

Měření měrné tepelné kapacity pevných látek a skupenského tepla tání ledu

Teorie

Teplo je jedním ze základních pojmů termodynamiky a je těsně spjata s procesem předávání energie. Jedno těleso může dodat energii druhému tělesu nejen konáním práce, ale i předáním tepla.

Pro stanovení tepla, jež bylo látkou přijato či odevzdáno je důležitá veličina, jež se nazývá měrná tepelná kapacita. Měrná tepelná kapacita je množství tepla, jež je potřebné k ohřátí jednoho kg dané látky o 1 °C. K měření této veličiny se běžně používají kalorimetry. Kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba, v které zkoumané látce dodáváme známé množství tepla Q . Nedochozí-li při dodání tepla v kalorimetru k jinému ději (např. k fázovým přeměnám, chemickým reakcím, apod.) než k oteplování zkoumané látky, můžeme pro množství dodaného tepla napsat vztah

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

ve kterém m značí hmotnost vyšetřované látky, t_1 a t_2 jsou teploty před a po dodání tepla látce. Rovnice (1) odpovídá ideálnímu případu, kdy veškeré teplo Q se předává zkoumané látce. Ve skutečnosti se vždy část tepla dodaného do kalorimetru spotřebuje na ohřátí jeho součástí, tj. nádoby, míchačky, teploměru apod. Teplo spotřebované na ohřátí součástí kalorimetru vystihneme, zavedeme-li do kalorimetrických výpočtů tepelnou kapacitu kalorimetru K . Tato veličina představuje teplo potřebné k ohřátí kalorimetru o jeden kelvin. Tepelnou kapacitu kalorimetru zjišťujeme obvykle experimentálně. S uvažováním tepelné kapacity kalorimetru přejde rovnice (1) ve tvar

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) - K(t_2 - t_1). \quad (2)$$

Směšovací kalorimetr

Nejjednodušším typem kalorimetru je směšovací kalorimetr. Zkoumané látce je dodáváno, nebo odebíráno teplo kalorimetru jinou látkou známé měrné tepelné kapacity. Často je jako kalorimetrická nádoba užívána Dewarova nádoba s dvojitými skleněnými stěnami, mezi nimiž je vyčerpán vzduch. Tyto stěny jsou zevnitř postříbřeny.

Kalorimetr zčásti naplníme vhodnou kapalinou, chemicky nereagující se zkoumanou látkou (obvykle vodou) o hmotnosti m_1 a teplotě t_1 , jejíž měrnou tepelnou kapacitu c_1 známe. Když vložíme do kalorimetru látku o hmotnosti m_2 vyhřátou na teplotu t_2 , jejíž tepelnou kapacitu c_2 máme stanovit, dojde k výměně tepla. Teplo dodané zkoumanou látkou do kalorimetru se musí rovnat teplu, které kalorimetr naplněný kapalinou o známé měrné kapacitě odebere zkoumané látce. Tato skutečnost je vystižena kalorimetrickou rovnicí

$$m_2 c_2 (t_2 - t) = (m_1 c_1 + K) \cdot (t - t_1), \quad (3)$$

v níž t značí teplotu, která se ustálí v kalorimetru po skončené výměně tepla.

Při měření tepelné kapacity kalorimetru K postupujeme nejčastěji tak, že nejprve dáme do kalorimetru vodu o hmotnosti m_1 a ponecháme ji dostatečně dlouho, aby se všechny části kalorimetru ustálily na teplotě t_1 . Poté přidáme další vodu o hmotnosti m_2 a teplotě t_2 . Pro tepelnou kapacitu kalorimetru pak platí výraz

$$K = \frac{m_2(t_2 - t) - m_1(t - t_1)}{t - t_1} c, \quad (4)$$

kde t je teplota, která se ustálí v kalorimetru po smíšení vody a c je měrná tepelná kapacita vody.

V některých případech se stává, že látka přijímá či odevzdává teplo, aniž by se změnila její teplota. Jedná se o tzv. fázové přechody, kdy je třeba látce dodat či odebrat určité teplo, aby fázový přechod mohl proběhnout. Příkladem takového přechodu je tání. Definujeme proto tzv. měrné skupenské teplo tání l_t , jako množství tepla, jež je třeba dodat jednomu kilogramu pevné látky, která je na teplotě tání, aby se změnila na kapalinu stejné teploty. Látce o hmotnosti M a teplotě tání t_0 je třeba dodat teplo:

$$Q = M \cdot l_t, \quad (5)$$

aby se změnila na kapalinu o téže teplotě t_0 .

Měření skupenského tepla tání ledu provádíme opět ve směšovacím kalorimetru, který je naplněn vodou o hmotnosti m , jež má teplotu t_v . Vložíme-li led do kalorimetru, bere si led potřebné teplo k tání z vody v kalorimetru. Po roztání ledu se teplota kalorimetru ustálí na teplotě t , jež je různá od teploty t_0 . Potom lze psát kalorimetrickou rovnici ve tvaru:

$$(m \cdot c + K) \cdot (t_v - t) = M \cdot l_t + M \cdot c \cdot (t - t_0), \quad (6)$$

odkud:

$$l_t = \frac{(m \cdot c + K) \cdot (t_v - t)}{M} - c \cdot (t - t_0), \quad (7)$$

kde c je měrná tepelná kapacita vody a K je tepelná kapacita kalorimetru.



Obrázek 1: Směšovací Dewarův kalorimetr a víko kalorimetru

Úkol

- Určete tepelnou kapacitu kalorimetru.
- Určete měrnou tepelnou kapacitu pevných látek.
- Určete měrné skupenské teplo tání ledu.

a) Určete tepelnou kapacitu kalorimetru.

Pomůcky:

Dewarův kalorimetr, teploměr, elektronické váhy, ponorný vaříč, kádinka

Postup:

- Zvažte kádinku a označte hmotnost kádinky M . Do kádinky nalijte co nejstudenější (alespoň 10°C) vodu (150 - 200 ml), zvažte kádinku s vodou a hmotnost označte M_1 .
- Nalijte vodu do kalorimetru, uzavřete kalorimetr víkem, vsuňte do něj teploměr a vodu v kalorimetru zamíchejte. Sledujte vývoj teploty vody. Ta mírně poroste, až se posléze její růst téměř zastaví (teplota vody a kalorimetru je stejná). Hodnotu teploty označte t_1 .
- Do kádinky nalijte cca 100 ml vody, zvažte kádinku s vodou a označte hmotnost M_2 . Poté vodu ohřejte ponorným vaříčem na teplotu kolem 40 °C.
- Z kalorimetru odlijte určité množství vody (cca 100 ml) do jiné kádinky a kádinku s vodou zvažte, hmotnost označte M_3 .
- Do kalorimetru dolijte ohřátou vodu o teplotě t_2 . (Teplotu t_2 si zaznamenejte těsně před tím, než ohřátou vodu nalijete do kalorimetru.) Kalorimetr uzavřete, zasuňte do něj teploměr a zamíchejte vodu v kalorimetru. Sledujte vývoj teploty. Ta se po krátké době ustálí na teplotě t , zaznamenejte si ji.
- Z rovnice (4) vyplývá pro tepelnou kapacitu kalorimetru výraz

$$K = \frac{(M_2 - M)(t_2 - t) - (M_1 - M_3)(t - t_1)}{t - t_1} c$$

Dosaďte do výrazu naměřené hodnoty a vypočítejte tepelnou kapacitu kalorimetru.

- Stanovte chybu měření.
- Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data a výpočty. Na závěr shrňte výsledky svého snažení.

b) Určete měrnou tepelnou kapacitu pevných látek.

Pomůcky:

Kalorimetr, mosazný, hliníkový a bronzový váleček, kádinky, teploměr, elektronické váhy, ponorný vaříč

Postup:

- Vzorek pevné látky zvažte a označte hmotnost m_2 . Pak ho pomocí ponorného vaříče ohřejte v kádince s vodou na teplotu t_2 . (Nechte váleček minimálně 5 min ve vroucí vodě, aby se váleček dostatečně prohřál.)

- 2) Nalijte mezitím známé množství vody o hmotnosti m_1 a teplotě t_1 . (Teplotu t_1 změřte v kalorimetru až po jejím ustálení.
- 3) Poté rychle vložte ohřátý vzorek do kalorimetru, uzavřete ho víkem a vodu v kalorimetru zamíchejte. Výslednou teplotu t zaznamenejte po jejím ustálení.
- 4) Vypočítejte tepelnou kapacitu vzorku a její odchylku.
- 5) Zopakujte body 1) až 4) pro měření tepelné kapacity vzorku jiné pevné látky.
- 6) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data a výpočty. Na závěr shrňte výsledky svého snažení, porovnejte je s tabulkovými hodnotami a diskutujte možné chyby měření.

c) Určete měrné skupenské teplo tání ledu

Pomůcky:

Kalorimetr, led, kádinky, teploměr, elektronické váhy, ponorný vaříč

Postup:

- 1) Do kalorimetru nalijte dostatečné množství vody (kolem 150 ml) o hmotnosti m a teplotě t_v (kolem 40 °C).
- 2) Vyjměte z ledničky několik kostek ledu. Ty jsou podchlazené na teplotu nižší, než je bod tání ledu. Proto led rozdrťte na jemnou drť a chvíli ponechejte na teplotě místnosti.
- 3) Poté kousky ledu osušte savým papírem, zvažte a hmotnost označte M .
- 4) Kousky ledu vhod'te do kalorimetru, zamíchejte jej a po rozpuštění ledu a ustálení výsledné teploty, si její hodnotu t zaznamenejte.
- 5) Vypočítejte měrné skupenské teplo tání ledu a stanovte chybu měření.
- 6) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data a výpočty. Na závěr shrňte výsledky svého snažení, porovnejte je s tabulkovými hodnotami a diskutujte možné chyby měření.