

# HMOTNOSTNÁ TEPELNÁ KAPACITA TUHÝCH LÁTOK

doc. RNDr. Drahošlav Vajda, CSc.

## *Teoretický úvod:*

Množstvo tepla potrebného na zvýšenie teploty látky závisí od hmotnosti látky, chemického zloženia, vnútornej štruktúry (stavby). To množstvo tepla, ktoré musíme telesu dodať, aby sme zvýšili jeho teplotu o jeden kelvin, nazývame tepelnou kapacitou telesa  $C$ . Definujeme ju vzťahom

$$C = \frac{dQ}{dT} \text{ [JK}^{-1}\text{]}. \quad (1)$$

Tepelná kapacita vyjadruje podiel elementárneho množstva tepla  $dQ$  telesu dodaného a príslušnej zmeny teploty  $dT$  súvisiacej s dodaním tepla.

Tepelná kapacita látky prepočítaná na jednotkovú hmotnosť (1kg) je hmotnostná tepelná kapacita telesa a je definovaná vzťahom

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}, \text{ alebo pre konečné zmeny: } c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \text{ [Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

kde  $m$  - hmotnosť telesa

$\Delta Q$  - teplo dodané

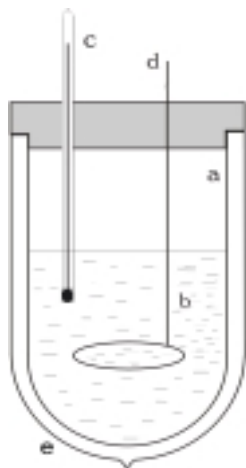
$\Delta T$  - zmena teploty

Hmotnostná tepelná kapacita tuhých látok je pri dostatočne vysokých teplotách veličina konštantná (tak tomu je aj pri izbových teplotách).

Hodnota hmotnostnej tepelnej kapacity závisí od podmienok, za ktorých sa teplo látke dodáva. Vo všeobecnom prípade hovoríme o hmotnostnej tepelnej kapacite pri konštantnom objeme  $c_v$  a pri konštantnom tlaku  $c_p$ . Hmotnostné tepelné kapacity  $c_v$  a  $c_p$  sa u tuhých látok líšia veľmi málo, takže v bežných prípadoch k ich rozdielu nie je potrebné prihliadať a preto v ďalšom položíme pre tuhé látky  $c_v = c_p = c$ .

## **Kalorimetrická metóda určovania hmotnostných tepelných kapacít tuhých látok:**

Na určovanie hmotnostných tepelných kapacít látok sa najčastejšie používa zmiešavací kalorimeter, vid' obrázok. Je to tepelne izolovaná nádoba, v ktorej skúmanej látke o hmotnosti  $m$  dodávame alebo odoberáme množstvo tepla  $\Delta Q$  a meriame zmenu jej teploty  $\Delta t$ .



Zmiešavací kalorimeter sa skladá z nádoby tvaru valca (a) naplnenej kvapalinou (b) (najčastejšie destilovanou vodou) o známej  $c$ , ktorá chemicky nereaguje s vyšetřovanou látkou (telesom), teplomera (c) a miešačky (d). Táto nádoba je uložená do inej, väčšej nádoby. Vrstva vzduchu medzi nimi tvorí tepelnú izoláciu. Nádoby (a) a (e) bývajú často nahradené Dewarovou nádobou.

V ideálnom prípade všetko dodané teplo sa odovzdá skúmanej látke (telesu). V skutočnosti sa vždy časť dodaného tepla spotrebuje na ohriatie kalorimetra a jeho súčastí (nádoba, teplomer, miešačka) a časť tepla sa odvedie do prostredia, ktoré kalorimeter obklopuje. Toto všetko oceňujeme tak, že do výpočtov zavádzame tepelnú

kapacitu kalorimetra  $K$ . V zhode s definíciou,  $K$  je teplo, ktoré musíme dodať, aby kalorimeter a jeho súčasti zvýšili svoju teplotu o jeden kelvin a určujeme ju experimentálne (pre každý kalorimeter zvlášť). Meranie je založené na zákone zachovania energie (kalorimetrickej rovnici).

### A. Určenie hmotnostného tepla tuhých látok

Kalorimeter o tepelnej kapacite  $K$  zčasti naplníme vodou o hmotnostej tepelnej kapacite  $c_1$ , hmotnosti  $m_1$  a teplote  $t_1$ . Keď do kalorimetra vložíme látku (teleso) o hmotnosti  $m_2$ , zohriatu na teplotu  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ ), ktorej hmotnosťú tepelnú kapacitu  $c$  máme stanoviť, dôjde k výmene tepla a teplota vody a telesa v kalorimetri sa ustália na teplote  $t$ .

Teplo  $\Delta Q_2$ , ktoré vyšetřovaná látka (teleso) odovzdá, sa rovná teplu  $\Delta Q_1$ , ktoré odoberie voda a teplu  $\Delta Q_3$ , ktoré odoberie kalorimeter s príslušenstvom.

$$\text{Platí pritom rovnosť:} \quad \Delta Q_2 = \Delta Q_1 + \Delta Q_3 \quad (3)$$

$$\text{kde:} \quad \Delta Q_2 = m_2 c (t_2 - t) \quad (4)$$

$$\Delta Q_1 = m_1 c_1 (t - t_1) \quad (5)$$

$$\Delta Q_3 = K(t - t_1) \quad (6)$$

Po dosadení vzťahov (4), (5) a (6) do vzťahu (3)

$$m_2 c (t_2 - t) = (m_1 c_1 + K) (t - t_1) \quad (7)$$

a po úprave:

$$c = \frac{(m_1 c_1 + K)(t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} \quad (8)$$

### B. Určenie tepelnej kapacity kalorimetra $K$

Kalorimeter o tepelnej kapacite  $K$  naplníme asi do polovice vodou o hmotnosti  $m_4$ , teploty  $t_4$  a hmotnostnej tepelnej kapacite  $c_1$ . Pritom počkáme, až sa teplota kalorimetra s príslušenstvom ustália (vyrovnejú) tak, že ich teploty môžeme považovať za rovnaké a rovné  $T$ .

Potom do kalorimetra dolejeme teplú vodu o hmotnosti  $m_5$ , teplote  $t_5$  a hmotnostej tepelnej kapacite  $c_1$ .

Teplota v kalorimetri sa ustáli na výslednej hodnote  $T$ .

Pri výmene tepla v kalorimetri:

$$\text{- teplejšia voda odovzdá teplo } \Delta Q_5: \quad \Delta Q_5 = m_5 c_1 (t_5 - T) \quad (9)$$

$$\text{- chladnejšia voda prijme teplo } \Delta Q_4: \quad \Delta Q_4 = m_4 c_1 (T - t_4) \quad (10)$$

a kalorimeter s príslušenstvom prijmu teplo  $\Delta Q_6$ :

$$\Delta Q_6 = K(T - t_4) \quad (11)$$

Zo zákona zachovania energie dostávame:

$$\Delta Q_5 = \Delta Q_4 + \Delta Q_6 \quad (12)$$

$$\text{odtiaľ:} \quad m_5 c_1 (t_5 - T) = m_4 c_1 (T - t_4) + K(T - t_4) \quad (13)$$

a po úprave:

$$K = m_5 c_1 \frac{(t_5 - T)}{(T - t_4)} - m_4 c_1 \quad (14)$$

### **Určenie hmotnosti:**

*Hmotnosť vody  $m_1$  určíme nasledovne:*

Prvýkrát odvážime prázdnu vnútornú nádobu kalorimetra. Jeho hmotnosť označíme  $m_0$ . Druhýkrát zvážíme túto nádobu už zčasti naplnenú vodou. Rozdiel týchto vážení nám dá hmotnosť vody  $m_1$ .

*Hmotnosť doliatej teplej vody  $m_5$  určíme nasledovne:*

Po doliatí teplej vody do kalorimetra a po ustálení teploty a jej odmeraní, vyberieme z kalorimetra vnútornú nádobu naplnenú vodou a odvážime ju. Tak zmeriame hmotnosť vnútornej nádoby  $m_0$  spolu so studenou vodou  $m_4$  a teplou vodou  $m_5$ . Pretože z predchádzajúceho váženia poznáme hmotnosť  $m_0$  a  $m_4$ , rozdiel nám dá hmotnosť  $m_5$ .

Na presnosť merania značne vplýva stanovenie teploty. Za účelom zníženia chyby, teplotu stanovujeme tým istým teplomerom a pozorne sledujeme, kedy sa dosiahol stav rovnováhy.

Pre výpočet potrebujeme poznať vážením hmotnosti  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_4$  a  $m_5$  a potrebujeme poznať teploty  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_4$ ,  $t_5$  a  $T$ .

### **Úlohy:**

1. Určte tepelnú kapacitu  $K$  zmiešavacieho kalorimetra.
2. Určte hmotnostnú tepelnú kapacitu tuhých látok podľa pokynov vyučujúceho.
3. Určte chybu merania (podľa pokynov cvičiaceho).
4. Dosiahnuté výsledky hmotnostnej tepelnej kapacity  $c$  porovnajte s tabuľkovými hodnotami a urobte diskusiu.

### **Spracovanie výsledkov:**

1. K výpočtu  $c$  potrebujeme poznať  $K$ . Určíme ju popisovaným postupom a vypočítame podľa vzťahu (14). Hmotnostná kapacita vody je  $c_1 = 4186 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
2. Z nameraných hodnôt určíme podľa vzťahu (8) hmotnostné tepelné kapacity vyšetovaných telies.
3. Vypočítané hmotnostné tepelné kapacity porovnáme s tabuľkovými hodnotami.
4. Urobíme diskusiu dosiahnutých výsledkov.

### **Kontrolné otázky:**

1. Objasnite pojmy tepelná kapacita, hmotnostná tepelná kapacita a uveďte súvislosť medzi nimi.
2. Objasnite pojem teplo a teplota.
3. Odvoďte vzťah (8) pre hmotnostnú tepelnú kapacitu tuhej látky určovanú zmiešavacím kalorimetrom.
4. Odvoďte vzťah (14) pre tepelnú kapacitu kalorimetra.

### **Úloha je prevzatá, doplnená a opravená, zo skrípt:**

Doc. RNDr. Drahoslav Vajda, CSc., Doc. Ing. Július Štelina, CSc., RNDr. Jaroslav Kovár, Ing. Ctibor Musil, CSc., RNDr. Ivan Bellan, Doc. Ing. Igor Jannický, CSc. „*Návody k laboratórnym cvičeniam z fyziky*“, vydala Žilinská univerzita vo vydavateľstve EDIS, 2. nezmenené vydanie, rok 2003.