

Stanovení měrné tepelné kapacity pevných látek

Pracovní úkol:

1. Stanovte tepelnou kapacitu vnitřní nádoby kalorimetru (s teploměrem i míchačkou).
2. Určete střední měrnou tepelnou kapacitu daných kovových materiálů.
3. Stanovte přesnost dosažených výsledků (porovnejte získané výsledky s tabulkovými hodnotami).

Teorie:

Některé technologické a výrobní procesy se vyznačují velkou energetickou náročností (tepelné zpracování, ohřev teplotněstabilních médií). K odhadu spotřebované energie nestačí znát pouze teplotní rozdíl realizovaný během procesu a hmotnost zahřívané látky, ale i její tepelné materiálové charakteristiky, jako jsou **tepelná kapacita**, **měrná tepelná kapacita**, **měrné skupenské teplo**.

Základní vztahy:

Měrná tepelná kapacita c pevné nebo kapalné látky je určena teplem ΔQ , jež musíme přivést (při stálém tlaku) homogenní látce s hmotností m , abychom ji ohřáli o teplotní rozdíl $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ (tedy z teploty ϑ_1 na teplotu ϑ_2), děleným hmotností m a teplotním intervalem $\Delta\vartheta$

$$c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta\vartheta}. \quad (1)$$

Protože měrná tepelná kapacita slabě závisí na teplotě, je uvedeným vztahem definována střední měrná tepelná kapacita v teplotním intervalu $\langle\theta_1; \theta_2\rangle$.

Hlavní jednotka měrné tepelné kapacity: 1 joule na 1 kilogram a na 1 kelvin = $1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Tepelnou kapacitou (jíímavostí) K systému nazýváme veličinu vyjádřenou podílem systémem přijatého tepla a příslušného rozdílu teplot systému

$$K = \frac{\Delta Q}{\Delta\theta} [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}]. \quad (2)$$

Stanovení (měrné) tepelné kapacity přímou metodou je obtížně proveditelné v důsledku neshodnosti měření dodaného tepla ΔQ . Při praktickém měření se proto vychází ze znalosti měrné tepelné kapacity vhodné látky (nejčastěji vody) a k odvození výsledku se použije **kalorimetrická rovnice**. Sestává-li uzavřený a izolovaný systém z těles o různých teplotách, dojde v konečném čase k ustavení rovnováhy (kdy všechna tělesa budou mít stejnou teplotu). Přitom musí platit, že množství tepla, odevzdaného tělesy s původně vyšší teplotou než je teplota výsledná, se rovná množství tepla přijatého chladnějšími tělesy.

Vytvoříme izolovanou soustavu z vnitřní nádoby kalorimetru (o tepelné kapacitě K) naplněné částečně vodou měrné tepelné kapacity c_v a hmotnosti m_a (oba objekty nechť

mají stejnou teplotu t_a) a dále z další vody hmotnosti m_b a teploty t_b ($t_b > t_a$). Označíme-li výslednou teplotu soustavy t , bude mít kalorimetrická rovnice tvar

$$m_b c_v (t_b - t) = (m_a c_v + K) \cdot (t - t_a), \quad (3)$$

kde na levé straně rovnice je teplo odevzdané teplejší vodou, na pravé straně teplo přijaté chladnější vodou a vnitřní nádobou kalorimetru.

Tepelnou kapacitu K kalorimetru vypočteme z rovnice

$$K = \frac{m_b c_v (t_b - t)}{t - t_a} - m_a c_v. \quad (4)$$

Obdobnou soustavu vytvoříme pro měření neznámé měrné tepelné kapacity c pevné látky. Označme: m_1 hmotnost vody v kalorimetru, t_1 její počáteční teplotu, m_2 a t_2 hmotnost a počáteční teplotu pevné látky. Po vyrovnání teplot na hodnotu t bude platit

$$m_2 c (t_2 - t) = (m_1 c_v + K) \cdot (t - t_1), \quad (5)$$

odkud plyne pro neznámou měrnou tepelnou kapacitu c vztah

$$c = \frac{(m_1 c_v + K) \cdot (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} \quad (6)$$

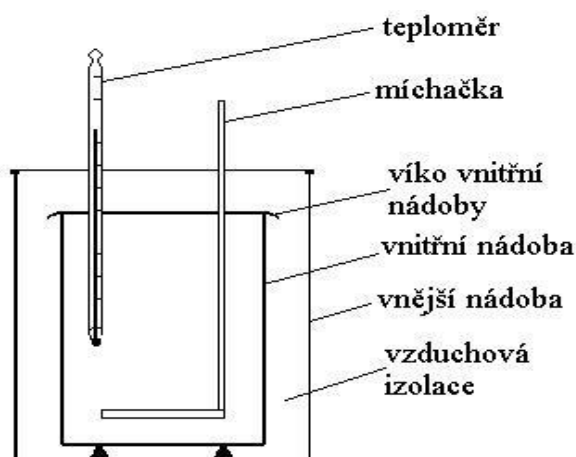
Potřeby: mosazný kalorimetr s míchačkou, váhy laboratorní a digitální, teploměry, kovové vzorky, kádinka, elektrický ohřívač.

Pokyny k měření a jeho zpracování:

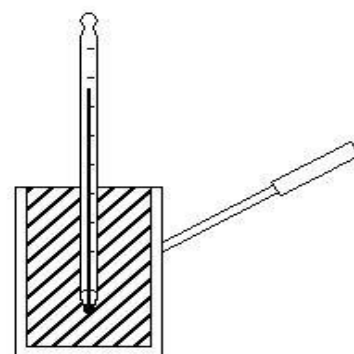
- 1) Zvážit oba válečky na digitální váze.
- 2) Hmotnost vnitřní nádoby kalorimetru s míchačkou a víčkem je $(261,69 \pm 2,62)$ g.
- 3) Do vnitřní nádoby nalít cca 150-200 ml studené vody, vložit míchačku a zavřít víčkem. **Zvážit** na digitální váze.
- 4) Vnitřní nádobu kalorimetru vložit do vnější nádoby. Vložit teploměr, nechat ustálit a zapsat teplotu t_a .
- 5) Do kádinky nalít cca 150 - 200 ml teplé vody (do 70 °C). Vložit teploměr.
- 6) **Zapsat obě teploty** (teplé i studené vody) těsně před smícháním. **Nalít** teplou vodu do studené a přikrýt vnitřní i vnější nádobu kalorimetru. Vložit teploměr, nechat ustálit, **zapsat výslednou teplotu**.
- 7) Vyndat vnitřní nádobu se smíchanou vodou (včetně míchačky a víčka), **zvážit** na digitální váze. **Smíchanou vodu VYLÍT!** Spočítat tepelnou kapacitu kalorimetru a výsledek si nechat schválit dozorem laboratoře.
- 8) Do vnitřní nádoby nalít cca 150 - 200 ml studené vody, vložit míchačku a zavřít víčkem. **Zvážit** na digitální váze.
- 9) Opět vložit vnitřní nádobu kalorimetru do vnější nádoby. Vložit teploměr.
- 10) **Dát ohřát první váleček.** Do dolíčku na horní straně nalít trošku vody (kvůli lepšímu kontaktu válečku s teploměrem, ale teploměr se nesmí dotýkat válečku), do dolíčku vložit

teploměr, ten zařadit v držáčku. Nechat ohřívát do cca 75 °C, pak vypnout, nechat dosáhnout maxima teploty.

- 11) **Zapsat teplotu válečku, zapsat teplotu vody.** Váleček urychleně vložit do vody v kalorimetru, zavíčkovat oběma víčky (nezapomenout na míchačku). Nechat ustálit, **zapsat výslednou teplotu.**
- 12) Dát ohřívát druhý váleček. První váleček vyndat. Opakovat postup z bodu 7 až 11.
- 13) Po úklidu pracoviště odhadneme, z jakého materiálu byly vzorky pravděpodobně vyrobeny, abychom mohli své výsledky porovnat s tabelovanými hodnotami. Poznamenejme si dělení stupnic teploměrů.
- 14) Interpolační metodou stanovíme hmotnosti m_2 vzorků a vypočteme hmotnosti vody m_a , m_b , m_1 včetně krajních chyb (v těchto případech se bude jednat o chyby nepřímých měření!).



Obr.1: Řez kalorimetrem



Obr. 2: Držák se vzorkem a teploměrem

- 15) Stanovíme chyby dosažených výsledků jako chybu nepřímých měření - vztah (4) upravíme:

$$K = \frac{m_b c_v \Delta_{tb}}{\Delta_{ta}} - m_a c_v,$$

kde $\Delta_{tb} = (t_b - t)$, $\Delta_{ta} = (t - t_a)$; všechny nejistoty teplot $\sigma_t = 0,1 \% z t + 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\text{(např. } \sigma_t = \sigma_{\Delta_{tb}} = \sqrt{\sigma_{tb}^2 + \sigma_{t-\text{výsledná}}^2} \text{)}$$

$$\text{Nejistota } \sigma_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m_b} \sigma_{m_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial \Delta_{tb}} \sigma_t\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial \Delta_{ta}} \sigma_t\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial m_a} \sigma_{m_a}\right)^2}$$

$$\sigma_K = \sqrt{\left(\frac{c_v \Delta_{tb}}{\Delta_{ta}} \sigma_{m_b}\right)^2 + \left(\frac{m_b c_v}{\Delta_{ta}} \sigma_t\right)^2 + \left(\frac{m_b c_v \Delta_{tb}}{\Delta_{ta}^2} \sigma_t\right)^2 + \left(c_v \sigma_{m_a}\right)^2}$$

Chyba/nejistota by měla vycházet maximálně v desítkách J/K.

Stejně upravíme vztah (6) pro měrnou tepelnou kapacitu:

$$c = \frac{(m_a c_v + K) \Delta t_a}{m \Delta t}$$

kde m ... hmotnost válečku

$\Delta t_a = (t - t_a)$... (výsledná teplota – teplota vody)

$\Delta t = (t_{val} - t)$... (teplota válečku – výsledná teplota)

nejistota teplot $\sigma_{t_a} = 0,7$ K

nejistota teplot $\sigma_{t_{val}} = 1$ K (při zahřívání na vařiči menší nejistoty nelze dosáhnout – teoreticky je možné sice dosáhnout přesnosti 0,5 K, ale při přenosu válečku se teplota ještě sníží)

Nejistota $\sigma_c =$

$$= \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial m_a} \sigma_{m_a}\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial K} \sigma_K\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \Delta t_a} \sigma_{t_a}\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial m} \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \Delta t} \sigma_{t_{val}}\right)^2 =}$$

$$\sqrt{\left(\frac{c_v \Delta t_a}{m \Delta t} \sigma_{m_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_a}{m \Delta t} \sigma_K\right)^2 + \left(\frac{m_a c_v + K}{m \Delta t} \sigma_{t_a}\right)^2 + \left(\frac{(m_a c_v + K) \Delta t_a}{m^2 \Delta t} \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{(m_a c_v + K) \Delta t_a}{m \Delta t^2} \sigma_{t_{val}}\right)^2}$$

Chyba/nejistota by měla vycházet maximálně ve stovkách J/kg·K.

Kontrolní otázky:

- 📖 Co konkrétně sděluje (pro 1 kg vody) údaj: měrná tepelná kapacita vody je asi 4,2 kJ/kg·K?
- 📖 Jaký základní přírodní zákon je vyjádřen kalorimetrickou rovnicí?
- 📖 Z jakého údaje se určí krajní chyba měření teploty?

Literatura:

[1] KOPAL, A. a kol. *Fyzika I*. Vyd. 2. Liberec: TUL, 2009.

Autoři textu: Mgr. Lubor Machonský, CSc.