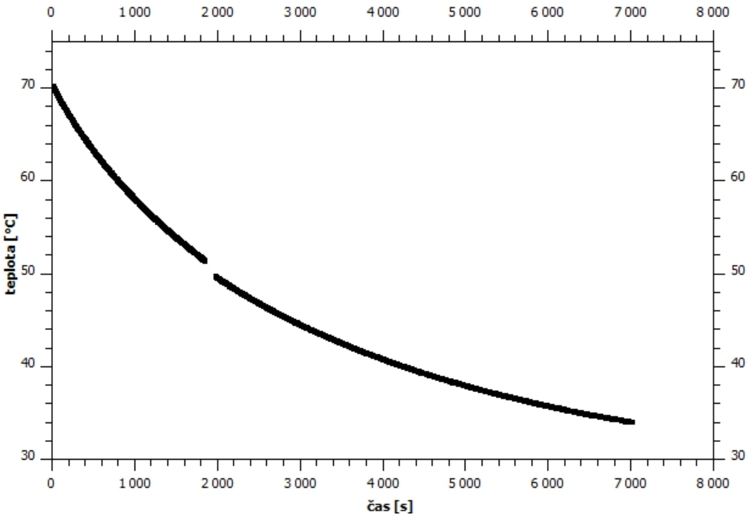
$$\begin{aligned}
U &= (15,53 \pm 0,01)\ \text{V} \\
I &= (1,614 \pm 0,001)\ \text{A} \\
t_r &= (70,32 \pm 0,03)\ ^\circ\text{C} \\
t_o &= (23,0 \pm 0,1)\ ^\circ\text{C} \\
\beta &= (0,530 \pm 0,002)\ \text{JK}^{-1}\text{s}^{-1}
\end{aligned}$$

2.2 Metoda 2

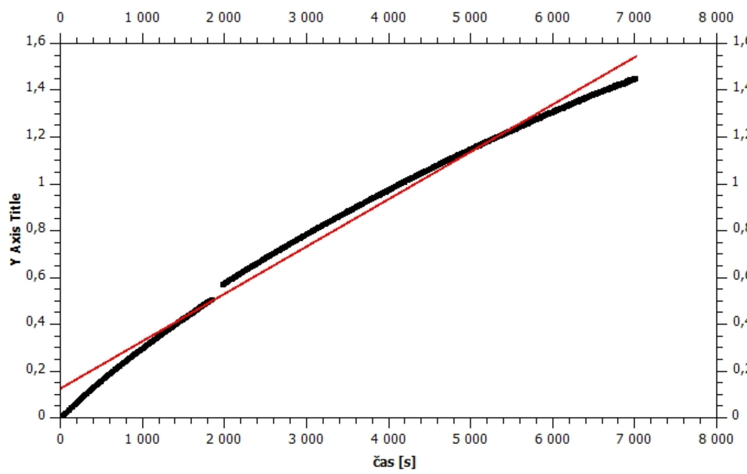
Využijeme předchozího měření, tedy po jeho provedení dáme výkon na nulu a necháme soustavu volně chladnout. Tedy $t_p = t_r$.
Určíme hmotnost m vnitřní kapaliny, kapacitu kalorimetru K použijeme z již dříve provedeného měření.

$$m = 0,55 \text{ kg}$$
$$K = (200,768 \pm 0,008) \text{ JK}^{-1}$$

Pomocí programu Kalaromitr.vi budeme měřit časovou závislost teploty soustavy na čase.



Každou naměřenou hodnotu upravíme dle dříve uvedeného vztahu, čímž dostaneme lineární závislost na čase. Proložíme jí tedy přímku a její směrnice bude D.
Vzhledem k tomu, že v získané lineární závislosti vystupuje i absolutní člen a že během měření nastal výpadek asi 120 s způsobený aktualizací operačního systému, stanovíme relativní chybu D na 2%.



$$D = (202 \pm 4) \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$
$$\beta = (0,51 \pm 0,01) \text{ JK}^{-1}\text{s}^{-1}$$

3 Závěr

Vidíme, že v obou dvou měřeních nám vyšel prakticky shodný koeficient chladnutí. V druhém případě máme vyšší nejistotu, což je způsobeno stanovenou nejistotou konstanty D.
Převod z exponenciální závislosti na lineární v druhé metotě jsme provedli zejména pro to, že používané programy nedokážou proložit grafem čistou exponencielu $e^{-D\tau}$, ale vždy exponencielu ještě násobí konstantou a přičítají absolutní člen, který by tak úplně nevadil. Je tedy vždy tvaru $Ae^{-D\tau} + B$. Ovšem ani tyto konstanty A, B nelze pevně nastavit tak, aby odpovídali očekávanému vzorci.
Po převodu na lineární závislost tyto problémy odpadají, absolutní člen je oproti předchozímu zanedbatelnou chybou.
Na závěr bych jen dodal, že provedené měření bylo prakticky celé zautomatizované a vyžadovalo si tak moji minimální pozornost. Čehož jsem mohl využít k pomoci ostatním s jejich měřením. Díky tomu pokládám proběhlé praktikum, ikdyž jsem vlastně nic moc neměřil, za zatím pro mě nejpřínosnější.