

**FYZIKA**

**6. STRUKTURA A VLASTNOSTI  
PEVNÝCH LÁTEK**

-  
STUDIJNÍ TEXTY PRO 2. ROČNÍK

Frolíková Martina  
Augustynek Martin  
Adamec Ondřej

OSTRAVA 2006

*Budeme rádi, když nám jakékoliv případné dotazy a připomínky k textům zašlete na kterýkoliv z těchto kontaktů:*

[martina.frolikova@iuventas.cz](mailto:martina.frolikova@iuventas.cz)

[martin.augustynek@iuventas.cz](mailto:martin.augustynek@iuventas.cz)

[ondrej.adamec@iuventas.cz](mailto:ondrej.adamec@iuventas.cz)

## **Obsah**

<b>5. STRUKTURA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTEK .....</b>	<b>1</b>
<b>6.1 Úvod do problematiky .....</b>	<b>4</b>
<b>6.1 Povrchová vrstva kapaliny .....</b>	<b>5</b>
<b>6.2 Povrchová síla.....</b>	<b>7</b>
<b>6.3 Povrchové napětí.....</b>	<b>9</b>
<b>6.4 Jevy na rozhraní pevného tělesa a kapaliny .....</b>	<b>10</b>
<b>6.5 Kapilární jevy.....</b>	<b>12</b>
<b>6.6 Teplotní a objemová roztažnost kapalin.....</b>	<b>14</b>

## 6.1 Úvod do problematiky kapalin

Kapaliny tvoří přechod mezi pevnými látkami a plyny. Skládají se z molekul, které vykonávají tepelný pohyb (difúze, Brownův pohyb). Tepelný pohyb molekul kapaliny se liší od tepelného pohybu molekul plynu. Uspořádání molekul kapaliny je podobné jako u amorfních látek.

Molekuly kapaliny neuspořádaně kmitají s frekvencí  $10^{12}$  Hz kolem určitých rovnovážných poloh a po velmi krátké době zaujímají novou rovnovážnou polohu. Zvyšuje-li se teplota kapaliny, zmenšuje se doba setrvání molekuly v rovnovážné poloze. Navenek se to projeví lepší tekutostí kapaliny, kapalina má menší vnitřní tření.

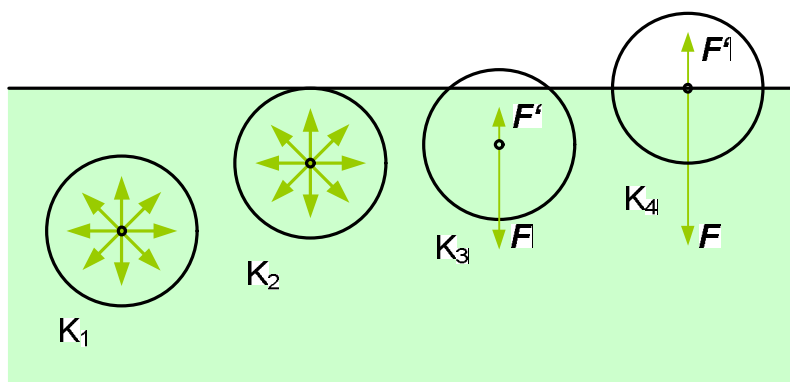
Kapaliny mají na rozdíl od plynů malé vzdálenosti mezi molekulami – řádově  $10^{-10}$  m. Molekuly kapaliny na sebe působí značnými přitažlivými silami. Tyto síly mají vliv na vlastnosti kapaliny, především pak na vlastnosti jeho povrchu.

## 6.1 Povrchová vrstva kapaliny

Povrch kapaliny se chová jako *tenká pružná blána*. K vysvětlení vlastností povrchu kapaliny musíme uvažovat silové působení mezi molekulami této kapaliny. Molekuly na sebe působí navzájem přitažlivými silami, jejichž velikost rychle klesá s rostoucí vzdáleností. Kolem každé molekuly si představíme kouli o poloměru  $r_m$ . Takovou myšlenou kouli nazýváme *sféra molekulového působení*. Každá částice je přitahována jen částicemi ve svém nejbližším okolí.

Je-li molekula a sféra molekulového působení uvnitř kapaliny, pak výslednice přitažlivých sil je nulová.

Pokud ale vzdálenost částic molekul od volného povrchu kapaliny je menší než  $r_m$ , pak je výslednice  $F$  přitažlivých sil kolmá k volnému povrchu kapaliny.



Obrázek 1 - Vzájemné působení molekul ve sféře molekulového působení

Nazveme-li vrstvu molekul, jejichž vzdálenost od volného povrchu kapaliny je menší než  $r_m$  (poloměr sféry molekulového působení), pak platí:

Na každou molekulu ležící v povrchové vrstvě působí sousední molekuly výslednou přitažlivou silou, která má směr dovnitř kapaliny.

Při posunutí molekuly z vnitřku kapaliny do její povrchové vrstvy je nutno vykonat práci k překonání této síly. Proto molekuly v povrchové vrstvě mají větší potenciální energii, než by měly, kdyby se nacházely uvnitř kapaliny. Povrchové vrstvě přiřazujeme energii, kterou nazýváme *povrchová energie*

(jedna ze složek vnitřní energie kapaliny).

V rovnovážném stavu je povrchová energie minimální. Protože při daném objemu má ze všech těles nejmenší obsah koule, mají volné kapky (mlha, rosa) vždy tvar *koule*, pokud je kapka větší, působí na ni tíhová síla – tou je tvar deformován.

Povrchová vrstva vytváří pružnou blánu, která má snahu smrštit se na plochu s co nejmenším obsahem. Tato pružná blána na sobě „unes“ tenkou jehlu, lehkou minci apod. V přírodě – vodoměrka se pohybuje po hladině.

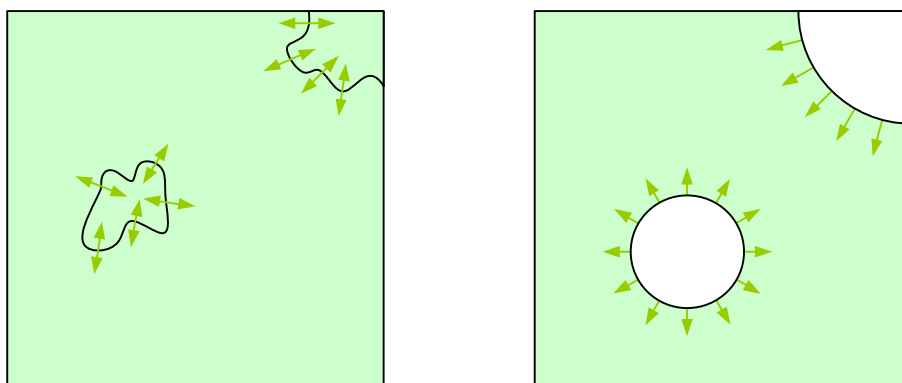
## 6.2 Povrchová síla

Ponoříme-li drátěný rámeček s pohyblivou příčkou AB do mýdlového roztoku, vytvoří se na něm po vytažení tenká kapalinová blána s povrchovými vrstvami na obou stranách. Pozorujeme, že se blána stahuje a táhne s sebou i příčku AB. Je tomu tak proto, že na příčku AB působí v každém povrchu (blána má dva povrchy) kolmá síla  $F$ . Toto je **povrchová síla**.

Velikost povrchové síly je přímo úměrná délce příčky. To platí obecně pro libovolný okraj povrchové blány.

*Pokus č.1:*

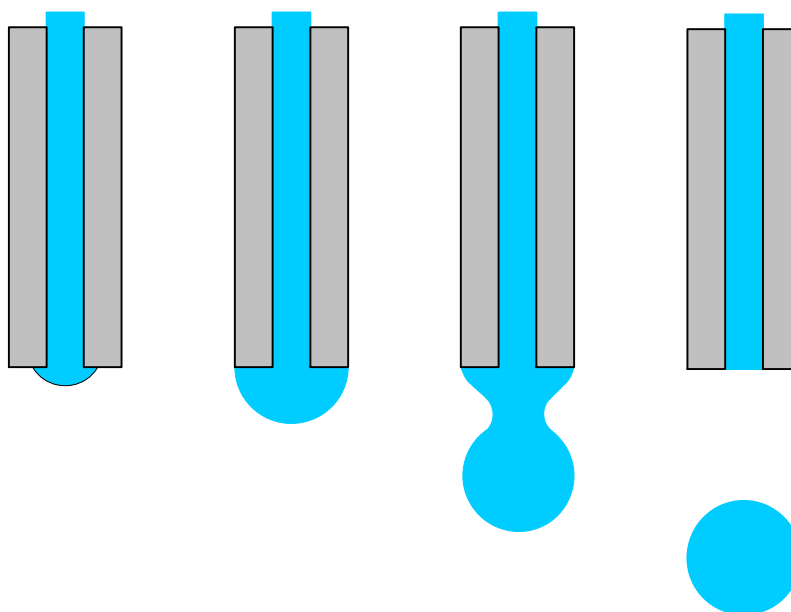
*Vytvoříme mydlinovou blánu v pevném rámečku, položíme na ni navlhčenou smyčku z nitě. Smyčka bude mít nepravidelný tvar, ale když blánu uvnitř smyčky protrhneme, napne se nit do kroužku. Na okraji rámečku se nit napne do obloučku. Na obrázcích je znázorněno působení povrchové síly.*



Obrázek 2 - Působení povrchových sil na nitě položené na mydlinovou blánu

*Pokus č.2:*

*Tvorba kapky při vytékání kapaliny kapiláry.*



**Obrázek 3 - Tvoření kapek při výtoku vody z kapiláry**



## 6.3 Povrchové napětí

Definice povrchového napětí:

Povrchové napětí  $\delta$  se rovná podílu velikosti povrchové síly  $F$  a délky  $l$  okraje povrchové blány. Na který povrchová síla působí.

Matematicky zapíšeme takto:  $\sigma = \frac{F}{l}$

Povrchové napětí kapaliny je skalární veličina, kterou vyjadřujeme pružnou vlastnost povrchové vrstvy. Jednotkou je  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Povrchové napětí závisí na druhu kapaliny a na prostředí mezi volným povrchem kapaliny. S rostoucí teplotou povrchové napětí klesá.

Příklad:

*Tlustostěnnou kapilárou vnějšího průměru 3,41 mm odkapalo 100 kapek vody teploty 15 °C o celkové hmotnosti 8,11 g. Určete povrchové napětí vody ve styku se vzduchem při dané teplotě.*

Řešení:

$$d = 3,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}, k = 100, t = 15 \text{ °C}, m = 8,11 \cdot 10^{-3} \text{ kg}, \sigma = ?$$

*Vodní kapka se oddělí od kapiláry v okamžiku, kdy povrchová síla velikosti  $F = \pi \cdot d \cdot \sigma$  působící na kapku dosáhne rovnováhy s přibývající tíhovou silou velikosti  $FG = m \cdot g$*

*Můžeme tedy počítat:*

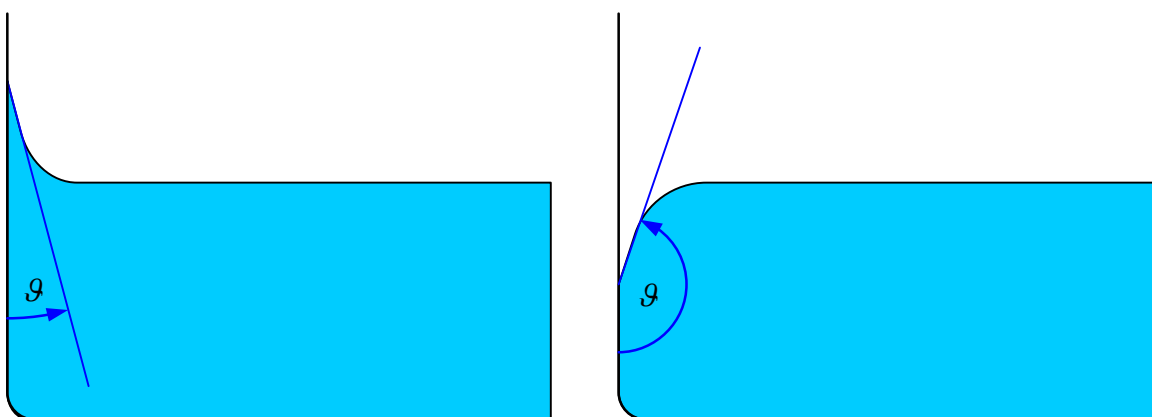
$$\pi \cdot d \cdot \sigma = (m \cdot g) / k$$

$$\sigma = \frac{m \cdot g}{\pi \cdot k \cdot d} = \frac{8,11 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81}{3,14 \cdot 100 \cdot 3,41 \cdot 10^{-3}} = 74,3 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$$

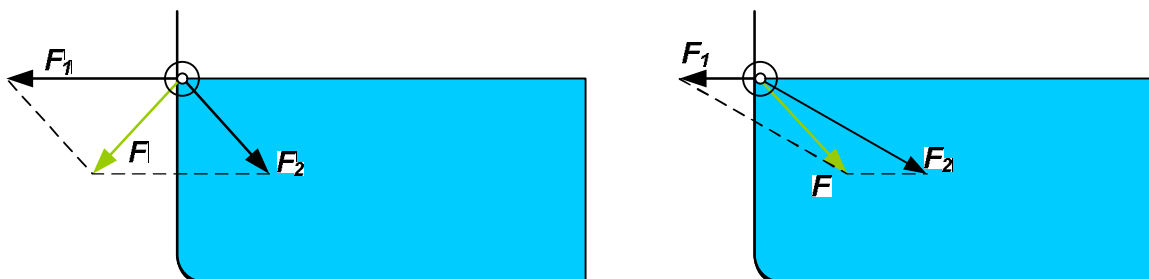
*Povrchové napětí vody při dané teplotě je přibližně  $74,3 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ .*

## 6.4 Jevy na rozhraní pevného tělesa a kapaliny

Nalijeme-li do čisté sklenice vodu, pozorujeme u stěny dutý povrch. V takovém případě *kapalina smáčí stěny nádoby*. Jestliže nalijeme od čisté sklenice rtuť, nebo roztavený vosk, je u stěny zakřivena vypukle. V takovém případě *kapalina nesmáčí stěny nádoby*.



Obrázek 4 - Zakřivení povrchu kapaliny u stěny nádoby



Obrázek 5 - K výkladu zakřivení povrchu kapaliny u stěny nádoby

Jestliže výsledná síla u stěny nádoby směřuje ven z kapaliny, vzniká dutý povrch, jestliže výsledná síla  $F$  působí směrem do kapaliny, vzniká u stěny nádoby vypuklý povrch.

Úhel  $\nu$ , který svírá povrch kapaliny s povrchem stěny, nazýváme *stykový úhel*.

Pod zakřiveným povrchem kapaliny při stěnách nádoby, v kapilárách, u kapek a bublin vzniká v kapalině přídavný tlak, který je způsoben pružností povrchové vrstvy.

Tento tlak nazýváme kapilární tlak.

Pod dutým povrchem je vnitřní tlak ve srovnání s tlakem pod vodorovným povrchem menší o kapilární tlak.

Pod vypuklým povrchem kapaliny je naopak vnitřní tlak ve srovnání s tlakem pod vodorovným povrchem větší o kapilární tlak.

Kapilární tlak je dán vztahem:  $p_k = \frac{2 \cdot \sigma}{R}$

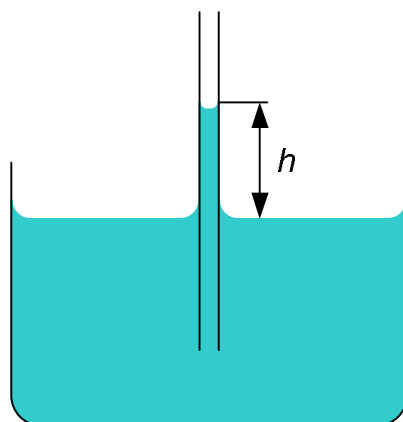
Kde:

- $\sigma$  je povrchové napětí kapaliny
- $R$  poloměr kulového povrchu.

## 6.5 Kapilární jevy

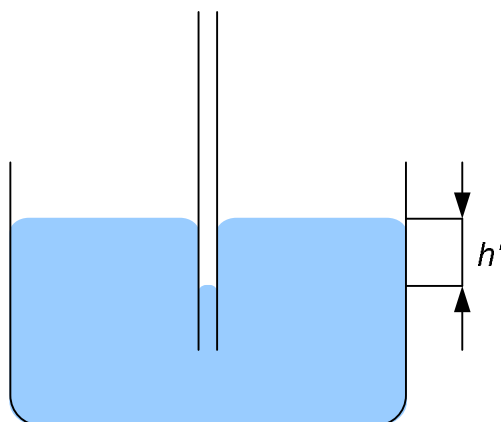
Ponoříme-li velmi úzkou trubici malého vnitřního průměru (kapiláru) svisle do kapaliny v široké nádobě, pozorujeme zakřivení povrchu kapaliny v trubici a její vzestup nebo snížení vzhledem k hladině kapaliny v nádobě.

U kapalin, které smáčejí stěny trubice, se vytvoří v trubici dutý vrchlík, který je výše než hladina okolní kapaliny. Nastala *kapilární elevace* (z latiny *elevo* = výše zvedám).



Obrázek 6 - Kapilární elevace

U kapalin, které nesmáčejí stěny nádoby, vytvoří hladina v trubici vypuklý vrchlík a je níže než hladina okolní kapaliny. Jev se nazývá *kapilární deprese* (z latiny *deprimo* = stlačuji).



Obrázek 7 - Kapilární deprese

Pro výšku  $h$  platí vztah:  $h = \frac{2 \cdot \sigma}{\rho \cdot g \cdot R}$

Kde:

- $\rho$  je hustota kapaliny
- $\sigma$  povrchové napětí
- $g$  tíhové napětí

Stejný vztah platí i pro výpočet rozdílu hladin u kapilární deprese.

Kapilární depresi a elevaci nazýváme souhrnně **kapilarita**. Je způsobena kapilárním tlakem.

Kapilární jevy mají značný význam v praxi. Např. voda vystupuje z hloubky tenkými kapilárami do povrchových vrstev půdy a vypařuje se. Jev se nazývá **vzlínavost**. Zabraňuje se jí rozrušením půdních kapilár orbou, okopáváním rostlin atd. Naopak válcováním půdy se kapiláry vytvářejí, což umožňuje vzlínání vody k povrchu.

Kapilární elevaci se nasává petrolej nebo líh do knotů. Při špatné izolaci základů domu vzlíná voda do jeho stěn. Vzlinavostí pronikají živné roztoky z kořenů až do vrcholků rostlin.

## 6.6 Teplotní a objemová roztažnost kapalin

Při změně teploty kapaliny se mění její objem. U většiny kapalin jejich objem roste s rostoucí teplotou. Přitom různé kapaliny se za jinak stejných podmínek roztahují různě.

Přibližně to můžeme vyjádřit vztahem:  $V = V_1(1 + \beta \cdot \Delta t)$

Kde:

- $\Delta t$  je změna teploty
- $V_1$  počáteční objem kapaliny při počáteční teplotě
- $\beta$  je *součinitel objemové roztažnosti kapaliny*.

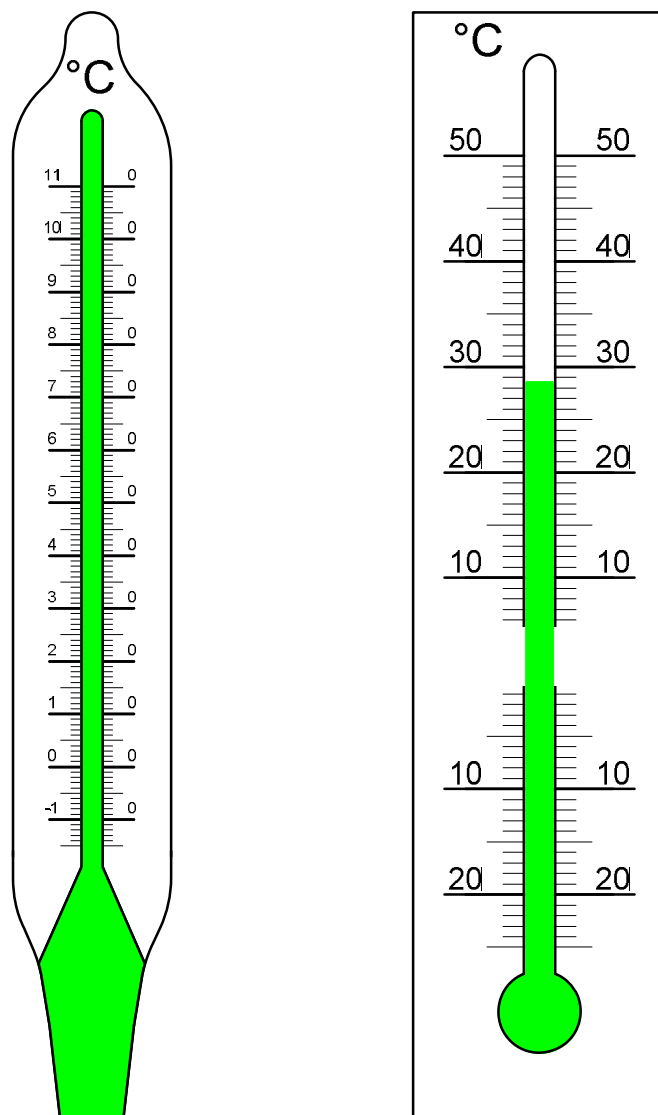
Teplotní součinitel objemové roztažnosti je větší u kapalin než u pevných látek.

Pro větší teplotní rozdíly vyjadřujeme objem kapaliny kvadratickou funkcí změny teploty, a to ve tvaru:  $V = V_1 [1 + \beta_1 \Delta t + \beta_2 (\Delta t)^2]$ .

Teplotní objemové roztažnosti se využívá u kapalinových teploměřů. S měnící se teplotou se mění objem kapaliny (např. rtuti nebo obarveného lihu) v tenké trubici napojené na nádobku teploměru. K měření teploty za různých podmínek a okolností používáme kapalinové teploměry s různými měřicími rozsahy a s různým dělením stupnice.

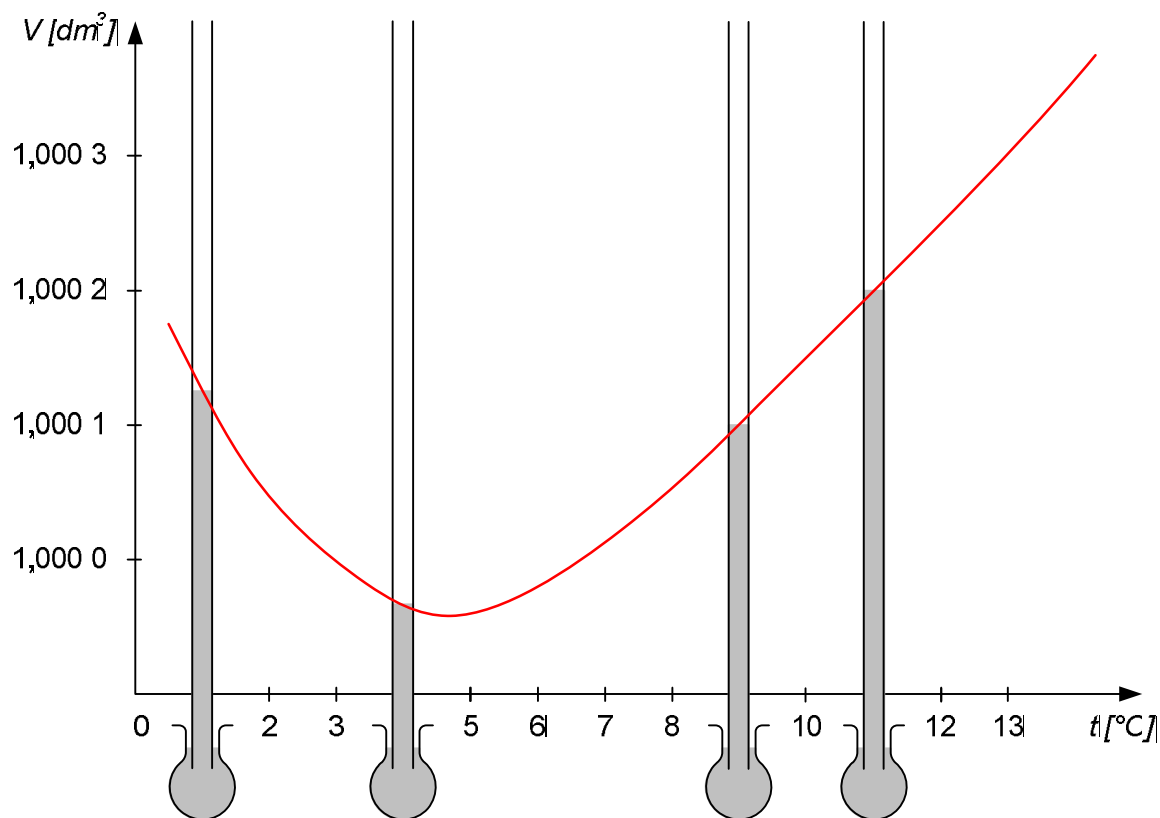
Se změnou teploty kapaliny se mění také její hustota. Je-li  $\rho_1$  hustota kapaliny při počáteční teplotě, pak hustota  $\rho$  při konečné teplotě je dána přibližně vztahem:

$$\rho = \rho_1(1 - \beta \Delta t)$$



Obrázek 8 - Kapalinové teploměry

Voda je mezi kapalinami výjimkou z hlediska závislosti objemu na teplotě. Zahříváme-li vodu z teploty 0 °C na teplotu 4 °C, zmenšuje se její objem. Teprve od teploty 4 °C se voda chová jako ostatní kapaliny – tedy s rostoucí teplotou se její objem zvětšuje. Při teplotě kolem 8 °C má tentýž objem jako při 0 °C. Sestrojíme-li graf závislosti objemu vody na její teplotě, dostaneme křivku, která je na následujícím obrázku:



Obrázek 9 - Graf závislosti objemu vody o hmotnosti 1 kg na teplotě

Tato odlišná změna hustoty vody se změnou teploty v porovnání s ostatními kapalinami se nazývá ***anomálie vody***.

Tento jev můžeme vysvětlit takto: led při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  úplně neroztaje, takže v něm zůstávají drobné krystalky ledu. Při zvětšování teploty od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $4^{\circ}\text{C}$  zbytky krystalické mřížky mizí, tím se zmenšují vzdálenosti mezi molekulami  $\text{H}_2\text{O}$ , které tvořily krystalickou mřížku. Tím celkový objem vody klesá a hustota naopak roste. Změna v uspořádání molekul končí kolem  $4^{\circ}\text{C}$ , pak se již vzdálenosti mezi molekulami vody zvětšují, objem roste a hustota vody klesá.

Anomálie vody umožňuje život vodních živočichů a rostlin v zimním období.



## Seznam použité literatury

- /1/ *Milan Bednařík, Miroslava Šíroká: Fyzika pro gymnázia – Mechanika. Prométheus. Praha 1993*
- /2/ *Karel Bartuška, Emanuel Svoboda: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika. Prométheus. Praha 1993*
- /3/ *Oldřich Lepil, Milan Bednařík, Radmila Hýblová: Fyzika pro střední školy – I. Prométheus. 1993*
- /4/ *Oldřich Lepil, Milan Bednařík, Radmila Hýblová: Fyzika pro střední školy – II. Prométheus. 1993*
- /5/ *Pavel Tarábek, Petra červinková a kol.: Odmaturuj z fyziky. Nakladatelství Didaktik. Brno 2004*
- /6/ *Emanuel Svoboda, Karel Bartuška, Milan Bednařík, Oldřich Lepil, Miroslava Šíroká: Přehled středoškolské fyziky. Prométheus. 1996*