

## 6. MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA TUHÉ LÁTKY

### 1. Zadání úlohy

Pomocí kalorimetru o známé tepelné kapacitě určete metodou směšovací kalorimetrie měrnou tepelnou kapacitu materiálu daného tělesa.

### 2. Definice veličin a pojmů

**Tepelná kapacita kalorimetru**  $V_K$  při teplotě  $T$  je rovna množství dodaného tepla  $\Delta Q_K$ , kterým se ohřejí ponořené stěny kalorimetru a části teploměru a míchačky o  $\Delta T$ , dělenému změnou teploty  $\Delta T$ , tj. číselně odpovídá dodanému teplu potřebnému na ohřev o 1 K:

$$V_K = \frac{\Delta Q_K}{\Delta T} \quad [\text{J/K}] . \quad (6.1)$$

**Měrná tepelná kapacita**  $c$  látky při teplotě  $T$  je rovna dodanému teplu  $\Delta Q$ , kterým se její teplota zvýší o  $\Delta T$ , dělenému hmotností látky  $m$  a změnou teploty  $\Delta T$ , tj. číselně odpovídá množství tepla potřebnému na ohřev 1 kg látky o 1 K:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] . \quad (6.2)$$

#### Používaná označení

|   |   |
|---|---|
| $c_1$ – měrná tepelná kapacita vody při teplotě $t_1$ | $t_1$ – teplota vody (výchozí)            |
| $c_Z$ – měrná tepelná kapacita zkušební tělesa        | $t_V$ – výsledná teplota v kalorimetru    |
| $m_K$ – hmotnost kalorimetru s příslušenstvím         | $t_Z$ – teplota zkušební tělesa (výchozí) |
| $m_1$ – hmotnost vody                                 | $V_K$ – tepelná kapacita kalorimetru      |
| $m_Z$ – hmotnost zkušební tělesa                      |   |

### 3. Teorie úlohy

K určení měrné tepelné kapacity materiálu zkušební tělesa (kovového válečku) použijeme metodu směšovací kalorimetrie, tedy nepřímou metodu měření. Pro vyjádření hledané měrné tepelné kapacity  $c$  vyjdeme z kalorimetrické rovnice, která vlastně vyjadřuje zákon zachování energie při výměně tepla (tedy energie neuspořádaného – termického – pohybu jednotlivých částic, jež tvoří příslušné těleso) ve tvaru

$$\Delta Q_{\text{PŘEDANÉ}} = \Delta Q_{\text{PŘEVZATÉ}} .$$

Do této rovnosti musíme ovšem započíst všechna „zúčastněná“ tělesa, tj. včetně nádoby (kalorimetru), v níž vyrovnávání teplot „směšovaných těles“ probíhá, teploměru ... (případně ještě lépe i s uvažováním ohřevu okolí – ztrát tepla vedením, prouděním vzduchu a vyzařováním). Bez započtení ztrát do okolí (daly by se ocenit z časové závislosti změny teploty v kalorimetru) můžeme kalorimetrickou rovnici při významu indexů „2“ pro přidávanou látku a „1“ pro vstupní hodnoty látky v kalorimetru a jeho samotného (jeho výchozí teploty) vyjádřit vztahem

$$c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_V) = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_V - t_1) + V_K \cdot (t_V - t_1) . \quad (6.3)$$

Druhý člen pravé strany vyjadřuje právě teplo potřebné (převzaté) na ohřev kalorimetru z teploty  $t_1$  na  $t_V$ . Jestliže bychom zvolili opačný postup – do teplejší látky v kalorimetru vkládat chladnější těleso, vyjadřoval by tento člen vlastně kalorimetrem předané teplo.

Měrnou tepelnou kapacitu měřené látky (materiálu válečku)  $c_Z$  vyjádříme ze vztahu (6.3), jestliže zaměníme indexy 2 za index  $Z$  vyjadřující, že jde o hodnoty zkušební tělesa:

$$c_Z = \frac{(V_K + m_1 \cdot c_1) \cdot (t_V - t_1)}{m_Z \cdot (t_Z - t_V)}, \quad (6.4)$$

kde  $m_1$ ,  $c_1$ ,  $t_1$  jsou veličiny, týkající se vody v kalorimetru,  $t_V$  je výsledná teplota.

Podle zákona šíření nejistot vzájemně nezávislých veličin vypočítáme ze (6.4) relativní nejistotu  $c_Z$ :

$$\frac{u_{c_Z}}{c_Z} = \sqrt{\frac{c_1^2 u_{m_1}^2}{(m_1 c_1 + V_K)^2} + \frac{u_{V_K}^2}{(m_1 c_1 + V_K)^2} + \frac{u_{t_Z}^2}{(t_Z - t_V)^2} + \frac{u_{t_1}^2}{(t_V - t_1)^2} + \frac{(t_Z - t_1)^2 u_{t_V}^2}{(t_Z - t_V)^2 (t_V - t_1)^2} + \frac{u_{m_Z}^2}{m_Z^2}}. \quad (6.5)$$

Jednotlivé členy v předchozích výrazech odpovídají kvadrátům postupně vyjádřených parciálních derivací výsledných veličin podle jednotlivých (měřených) veličin a symboly  $u$  označují jejich nejistoty.

Z posledně uvedeného vztahu můžeme určit i očekávanou nejistotu výsledku měření a také posoudit, které členy k její velikosti nejvíce přispívají. Samozřejmostí je, že tento odhad dosažitelné přesnosti měření musí vycházet z konkrétního uspořádání experimentu (kvantifikace hodnot jednotlivých veličin a jejich nejistot).

## 4. Přístroje a pomůcky

Kovový váleček, kalorimetr s teploměrem a míchačkou, laboratorní váhy, technická sada závaží, vaříč, kádinka, destilovaná voda.

## 5. Poznámky k provedení měření

### 5.1 Stanovení hmotností

Je prováděno vážením na laboratorních vahách, pro dosažení nejistoty  $\pm 0,1$  g není třeba používat interpolační metody (kyvů). Hmotnost destilované vody se určí až po jejím nalití do kalorimetru vážením celého kalorimetru včetně příslušenství.

### 5.2 Měření teplot

Teplotu vstupující vody určujeme teprve těsně před okamžikem vložení vyhřátého válečku. Výslednou teplotu po ponoření zkušební tělesa stanovíme při maximu změny údaje teploměru při pomalém míchání. Teplotu varu určíme na základě změřeného atmosférického tlaku vzduchu z tabulek.

### 5.3 Pracovní postup

- I. Zvážíme suchý kalorimetr včetně příslušenství ( $m_K$ ); zvážíme zkušební těleso ( $m_Z$ ).
- II. Do kalorimetru nalejeme pouze nezbytné množství destilované vody o teplotě laboratoře. Kalorimetr s destilovanou vodou zvážíme – obdržíme hodnotu  $M_1 = m_K + m_1$ , kde  $m_1$  je hmotnost destilované vody v kalorimetru.

- III. Určíme teplotu  $t_1$  destilované vody v kalorimetru.
- IV. Ohřejeme zkušební těleso ve vodní lázni na teplotu bodu varu destilované vody. Po změření barometrického tlaku v laboratoři  $b$  určíme teplotu zkušební tělesa  $t_Z$  z tabulek nebo použijeme pro výpočet vztah uvedený v příloze.
- V. Vložíme zkušební těleso do kalorimetru a po vytemperování odečteme výslednou teplotu směsi  $t_V$ .
- VI. Z tabulky zjistíme tepelnou kapacitu  $V_K$  daného kalorimetru pro dané zkušební těleso a příslušnou hmotnost  $m_1$  destilované vody. V tabulkách vyhledáme měrnou tepelnou kapacitu destilované vody  $c_1$  pro teplotu  $t_1$ .

#### 5.4 Bezpečnostní pokyny

**Pozor** na vkládání válečku do kalorimetru! Termoska tvořící kalorimetr je skleněná Dewarova nádoba, tj. dvouplášťová vakuovaná, takže může nastat při nárazu imploze. Váleček je třeba vkládat opatrně, nedávat obličej nad nádobu a nádobu nevytáčet směrem k jiným osobám!

**Pozor** na manipulaci se skleněnými teploměry, které se mohou rozbít při klepnutí, resp. roztrhnout při přehřátí (neponechávat je u vařiče).

#### 6. Poznámky ke zpracování měření

Měrná tepelná kapacita destilované vody je slabě závislá na teplotě. Závislost je tabelována, je ji možno vyjádřit také aproximační funkcí. Do výsledných vztahů používáme střední hodnotu pro příslušný rozsah teplotních změn.

#### 7. Kontrolní otázky

1. Co je tepelná kapacita kalorimetru?
2. Definujte měrnou tepelnou kapacitu látky a uveďte její jednotku v SI.
3. Sestavte kalorimetrickou rovnici pro systém dvou látek v kalorimetru.