

## Fyzikální praktikum pro nefyzikální obory

### Úloha č. 6: Tepelné vlastnosti vody

jarní semestr 2012

#### 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). Nejprve zvážíme prázdný vysušený pyknometr. Potom pyknometr zcela naplníme destilovanou vodou o laboratorní teplotě a znovu ho zvážíme. Pak umístíme pyknometr do lázně v tepelně izolované nádobě s ohřátou vodou tak, aby byl zcela ponořen. Po vyrovnání teplot pyknometr vyjmeme, osušíme a opět zvážíme. Při výpočtu teplotní roztažnosti kapaliny musíme vzít v úvahu i teplotní roztažnost skla pyknometru. Lze odvodit následující vztah

$$\beta = \beta_p + \frac{\Delta m}{m_0(t-t_0)} \quad (1.1)$$

kde  $\beta$  je hledaná teplotní roztažnost kapaliny,  $\beta_p$  teplotní roztažnost skla pyknometru (určíme z tabulek),  $m_0$  počáteční hmotnost kapaliny při teplotě  $t_0$ ,  $\Delta m$  úbytek hmotnosti kapaliny při ohřátí na teplotu  $t$ .

Vážíme na digitálních vahách.

Poznámka: Zabroušená zátka musí sedět v zábrusu, jinak netěsní. Nepřehazujte zátky mezi pyknometry.

Udaj o objemu pyknometru je jen orientační.

Plnění pyknometru: pyknometr naplníme až po okraj a pak uzavřeme výbrusem. Zkontrolujeme, jestli není v pyknometru bublinka.

Před vážením prázdného pyknometru zkontrolujeme, jestli je suchý. Pokud ne, vysušíme ho horkovzdušnou pistolí nastavenou na teplotu  $\approx 150^\circ\text{C}$

## 2. Měření měrné tepelné kapacity vody elektrickým kalorimetrem

Elektrický kalorimetr je zařízení, které dovoluje měřit tepelnou kapacitu kapalin i pevných látek. Na rozdíl od kalorimetru směšovacího dovoluje jednoduše určit měrnou tepelnou kapacitu absolutně a nikoliv jen relativně vzhledem ke kapacitě nějaké jiné látky.

Elektrický kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba s elektrickou topnou spirálou, teploměrem a míchačkou. Energie, kterou topná spirála dodá do kalorimetru, se určí jednoduše z proudu, napětí a času, po který spirála pracovala. Pokud neuvažujeme tepelné ztráty, můžeme pro energetickou výměnu mezi spirálou a kalorimetrem s náplní psát:

$$(mc + K)(t - t_p) = UI\tau \quad (2.2)$$

kde jednotlivé symboly mají standardní význam, tedy

$m$	- hmotnost náplně
$c$	- měrná tepelná kapacita náplně
$K$	- tepelná kapacita vlastního kalorimetru
$t$	- výsledná teplota
$t_p$	- počáteční teplota
$U$	- napětí
$I$	- proud
$\tau$	- čas

Měření provádíme tak, že po naplnění kalorimetru známým množstvím vody připojíme topnou spirálu k napájecímu zdroji a za mírného míchání měříme ohřev vody za jistý vhodně zvolený čas. Současně musíme měřit i 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). Sami rozhodněte, které zapojení je k tomuto účelu výhodnější.

## 3. Měření kapacity kalorimetru

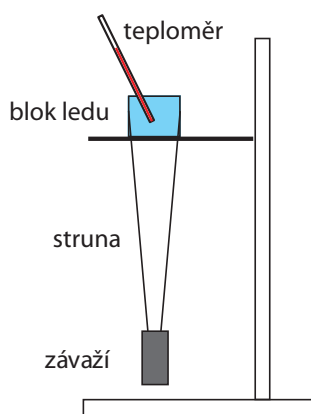
Pro vyhodnocení měření měrné tepelné kapacity vody je nutné určit tepelnou kapacitu kalorimetru  $K$ , která popisuje množství tepla přijatého vlastním kalorimetrem a pomocnými prvky (míchačkou, teploměrem). Měření provádíme tak, že do kalorimetru naplněného měřicí kapalinou o hmotnosti  $m_1$  a teplotě  $t_1$  dolijeme stejnou kapalinu o hmotnosti  $m_2$  a teplotě  $t_2$ .<sup>1</sup>

Po promísení obou kapalin a vyrovnání teploty s kalorimetrem se teplota ustálí na výsledné hodnotě  $t$ . Tepelnou výměnu mezi oběma kapalinami a kalorimetrem lze popsat rovnicí:

$$(m_1c + K)(t - t_1) = m_2c(t_2 - t), \quad (3.3)$$

kde  $c$  je měrné teplo použité kapaliny. Neznámou kapacitu kalorimetru  $K$  již z rovnice snadno vyjádříme.

<sup>1</sup> Není zcela lhostejné, jaká množství  $m_1$  a  $m_2$  kapalin použijeme. Přemýšlejte o tom! Zpravidla bývá  $t_1 < t_2$ .



Obrázek 4.1: Schéma pro regelaci ledu

## 4. Anomálie vody - regelace ledu

Voda má v blízkosti bodu tání zcela neobvyklé vlastnosti souhrnně nazývané anomálie vody. Mezi  $0^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$  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, 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 4.1. 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 vysvětlíte.

## 5. Přehřátá voda (kapalina)

### 5.1. postup práce

V prvním kroku si připravíme teploměry, rtuťový a elektronický, a dobře je omyjeme v destilované vodě. Odložíme je tak, aby se namáčená část ničeho nedotýkala. Dále připravíme lázeň z čisté destilované vody na bodu varu k předehřátí teploměrů. Spočítáme dobu  $\tau$  potřebnou k ohřátí vodní náplně o hmotnosti  $m$  o jeden stupeň zdrojem o výkonu  $P$  podle rovnice

$$m c = P \tau \quad (5.4)$$

$P$  je výkon mikrovlnky,  $c = 4100 \text{ Jk}^{-1}$  tepelná kapacita vody. Výpočet ověříme ohřátím známého množství vody, cca 350 až 400 ml z asi  $70^{\circ}$  na  $80^{\circ}$ , v případě rozdílu korigujeme výpočet. Určený čas nesmí být vyšší než potřebný. Jinak hrozí exploze.

Vodu budeme přehřívat v mikrovlnné troubě. Potřebujeme k tomu 500 ml kádinku bez povrchových defektů, které by mohly fungovat jako nukleární zárodky. Zvážíme prázdnou kádinku a nalejeme do ni asi 350 až 400, ml destilované vody, a na plynovém vařiči na mírném ohni cca 3 minuty povaříme, abychom vodu zbavili rozpuštěných plynů. Pak rychle zvažíme (přes tepelně izolační podložku, abychom nepoškodili váhy) a určíme aktuální

množství vody. Spočítáme dobu  $\tau$  potřebnou k ohřátí vodní náplně o hmotnosti  $m$  o jeden stupeň n zdrojem o výkonu  $P$  podle rovnice 5.4

Elektronickým teploměrem změříme teplotu převařené vody a určíme, jak dlouho je nuto vodu v mikrovlnce přehřívát, aby z této teploty dosáhla  $108^\circ$  Celsia. Pracujeme rychle, aby voda zbytečně nevychladla. Kádinku vložíme do mikrovlnky a ohříváme po spočtenou dobu. Vzhledem k odparu bude dosažená teplota nižší.  $108^\circ$  je maximální teplota, na kterou se podařilo vodu v mikrovlnce přehřát. Kádinku sledujeme přes dvířka v bezpečné vzdálenosti. Začne-li voda v kádince vařit, znovu vodu převaříme na plynu a postup opakujeme. Pokud ani to nepomůže, vymyjeme kádinku odkamennovacím přípravkem, vypláchneme destilovanou vodou a pokus opakujeme. Pokud voda vařit nezačne, v rukavicích a s ochranným štítem povysuneme kádinku a namočíme do ni čistou ocelovou strunu s roztřepeným koncem. Je-li voda přehřátá, začne kolem drátku vařit tím prudčeji, čím víc je přehřátá. Nezačne-li voda vařit, změříme její teplotu. Dopočítáme dobu ohřevu a pokus opakujeme. Jakmile var kolem drátku ustane, ihned opakujeme ohřev, opět po dobu určenou výpočtem z předpokládaných  $100^\circ\text{C}$  na  $108^\circ\text{C}$ . Tentokrát po vysunutí kádinky změříme teplotu přehřáté vody skleněným teploměrem, který předehejeme v lázni destilované vařící vody. Naměřená teplota bude patrně jen nepatrně vyšší než  $100^\circ\text{C}$ . V takovém případě v dalším ohřevu zkusíme mírně prodloužit spočtenou ohřevací dobu a měření opakujeme. Nepokoušejme se přehřát vodu nad  $105^\circ\text{C}$ , hrozí výbuch. Na závěr vhodíme do přehřáté vody kostku ledu. Bude následovat prudký var. Vysvětlete.

Otázky: 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  $5^\circ$  Celsia? Jakému by to odpovídalo objemu páry pro množství vody  $500\text{ml}$ ?

## 6. Podchlazená voda (kapalina)

Pomůcky:

Polyetylenová zkumavka, skleněný teploměr s jemným dělením kolem nuly, dvě malé kádinky vložené do sebe pro tepelnou izolaci stěny proti rosení. Větší tepelně izolovaná nádoba (skleněná dewarka) na ledovou tříšť. Oběhové čerpadlo (motorek do ostřikovače) a dlouhá tenkostěnná silikonová hadička.

Postup práce:

Destilovanou převařenou vodu vychlazujeme v polyetylenové zkumavce v lázni z nemrznoucí směsi do ostřikovačů, naplněné kvůli tepelné izolaci do zdvojené kádinky. Nemrznoucí směs je čerpaná čerpadlem pro stříkovače meandrem silikonové hadice prosypané ledovou tříští a solí, kde se vychlazuje. Volná cesta hadiček musí být co nejkratší, jinak se stačí kapalina ohřát. Při ochlazování stále měříme teplotu destilované vody ponořeným skleněným teploměrem. Vyvarujeme se jakýchkoliv otřesů. Přejít z metastabilního stavu je provázen skokovým nárůstem teploty na nula stupňů Celsia a vznikem ledové tříště. Může se stát, že voda začne mrznout už při nula stupních. V takovém případě vše vymyjeme destilovanou vodou, a pokus opakujeme. Pokud ani při minimální dosažené teplotě pod bodem mrazu voda nezmrzne, vytvoříme poruchu pro vznik zárodku poklepnem do teploměru. V destilované vodě téměř okamžitě vznikne ledová tříšť.

Otázky:

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?