

Kalorimetrická rovnice

# Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Mirek Kubera

**Výstup RVP:** žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření; objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou

**Klíčová slova:** teplota, teplo, kalorimetr, kalorimetrická rovnice, izolovaná soustava, tepelná kapacita, měrná tepelná kapacita

**Laboratorní práce**

Doba na přípravu:

**5 min**

Doba na provedení:

**90 min**

Obtížnost:

**střední**

**Úkol** Určete na základě experimentu měrnou tepelnou kapacitu pevného tělesa. Výslednou hodnotu porovnejte s tabulkovou. Odhadněte přesnost měření a případně navrhněte, jak postup zpřesnit.

**Pomůcky** LabQuest, bodový teploměr Vernier, varná konvice, směšovací kalorimetr, pevné těleso z hliníku, železa nebo mosazi, váhy, odměrný válec

**Teoretický úvod** Směšovací kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba skládající se ze dvou od sebe oddělených a tepelně izolovaných nádob. Jeho součástí je víčko, míchačka a teploměr. Kalorimetr jako takový se při experimentech v něm prováděných zahřeje nebo ochladí, a tím odebere nebo předá část energie studované soustavě. V experimentální praxi je vždy nutné nejprve určit jeho tepelnou kapacitu neboli množství tepla, které musíme kalorimetru dodat/odebrat, aby změnil svou teplotu o 1 °C. Její jednotkou je J/°C.

Ve vlastním experimentu určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa sestavíme kalorimetrickou rovnici následujícím způsobem:  $Q_1 + Q_c = Q_2$ , kde  $Q_1$  je teplo přijaté studenou vodou v kalorimetru,  $Q_c$  je teplo přijaté kalorimetrem a  $Q_2$  teplo odevzdané horkým tělesem. Tato rovnice vyjadřuje zákon zachování energie izolované soustavy kalorimetru.

Po dosazení za tepla  $Q$  získá rovnice tvar  $c_1 m_1 (t - t_1) + C(t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t)$ . Pro hledanou měrnou tepelnou kapacitu pevného tělesa  $c_2$  pak dostáváme:

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1) + C (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}$$

V případě určení tepelné kapacity kalorimetru je rovnice stejná, konstanty  $c_1$  a  $c_2$  jsou shodné (měrná tepelná kapacita vody) a z rovnice vyjadřujeme tepelnou kapacitu  $C$ .

**Vypracování**



## Měrná tepelná kapacita pevného tělesa

### a) Určení tepelné kapacity kalorimetru

V tomto přípravném experimentu nalijeme do kalorimetru horkou vodu o známé hmotnosti. V odměrném válci si poté odměříme určitý objem (a tím i hmotnost) studené vody. Bodovým teplotním čidlem připojeným k LabQuestu změříme teplotu studené vody a potom horké vody v kalorimetru. Studená voda mezitím nezměnila svou teplotu, takže ji můžeme smíchat s horkou vodou v kalorimetru. Měříme výslednou teplotu po ustálení tepelné rovnováhy. Z kalorimetrické rovnice určíme výpočtem tepelnou kapacitu kalorimetru. Experiment opakujeme třikrát a spočítáme aritmetický průměr těchto měření.

### b) Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Teprve nyní můžeme přistoupit k měření měrné tepelné kapacity pevného tělesa. Pevné těleso z vybraného kovu ohříváme přibližně 5 minut ve vodě ve varné konvici. Do kalorimetru mezitím nalijeme studenou vodu o známé hmotnosti a teplotě. Horké těleso, jehož teplotu určíme měřením teploty vody v konvici, **rychle přeneseme** do vody v kalorimetru. **Musí být celé ponořené!** Uzavřeme kalorimetr, vyčkáme ustanovení tepelné rovnováhy a odečteme výslednou teplotu na LabQuestu. Z kalorimetrické rovnice vypočítáme měrnou tepelnou kapacitu daného materiálu. V případě dostatku času opakujeme i toto měření třikrát.

**Závěr** Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou a odhadněte přesnost měření. Určete procentuální odchylku od tabulkové hodnoty.

# Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Mirek Kubera

**Výsledky a výpočty** V následujících tabulkách se můžete seznámit s hodnotami naměřenými v naší laboratoři. Nejprve byla měřena 15x tepelná kapacita kalorimetru metodou „horká voda do studené“, poté 15x metodou „studená do horké“.

Následuje 10x měření měrné tepelné kapacity tělesa z mosazi. V těchto výpočtech byla vždy použita hodnota tepelné kapacity kalorimetru  $C = 44 \text{ J/}^\circ\text{C}$ .

a1) měření tepelné kapacity kalorimetru (**horká voda do studené**)

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$m_2$ (g)	$t_2$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t$ ( $^\circ\text{C}$ )	$C$ ( $\text{J/}^\circ\text{C}$ )
48	20,0	45	83,5	44,4	100,8
52	21,8	51	87,0	49,1	78,6
65	22,0	47	87,0	43,5	125,8
51	24,4	61	59,0	39,6	111,2
66	19,2	55	78,5	42,7	74,4
<b>průměrná hodnota (<math>\text{J/}^\circ\text{C}</math>)</b>					<b>98,0</b>

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$m_2$ (g)	$t_2$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t$ ( $^\circ\text{C}$ )	$C$ ( $\text{J/}^\circ\text{C}$ )
55	19,4	44	82,4	43,7	63,0
53	24,5	71	80,9	52,3	83,8
71	20,3	48	75,7	39,8	72,6
57	17,9	68	74,5	44,7	77,8
62	17,0	55	70,9	39,5	61,7
<b>průměrná hodnota (<math>\text{J/}^\circ\text{C}</math>)</b>					<b>72,0</b>

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$m_2$ (g)	$t_2$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t$ ( $^\circ\text{C}$ )	$C$ ( $\text{J/}^\circ\text{C}$ )
58	15,4	50	81,1	41,0	84,9
50	21,2	66	80,1	49,5	89,3
58	19,3	71	76,5	46,5	84,9
60	16,6	49	72,0	37,8	79,6
67	15,0	42	69,7	33,1	74,9
<b>průměrná hodnota (<math>\text{J/}^\circ\text{C}</math>)</b>					<b>83,0</b>



## Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

a2) měření tepelné kapacity kalorimetru (studená voda do horké)

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ (°C)	$m_2$ (g)	$t_2$ (°C)	$t$ (°C)	$C$ (J/°C)
55	18,6	55	55,1	38,6	48,8
71	16,8	58	54,7	35,2	37,6
62	17,1	64	67,9	44,8	43,2
59	16,2	57	66,6	43,1	44,0
77	15,6	67	67,3	41,7	48,1
<b>průměrná hodnota (J/°C)</b>					<b>44,0</b>

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ (°C)	$m_2$ (g)	$t_2$ (°C)	$t$ (°C)	$C$ (J/°C)
70	18	60,3	72,2	45,4	47,1
47	18	51,7	72	48,7	42,7
44	18,2	55,1	74,6	52	44,7
36	18,8	67,8	70	53,7	38,8
67	18,5	63,5	79,6	50,4	40,5
<b>průměrná hodnota (J/°C)</b>					<b>43,0</b>

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ (°C)	$m_2$ (g)	$t_2$ (°C)	$t$ (°C)	$C$ (J/°C)
30	16,3	56	56,7	43,9	36,3
57	14,3	56	66,7	42,6	45,7
71	14,1	50	62,7	37,2	59,8
74	13,3	73	65,5	41,5	58,3
41	13,6	65	61,8	44,8	42,8
<b>průměrná hodnota (J/°C)</b>					<b>49,0</b>

 b) měření měrné tepelné kapacity mosazi ( $c = 383 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ )

studená voda		horké těleso		výsledná teplota	měrná tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ (°C)	$m_2$ (g)	$t_2$ (°C)	$t$ (°C)	$c$ (J/(kg°C))
64	19,8	200	87,8	33,3	385,8
75	17,6	200	82,3	29,3	394,6
77,5	17,7	200	75,2	27,7	387,3
76	17,7	200	70,1	27,0	390,2
75	17,5	200	66,5	26,3	391,3
<b>průměrná hodnota (J/(kg°C))</b>					<b>390,0</b>

studená voda		horké těleso		výsledná teplota	měrná tepelná kapacita
$m_1$ (g)	$t_1$ (°C)	$m_2$ (g)	$t_2$ (°C)	$t$ (°C)	$c$ (J/(kg°C))
75	14,0	200	83,5	26,9	407,4
88	15,5	200	73,7	24,9	396,6
80	15,6	200	68,5	24,8	398,3
71	16,1	200	63,9	25,1	395,2
80	16,1	200	59,6	23,8	406,9
<b>průměrná hodnota (J/(kg°C))</b>					<b>401,0</b>

Při měření tepelné kapacity kalorimetru je měření ovlivněno experimentálním postupem. Při umístění studené vody do kalorimetru a dolévání horké vody získáme  $C = 80 \text{ J}/^\circ\text{C}$ . Při umístění horké vody v kalorimetru a dolévání studené pak  $50 \text{ J}/^\circ\text{C}$ . Pozor! Manipulace s horkou vodou nebo s horkým tělesem jsou častým zdrojem experimentálních chyb. Např. horké těleso změní při pomalém přenosu z varné konvice do kalorimetru svou povrchovou teplotu o  $2^\circ\text{C}$ . Myslete při realizaci experimentu na to, aby veškerá práce probíhala rychle a nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám, které mohou zásadním způsobem ovlivnit výsledek.

Pečlivost realizace se odráží v přesnosti výsledků.