
Úloha č. 6: Tepelné vlastnosti vody

jarní semestr 2023

1 Měření teplotní roztažnosti vody pyknometrickou metodou

Pyknometr je nádobka, která po uzavření zabroušenou zátkou definuje velmi přesně svůj vnitřní objem. Této vlastnosti využijeme při měření objemové roztažnosti kapaliny (vody).

Postup měření

1. Nejprve zvážíme prázdný pyknometr. Před vážením prázdného pyknometru zkontrolujeme, jestli je suchý. Pokud ne, vysušíme ho horkovzdušnou pistolí nastavenou na teplotu $\approx 150^\circ\text{C}$.
2. Pyknometr zcela naplníme destilovanou vodou o laboratorní teplotě a znovu ho zvážíme. Plnění pyknometru: pyknometr naplníme až po okraj a pak uzavřeme zabroušenou zátkou. Zkontrolujeme, jestli není v pyknometru bublinka.
3. Umístíme pyknometr do lázně v tepelně izolované nádobě s ohřátou vodou tak, aby byl zcela ponořen (i se zátkou). Až se vyrovná teplota pyknometru a teplota lázně, pyknometr vyjmeme, osušíme a opět zvážíme.

Při výpočtu teplotní roztažnosti kapaliny musíme vzít v úvahu i teplotní roztažnost skla pyknometru. Lze odvodit následující vztah

$$\beta = \beta_p + \frac{\Delta m}{m_0(t-t_0)} \quad (1)$$

kde β je hledaná teplotní roztažnost kapaliny, β_p teplotní roztažnost skla pyknometru (určíme na internetu; předpokládáme, že se jedná o sklo Simax), m_0 počáteční hmotnost kapaliny při teplotě t_0 , Δm úbytek hmotnosti kapaliny při ohřátí na teplotu t .

Poznámky

- Zabroušená zátka musí sedět v zábrusu, jinak netěsní. Nepřehazujte zátky mezi pyknometry.
- Údaj o objemu pyknometru je jen orientační.

2 Měření měrné tepelné kapacity vody elektrickým kalorimetrem

Elektrický kalorimetr je zařízení, které dovoluje měřit tepelnou kapacitu kapalin i pevných látek. Je to tepelně izolovaná nádoba s elektrickou topnou spirálou, teploměrem a míchačkou. Použití ohřevu elektrickým proudem dovoluje určit měrnou tepelnou kapacitu absolutně.

V kalorimetru můžeme kromě měření s elektrickým ohřevem provádět i měření směšovací, při kterém dochází k vyrovnání teplot dvou složek s různými počátečními teplotami. Při tomto postupu však určíme tepelnou kapacitu jen relativně vzhledem k tepelné kapacitě nějaké jiné látky.

Měření s elektrickým ohřevem

Energie, kterou topná spirála dodá do kalorimetru, se určí jednoduše z proudu I , napětí U a doby ohřevu τ . Pokud neuvažujeme tepelné ztráty, můžeme energiovou výměnu mezi kalorimetrem s náplní o hmotnosti m a topnou spirálou popsat rovnicí

$$(mc + K)(t - t_p) = UI\tau$$

kde c – měrná tepelná kapacita vody, K – tepelná kapacita kalorimetru,¹ t – konečná teplota po čase τ , t_p – počáteční teplota. Zavedeme-li redukovanou tepelnou kapacitu kalorimetru

$$\kappa = K/c,$$

rovnici můžeme napsat ve tvaru

$$(m + \kappa)c(t - t_p) = UI\tau. \quad (2)$$

Chceme-li určit měrnou tepelnou kapacitu vody c kalorimetrem, jehož tepelnou kapacitu K neznáme, máme dvě neznámé – c a K . K jejich určení musíme tedy provést dvě měření. Nejjednodušší postup je

- směšovací měřením určit redukovanou tepelnou kapacitu kalorimetru κ ,
- měřením s elektrickým ohřevem určit měrnou tepelnou kapacitu vody c .

Směšovací měření – určení redukované tepelné kapacity kalorimetru

Měření provádíme tak, že do kalorimetru naplněného vodou o hmotnosti m_1 a teplotě t_1 dolijeme vodu o hmotnosti m_2 a teplotě t_2 .²

Po promíchání vody v kalorimetru a vyrovnání teploty s kalorimetrem se teplota ustálí na výsledné hodnotě t . Teplo, které přijala voda o hmotnosti m_1 a kalorimetr (o stejné teplotě t_1), je rovno teplu, které odevzdala voda o hmotnosti m_2 a teplotě t_2

$$(m_1c + \kappa c)(t - t_1) = m_2c(t_2 - t).$$

Po krácení c dostaneme rovnici s jedinou neznámou κ

$$(m_1 + \kappa)(t - t_1) = m_2(t_2 - t). \quad (3)$$

Postup měření

Připojíme topnou spirálu k napájecímu zdroji. Měříme napětí na topné spirále a proud, který spirálou protéká. K tomu použijeme ampérmetr a voltmetr v zapojení A nebo B (viz návod k úloze č. 3 Měření proudu a napětí). Sami rozhodněte, které zapojení je k tomuto účelu vhodnější. Vodu mírně mícháme magnetickou míchačkou. Sledujeme teplotu vody. Elektrický ohřev ukončíme po dosažení vhodně zvolené výsledné teploty t . Ohřev nesmí být příliš pomalý; při velmi pomalém ohřevu by se výrazně uplatnily tepelné ztráty kalorimetru.

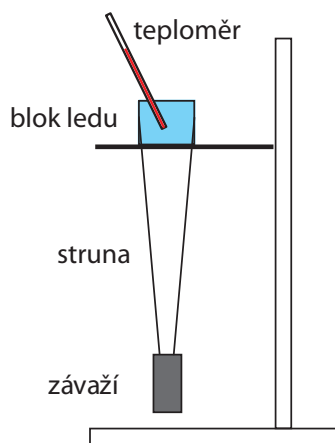
K monitorování topného příkonu a teploty můžete použít program *Kalorimetr*.

3 Anomálie vody – regelace ledu

Voda má v blízkosti bodu tání zcela neobvyklé vlastnosti souhrnně nazývané anomálie vody. Mezi 0°C a 4°C je koeficient teplotní roztažnosti záporný, což znamená, že s rostoucí teplotou se objem zmenšuje. Voda v pevném stavu – led – má hustotu menší než kapalina téže teploty. Proto také,

¹Popisuje množství tepla přijatého vlastním kalorimetrem a pomocnými prvky (míchačkou, teploměrem).

²Není zcela lhostejné, jaká množství m_1 a m_2 kapalin použijeme. Přemýšlejte o tom! Zpravidla bývá $t_1 < t_2$.



Obrázek 1: Schéma pro regelaci ledu

na rozdíl od většiny ostatních látek, zvýšení tlaku (tedy snaha zmenšit objem a zvýšit hustotu) snižuje bod tání. Tento jev se nazývá regelace ledu. Všechny tyto jevy souvisí s van der Waalsovými vazbami mezi molekulami vody.

Regelaci ledu ověříme v uspořádání podle obrázku 1. Přes blok ledu převlékneme smyčku struny, kterou zatížíme závažím. Při pokusu můžeme současně měřit teplotu ledu, teploměr umístíme do předem předvrtaného otvoru. Sledujeme chování struny při postupném ohřevu ledového bloku. Pozorování vysvětlete.

4 Přehřátá voda

Přehřátou vodou nazýváme vodu, která zůstává ve skupenství kapalném, přestože má teplotu vyšší, než je teplota varu vody při daném tlaku. Příčinou toho je nedostatek nukleačních zárodků, od nichž by mohla kapalina začít vařit. Takovými zárodky by se mohly stát nečistoty a škrábance na vnitřní straně kádinky, na skleněném teploměru či na hrotu sondy digitálního teploměru, případně minerály a bublinky plynu obsažené ve vodě. Proto musíme před zahájením přehřívání kádinku, teploměr a hrot sondy digitálního teploměru omýt v destilované vodě a vodu, kterou chceme přehřát, důkladně převarit. Převarění můžeme realizovat na plynovém či indukčním vařiči (350 až 400 ml destilované vody vaříme asi 3 minuty), vlastní přehřátí však na něm realizovat nejde (kapalina se při ohřevu promíchává). Přehřátí realizujeme v mikrovlnné troubě.

Před vložením do mikrovlnné trouby zvážíme ohřátou vodu (použijeme izolační podložku, abychom nepoškodili váhy) a změříme její teplotu (například skleněným teploměrem). Vložíme do mikrovlnné trouby a nastavíme takovou dobu ohřevu τ , která by teoreticky měla vést ke zvýšení teploty o $\Delta t = 5^\circ\text{C}$:

$$mc\Delta t = P\tau,$$

kde c je měrná tepelná kapacita vody a P je výkon mikrovlnné trouby. Vodu opatrně vyjmeme, změříme opět teplotu a zvážíme. Podle výsledků zkorigujeme další dobu ohřevu.

Nyní se pokusíme vodu přehřát. Nastavíme čas potřebný k ohřátí vody na 105°C , po přehřátí vodu opatrně vyjmeme a vložíme do ní omytý hrot digitálního teploměru. Je-li voda přehřátá, začne kolem hrotu vařit. Na displeji teploměru můžeme sledovat pokles teploty. Pokud není voda přehřátá, k varu nedojde a musíme ohřev zopakovat, a to po delší dobu. Chceme-li změřit teplotu přehřáté vody, použijeme *skleněný* teploměr. Jako poslední experiment vhodíme do přehřáté vody kostku ledu. Bude následovat prudký var. Vysvětlete.

Vodu se nepokoušejte přehřát přes 105°C , hrozí nebezpečí výbuchu! Při manipulaci s horkou vodou používejte ochranný štít (ochrana očí!). Kádinku držte za horní okraj nebo použijte rukavice.

Otázka

Jak je možné, že voda je i nad bodem varu stále v kapalném stavu? Proč se po vhození zárodku, který uvedl vodu do varu, nevypařila všechna voda? Odhadněte výpočtem, kolik procent vody se vypařilo při přehřátí o 5°C ? Jakému by to odpovídalo objemu páry pro množství vody 500 ml.

5 Podchlazená voda

Pomůcky. Dvě až tři PET láhve s podchlazenou vodou

Termočláňkové teplotní čidlo ve skleněné trubičce

Teploměr Greisinger

Tenký drátek

Malý kousek ledu

Postup měření

Z mražáku (u úlohy magnetismus) vyjmeme dvě láhve s kapalnou vodou. V mražáku mohou být i láhve se zmrzlou vodou; ty pro náš experiment nebereme.

Na tomto mražáku lze nastavit požadovanou vnitřní teplotu v širokém rozmezí, obvyklé nastavení vhodné pro výrobu přechlazené vody je -3°C . Požadovaná teplota se krátce zobrazí po stisku tlačítka „P“ u displeje. Displej na mražáku dlouhodobě ukazuje skutečnou teplotu v mražáku, teplota vzduchu v zavřeném mražáku kolísá kolem požadované teploty o $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

S lahví s přechlazenou vodou manipulujeme opatrně, aby nenastala předčasná aktivace skupenské změny. Opatrně sundáme víčko z láhve. Termočláňkové teplotní čidlo ve skleněné trubičce vložíme do láhve³, čidlo připojíme k teploměru Greisinger. Vyčkáme na ustálení údaje na teploměru (asi 2 - 3 min).

Z láhve setřeme případné ojmění, aby bylo dobře vidět do láhve. Termočláňkové teplotní čidlo ve skleněné trubičce mírně pozvedneme (přitom dále měří teplotu vody v láhvi) a do láhve opatrně strčíme tenký drátek nebo vhodíme malý kousek ledu. V láhvi se během několika sekund postupně vytvoří ledová tříšť; přechod vody z metastabilního stavu je provázen rychlým nárůstem teploty na nula stupňů Celsia.

Termočláňkové teplotní čidlo ve skleněné trubičce vyndáme z láhve a uložíme do krabičky. Vezmeme další láhev a tentokrát bez měření teploty zkusíme iniciovat skupenskou změnu mírným úderem lahve o stůl.

Lahve obsahující vodu s ledem vrátit do mražáku nesmíme. Je vhodné, abychom jako náhradu za použité lahve vložili do mražáku stejný počet lahví s tekutou vodou.

Jaká má být láhev na výrobu přechlazené vody? Má mít originální víčko, láhev má být bez polepu a bez ostrých zlomů. Láhev naplníme studenou vodou z vodovodu. Víčko dotáhneme jen mírně, ale tak, aby voda nevytékala; pokud by víčko bylo dotaženo silně, jeho uvolnění z láhve s přechlazenou vodou by snadno mohlo být nechtěným impulsem ke skupenské změně.

Otázka

Jak je možné, že voda je i pod bodem mrazu stále v kapalném stavu? Proč nezmrzla všechna voda? Odhadněte výpočtem, kolik procent vody zmrzlo. Jaká je teplota výsledné směsi a proč?

S podchlazenou kapalinou jste se už možná setkali nebo se setkáte ještě v jedné úloze praktika. Přijďte na to, ve které?

³Povrchu, který bude ponořen ve vodě, se nesmíme dotýkat.