

Fyzikální praktika 7 - Elektrický kalorimetr s tepelnými ztrátami

Petr Šafařík

16. dubna 2006

Obsah

1	Podmínky	2
2	Měření kapacity kalorimetru	2
2.1	Metoda měření	2
2.2	Naměřené hodnoty	2
2.3	Výpočet kapacity kalorimetru	2
2.4	Výpočet chyb	3
2.4.1	Výpočet absolutní chyby	3
2.4.2	Výpočet relativní chyby	3
2.5	Závěr	3
3	Měření koeficientu chladnutí β	3
3.1	Metoda 1	3
3.1.1	Teorie	3
3.1.2	Naměřené hodnoty	4
3.1.3	Výpočet koeficientu chladnutí β	4
3.1.4	Výpočet chyb - absolutní chyba	5
3.1.5	Výpočet chyb - relativní chyba	5
3.1.6	Závěr	5
3.2	Metoda 2	5
3.2.1	Teorie	5
3.2.2	Výpočet koeficientu chladnutí β	6
3.2.3	Výpočet chyb - absolutní chyba	6
3.2.4	Výpočet chyb - relativní chyba	6
3.2.5	Závěr	7

1 Podmínky

Teplota: 22, 20°C

Tlak: 98298, 3Pa

Vlhkost: 46%

2 Měření kapacity kalorimetru

2.1 Metoda měření

Do kalorimetru s měřenou kapalinou (voda) o známé teplotě a hmotnosti byla nalita stejná kapalina o známé hmotnosti a teplotě, která však byla jiná než teplota kapaliny v kalorimetru. Po ustálení teploty byla tato odečtena a tepelná kapacita kalorimetru byla spočtena ze vztahu

$$K = \frac{m_2 \cdot c \cdot (t_2 - t)}{t - t_1} - m_1 \cdot c \quad (1)$$

kde m_1 a m_2 jsou hmotnosti kapalin,

t_1 a t_2 jsou teploty kapalin,

t je teplota po ustálení

c je měrné teplo použité kapaliny.

Indexy $_1$ se vztahují ke kapalině původně umístěné v kalorimetru,

indexy $_2$ ke kapalině, která byla do kalorimetru dolita.

2.2 Naměřené hodnoty

$$m_1 = 408,2g$$

$$m_2 = 364,8g$$

$$t_1 = 69,0^\circ C$$

$$t_2 = 22,0^\circ C$$

$$t = 53,0^\circ C$$

$$c \text{ (tabulková hodnota pro vodu)} = 4186 J \cdot kg^{-1} K^{-1}$$

2.3 Výpočet kapacity kalorimetru

$$K = \frac{m_2 \cdot c \cdot (t_2 - t)}{t - t_1} - m_1 \cdot c \quad (2)$$

Tedy:

$$K = \frac{0,3648 \cdot 4186 \cdot (22 - 53)}{53 - 69} - 0,4082 \cdot 4186 = 91,254 JK^{-1}$$

2.4 Výpočet chyb

2.4.1 Výpočet absolutní chyby

Chybu měření určíme ze zákona šíření chyb:

$$\delta K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m_1}\right)^2 \delta_{m_1}^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial m_2}\right)^2 \delta_{m_2}^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial t}\right)^2 \delta_t^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial t_1}\right)^2 \delta_{t_1}^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial t_2}\right)^2 \delta_{t_2}^2} \quad (3)$$

$$\delta K = \sqrt{\delta_{m_1}^2 + \left(\frac{t_2 - t}{t - t_1}\right)^2 \delta_{m_2}^2 + \left(\frac{m_2(t_1 - t)}{(t - t_1)^2}\right)^2 \delta_t^2 + \left(\frac{m_2(t_1 - t)}{(t - t_1)^2}\right)^2 \delta_{t_1}^2 + \left(\frac{m_2}{t - t_1}\right)^2 \delta_{t_2}^2}$$

$$\delta K = 1,24$$

2.4.2 Výpočet relativní chyby

Relativní chyba je dána obecným vztahem:

$$\delta_r K = \frac{\delta K}{K} \cdot 100\% \quad (4)$$

Tedy je to rovno:

$$\delta_r K = \frac{1,24}{91,254} \cdot 100\% = 1,35\%$$

2.5 Závěr

Kapacitu kalorimetru K jsem určil na $K = (91,3 \pm 1,2) JK^{-1}$ s relativní chybou $\delta_r K = 1,35\%$

3 Měření koeficientu chladnutí β

3.1 Metoda 1

3.1.1 Teorie

Zahřátý kalorimetr naplněný kapalinou o známé hmotnosti ponecháme, aby volně chladnul, přičemž budeme zaznamenávat časovou závislost poklesu teploty. Z rovnice lineární regrese této závislosti poté spočítám koeficient chladnutí β podle následující rovnice:

$$\ln(t - t_0) = \ln(t_p - t_0) + \tau \frac{\beta}{mc + K} \quad (5)$$

kde:

t je měřená teplota,

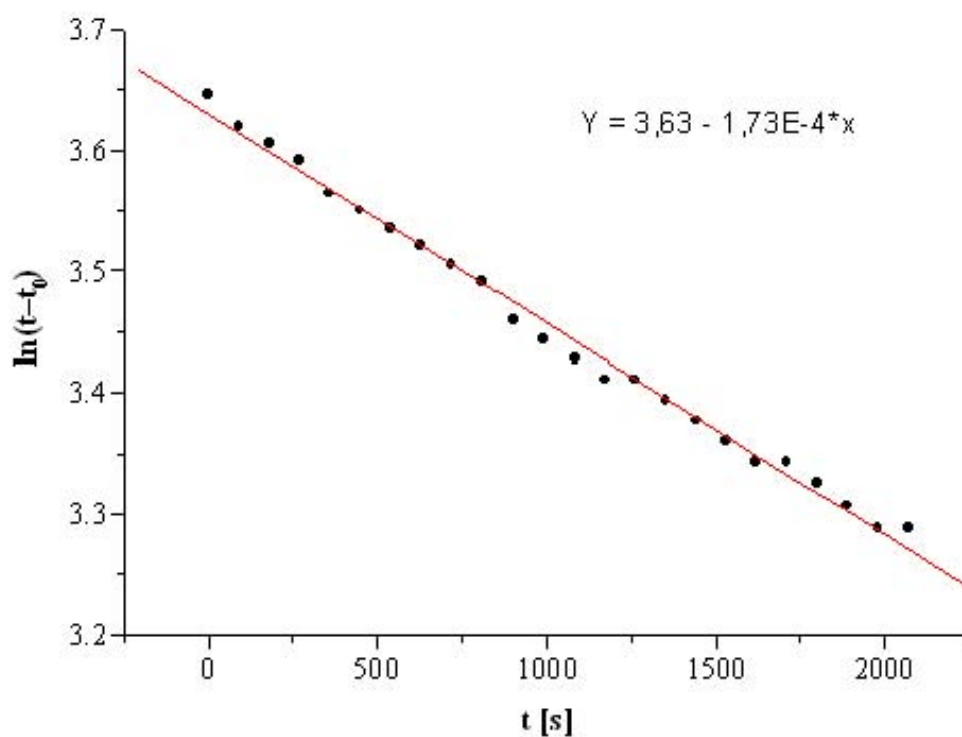
t_0 je teplota okolí,

t_p je počáteční teplota,

m je hmotnost kapaliny (voda),

c je její měrné teplo, K je kapacita kalorimetru a τ je čas.

3.1.2 Naměřené hodnoty



3.1.3 Výpočet koeficientu chladnutí β

Ze směrnice z rovnice lineární regrese $y = 3,63 - 1,73 \cdot 10^{-4} \cdot x$ byl spočten koeficient β následovně:

$$\frac{\beta}{mc + K} = 1,73 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \beta = 1,73 \cdot 10^{-4} \cdot (mc + K) = 0,345$$

3.1.4 Výpočet chyb - absolutní chyba

Chybu měření určíme ze zákona šíření chyb:

$$\delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial\beta}{\partial X}\right)^2 \delta_X^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial m}\right)^2 \delta_m^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial c}\right)^2 \delta_c^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial K}\right)^2 \delta_K^2} \quad (6)$$

Tedy:

$$\delta\beta = \sqrt{(mc + K)^2 \delta_X^2 + (Xc)^2 \delta_m^2 + (Xm)^2 \delta_c^2 + X^2 \delta_K^2}$$

Po úpravě:

$$\delta\beta = K^2 \sqrt{\delta_X^2 + X^2 \delta_K^2}$$

$$\delta\beta = 0,0034$$

kde jsem X označil hodnotu směrnice lineární regrese. Jelikož byla použita tabulková hodnota měrného tepla pro vodu, u které není známá velikost chyby, dva členy z výpočtu celkové chyby koeficientu chladnutí vypadly. Spočtená chyba se pak rovná: $\delta\beta = 0,0034$.

3.1.5 Výpočet chyb - relativní chyba

Relativní chyba je dána obecným vztahem:

$$\delta_r\beta = \frac{\delta\beta}{\beta} \cdot 100\% \quad (7)$$

Tedy je to rovno:

$$\delta_r\beta = \frac{0,0034}{0,345} \cdot 100\% = 0,98\%$$

3.1.6 Závěr

Koeficient chladnutí β jsem určil na $\beta = (0,345 \pm 0,003) JK^{-1}s^{-1}$ s relativní chybou $\delta_r\beta = 0,98\%$

3.2 Metoda 2

3.2.1 Teorie

Kalorimetr byl při konstantním napětí a proudu vyhříván do doby, než se ustálila teplota na konstantní rovnovážné hodnotě t_r . Koeficient chladnutí pak byl spočten podle vzorce:

$$\beta = \frac{UI}{t_r - t_0} \quad (8)$$

kde:

$$U = 14V$$

$$I = 2,6A$$

$$t_r = 69,0^\circ C$$

$$t_0 = 22,2^\circ C$$

3.2.2 Výpočet koeficientu chladnutí β

$$\beta = \frac{UI}{t_r - t_0} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{14 \cdot 2,6}{69,0 - 22,2} = 0,777$$

$$\beta = 0,777$$

3.2.3 Výpočet chyb - absolutní chyba

Chybu měření určíme ze zákona šíření chyb:

$$\delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial\beta}{\partial U}\right)^2 \delta_U^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial I}\right)^2 \delta_I^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial t_r}\right)^2 \delta_{t_r}^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial t_0}\right)^2 \delta_{t_0}^2} \quad (10)$$

$$\delta\beta = \sqrt{\left(\frac{I}{t_r - t_0}\right)^2 \delta_U^2 + \left(\frac{U}{t_r - t_0}\right)^2 \delta_I^2 + \left(\frac{UI}{t_r^2}\right)^2 \delta_{t_r}^2 + \left(\frac{UI}{t_0^2}\right)^2 \delta_{t_0}^2}$$

$$\delta\beta = 0,044$$

3.2.4 Výpočet chyb - relativní chyba

Relativní chyba je dána obecným vztahem:

$$\delta_r\beta = \frac{\delta\beta}{\beta} \cdot 100\% \quad (11)$$

Tedy je to rovno:

$$\delta_r\beta = \frac{0,044}{0,777} \cdot 100\% = 5,66\%$$

3.2.5 Závěr

Koeficient chlazení β jsem určil na $\beta = (0,777 \pm 0,044) JK^{-1}s^{-1}$ s relativní chybou $\delta_r\beta = 5,66\%$