

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA



ZÁKLADY FYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍ

Datum:

Provedl:

Obor:

Hodnocení:

1. Úkoly:

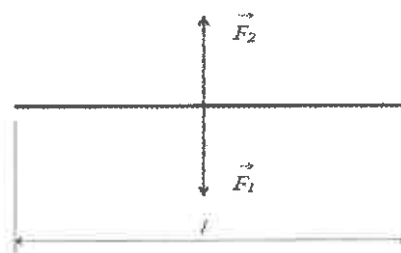
- 1) Změřte pomocí kapilární elevace povrchové napětí daných kapalin při dané teplotě.
- 2) Změřte pomocí kapkové metody povrchové napětí daných kapalin při dané teplotě.

2. Seznam pomůcek:

- kapiláry různých průměrů, jehly, mikrometr, milimetrové pravítko, teploměr
- skleněná miska, váhy, sada závaží, měřené kapaliny (voda a lih)

3. Teorie

Kapiláry se chovají tak, jako by jejich povrch byl pokryt pružnou vrstvou, jež se snaží stáhnout povrch kapaliny na co nejmenší hodnotu. Povrchová vrstva je velmi tenká (řádově asi 10^{-6} mm) a její fyzikální a chemické vlastnosti jsou poněkud jiné než vlastnosti vnitřní části kapalin. Protože povrchová vrstva se snaží stáhnout, existuje v ní povrchové napětí. Povrchové napětí a kapilární jevy jsou vysvětlovány vzájemným působením přitažlivých kohezních sil molekul.



obr. 01 - Povrchové napětí

Povrchové napětí σ je veličina působící v rovině povrchu kapaliny kolmo na délkovou jednotku. Máme-li v povrchu kapaliny úsečku délky l , působící na ni z obou stran kolmo síly F_1 a F_2 (obr. 01), pro které platí $F_1 = -F_2$. Pro povrchové napětí dostáváme vztah:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (3.1) \quad \text{Jednotka povrchového napětí je } [\sigma] = 1 \text{ N.m}^{-1}$$

Působením povrchového napětí se projevuje na rozhraní kapalin a plynu, kapalin a pevné látky anebo rozhraní dvou kapalin, které se nesmíchají. Vlivem povrchového napětí má povrchová blána energii. Plošná hustota této povrchové energie je číselně rovna povrchovému napětí:

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{Fdx}{ldx} = \frac{dW}{dS} = \frac{dE_p}{dS}$$

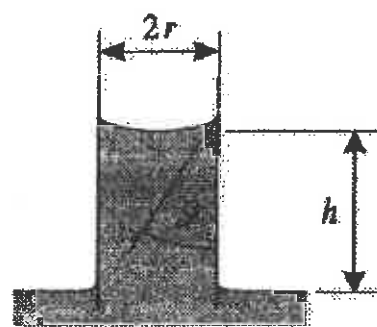
Povrchové napětí je funkcí teploty a s jejím růstem klesá. V kritickém stavu, kdy mizí rozhraní mezi fází kapalnou a plynou, klesá hodnota povrchového napětí na nulu.

3.1. Měření povrchového napětí pomocí kapilární elevace

Tato metoda spočívá v porovnání tíhy sloupce kapaliny v kapiláře a síly způsobené povrchovým napětím, která je s tíhou sloupce kapaliny v kapiláře v rovnováze. Pro sílu F realizovanou povrchovým napětím σ platí: $F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \cdot \cos \vartheta$ (3.1.1), kde r je poloměr kapiláry a ϑ je krajní úhel, jehož význam je zřejmý z (obr. 02). Po vystoupení kapaliny v kapiláře do výšky h je velikost této síly rovna velikosti tíhové síly F_G sloupce kapaliny: $2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \cdot \cos \vartheta = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho \cdot g$ (3.1.2), kde ρ je hustota kapaliny. Z rovnice (3.1.2) pro povrchové napětí σ plyne:

$$\sigma = \frac{h \cdot \rho \cdot g \cdot r}{2 \cdot \cos \vartheta} \quad (3.1.3)$$

Ve vzorci (3.1.3) zanedbáváme rozdílnost krajního úhlu ϑ od nuly a klademe výraz $\cos \vartheta = 1$. Hodnotu povrchového napětí tedy získáme změřením výšky h kapilární elevace, stanovením poloměru r kapiláry a zjištěním hustoty ρ kapaliny.



obr. 02 - Kapilární elevace

3.2. Měření povrchového napětí pomocí kapkové metody

Způsob povrchového napětí pomocí této metody spočívá v tom, že z kapiláry necháme odkapávat kapalinu, jejíž povrchové napětí chceme určit. K tomu aby se kapka od kapiláry odtrhla, musí tíhová síla kapky překonat sílu F , způsobenou povrchovým napětím kapaliny. Pro sílu F platí: $F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma$ (3.2.1). V okamžiku odtržení se velikost síly F rovná velikosti tíhové síly kapky $F_G = m \cdot g$. Dosadíme-li do rovnice (3.2.1) za sílu F tíhovou sílu F_G , pak pro povrchové napětí plyne:

$$\sigma = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3.2.2)$$

Ve vztahu (3.2.2) je problematické stanovit přesně poloměr r . Ukazuje se však, že pracujeme-li se stejnou kapilárou, je r pro různé kapaliny přibližně stejný. Označíme-li pro jednu kapalinu povrchové napětí σ_1 a hmotnost kapky m_1 , pro druhou kapalinu povrchové napětí σ_2 a hmotnost m_2 , dostáváme, za předpokladu konstantního r , pro povrchové napětí vztah:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \frac{m_2}{m_1} \quad (3.2.3)$$

3.3. Postup měření a zpracování údajů

3.3.1. Metodou kapilární elevace

Postup měření

- 1) Pomocí teploměru určíme teplotu daných kapalin.
- 2) Do skleněné misky naplněné měřenou kapalinou ponoříme kapiláru.
- 3) Pomocí milimetrového měřítka odečteme elevaci h .
- 4) Průměr kapiláry d změříme pomocí jehly, kterou zastrčíme do kapiláry, v místě při okraji kapiláry jehlu označíme a mikrometrem změříme její průměr v místě označení.
- 5) Měření desetkrát opakujeme a zapisujeme do tabulky.

Zpracování údajů

- 1) Z naměřených hodnot z tabulky vypočteme průměrné hodnoty měřených veličin a jejich

pravděpodobnou chybu podle vzorce
$$g(x) = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{\sum (x - x_1)^2}{n \cdot (n - 1)}} \quad (3.3.1.1).$$

- 2) Dosazením do vzorce (3.1.3) určíme hodnotu povrchového napětí měřené kapaliny a vypočítáme opět jeho průměrnou hodnotu a chybu podle (3.3.1.1).

3.3.2. Pomocí kapkové metody

Postup měření

- 1) Pomocí teploměru určíme teplotu daných kapalin.
- 2) Na vahách zvážíme prázdnou skleněnou misku.
- 3) Kapilárou necháme na skleněnou misku odkapat 25 kapek vody, jakožto referenční kapaliny. Misku s vodou opět zvážíme. Odečtením naměřených hodnot určíme hmotnost $M_2 = 25 \cdot m_2$ pětadvaceti kapek měřené kapaliny.
- 4) Stejným postupem zjistíme hmotnost $M_1 = 25 \cdot m_1$ pětadvaceti kapek měřené kapaliny.
- 5) Měření hmotností několikrát opakujeme a výsledky zapisujeme do tabulky.

Zpracování údajů

- 1) Z naměřených hodnot vypočteme průměrné hodnoty a jejich pravděpodobné chyby.
- 2) V tabulkách najdeme hodnotu povrchového napětí vody referenční kapaliny.
- 3) Dosazením do vzorce (3.2.3) vypočítáme hodnotu povrchového napětí měřené kapaliny. Dále vypočteme průměrnou hodnotu a její pravděpodobnou chybu.

4. Přehled výsledků

4.1. Tabulka hodnot pro vodu metodou kapilární elevace

Pro první kapiláru

č.m. / veličina	$h_{1v} [mm]$	$d_1 [mm]$	$\rho_v [kg.m^{-3}]$	$r_1 [mm]$	$\sigma_{1v} [N.m^{-1}]$	$\sigma_{1v} [N.mm^{-1}]$
1	30	0,29	998	0,145	0,021	21,27
2	28	0,24		0,120	0,016	16,43
3	31	0,22		0,110	0,017	16,68
4	29	0,25		0,125	0,018	17,73
5	31	0,31		0,155	0,023	23,50
6	28	0,22		0,110	0,015	15,06
7	32	0,28		0,140	0,022	21,91
8	27	0,21		0,105	0,014	13,86
9	29	0,31		0,155	0,022	21,98
10	31	0,32		0,160	0,024	24,26
			$h_{1v} [mm]$		$\sigma_{1v} [N.m^{-1}]$	$v(\sigma_{1v}) [N.m^{-1}]$
			29,60		0,019	0,001
			$r_1 [mm]$		$\sigma_{1v} [N.mm^{-1}]$	$v(\sigma_{1v}) [N.mm^{-1}]$
			0,133		19,27	0,79

Pro druhou kapiláru

č.m. / veličina	$h_{2v} [mm]$	$d_2 [mm]$	$\rho_v [kg.m^{-3}]$	$r_2 [mm]$	$\sigma_{2v} [N.m^{-1}]$	$\sigma_{2v} [N.mm^{-1}]$
1	5	0,43	998	0,215	0,005	5,26
2	6	0,44		0,220	0,006	6,46
3	5	0,46		0,230	0,006	5,62
4	4	0,45		0,225	0,004	4,40
5	4	0,47		0,235	0,005	4,60
6	5	0,45		0,225	0,006	5,50
7	4	0,44		0,220	0,004	4,30
8	6	0,46		0,230	0,007	6,75
9	6	0,47		0,235	0,007	6,90
10	5	0,45		0,225	0,006	5,50
			$h_{2v} [mm]$		$\sigma_{2v} [N.m^{-1}]$	$v(\sigma_{2v}) [N.m^{-1}]$
			5,00		0,006	0,003
			$r_2 [mm]$		$\sigma_{2v} [N.mm^{-1}]$	$v(\sigma_{2v}) [N.mm^{-1}]$
			0,226		5,53	3,06

Pro třetí kapiláru

č.m. / veličina	$h_{3v} [mm]$	$d_3 [mm]$	$\rho_v [kg.m^{-3}]$	$r_3 [mm]$	$\sigma_{3v} [N.m^{-1}]$	$\sigma_{3v} [N.mm^{-1}]$
1	6	1,03	998	0,515	0,015	15,11
2	7	1,01		0,505	0,017	17,29
3	6	1,02		0,510	0,015	14,96
4	5	1,01		0,505	0,012	12,35
5	5	1,02		0,510	0,012	12,47
6	6	1,02		0,510	0,015	14,96
7	7	1,01		0,505	0,017	17,29
8	6	1,02		0,510	0,015	14,96
9	7	1,02		0,510	0,017	17,46
10	8	1,01		0,505	0,020	19,76
			$h_{3v} [mm]$		$\sigma_{3v} [N.m^{-1}]$	$v(\sigma_{3v}) [N.m^{-1}]$
			6,30		0,016	0,001
			$r_3 [mm]$		$\sigma_{3v} [N.mm^{-1}]$	$v(\sigma_{3v}) [N.mm^{-1}]$
			0,509		15,66	0,94

4.2. Tabulka hodnot pro lůh metodou kapilární elevace

Pro první kapiláru

č.m. / veličina	h_{1L} [mm]	d_1 [mm]	ρ_L [kg.m ⁻³]	r_1 [mm]	σ_{1L} [N.m ⁻¹]	σ_{1L} [N.mm ⁻¹]
1	43	0,29	791	0,145	0,024	24,17
2	45	0,24		0,120	0,021	20,93
3	43	0,22		0,110	0,018	18,33
4	42	0,25		0,125	0,020	20,35
5	44	0,31		0,155	0,026	26,43
6	46	0,22		0,110	0,020	19,61
7	44	0,28		0,140	0,024	23,88
8	45	0,21		0,105	0,018	18,31
9	43	0,31		0,155	0,026	25,83
10	44	0,32		0,160	0,027	27,29
h_{1L} [mm]			σ_{1L} [N.m ⁻¹]			$v(\sigma_{1L})$ [N.m ⁻¹]
43,90			0,023			0,001
r_1 [mm]			σ_{1L} [N.mm ⁻¹]			$v(\sigma_{1L})$ [N.mm ⁻¹]
0,133			22,51			1,02

Pro druhou kapiláru

č.m. / veličina	h_{2L} [mm]	d_2 [mm]	ρ_L [kg.m ⁻³]	r_2 [mm]	σ_{2L} [N.m ⁻¹]	σ_{2L} [N.mm ⁻¹]
1	9	0,43	791	0,215	0,007	7,50
2	10	0,44		0,220	0,009	8,53
3	9	0,46		0,230	0,008	8,02
4	8	0,45		0,225	0,007	6,98
5	11	0,47		0,235	0,010	10,02
6	9	0,45		0,225	0,008	7,85
7	10	0,44		0,220	0,009	8,53
8	10	0,46		0,230	0,009	8,91
9	9	0,47		0,235	0,008	8,20
10	11	0,45		0,225	0,010	9,59
h_{2L} [mm]			σ_{2L} [N.m ⁻¹]			$v(\sigma_{2L})$ [N.m ⁻¹]
9,60			0,008			0,002
r_2 [mm]			σ_{2L} [N.mm ⁻¹]			$v(\sigma_{2L})$ [N.mm ⁻¹]
0,226			8,41			2,42

Pro třetí kapiláru

č.m. / veličina	h_{3L} [mm]	d_3 [mm]	ρ_L [kg.m ⁻³]	r_3 [mm]	σ_{3L} [N.m ⁻¹]	σ_{3L} [N.mm ⁻¹]
1	8	1,03	791	0,515	0,016	15,97
2	7	1,01		0,505	0,014	13,70
3	7	1,02		0,510	0,014	13,84
4	8	1,01		0,505	0,016	15,66
5	9	1,02		0,510	0,018	17,79
6	7	1,02		0,510	0,014	13,84
7	7	1,01		0,505	0,014	13,70
8	8	1,02		0,510	0,016	15,81
9	8	1,02		0,510	0,016	15,81
10	7	1,01		0,505	0,014	13,70
h_{3L} [mm]			σ_{3L} [N.m ⁻¹]			$v(\sigma_{3L})$ [N.m ⁻¹]
7,60			0,015			0,001
r_3 [mm]			σ_{3L} [N.mm ⁻¹]			$v(\sigma_{3L})$ [N.mm ⁻¹]
0,509			14,98			1,00

4.3. Tabulka hodnot pro kapkovou metodu

č.m. / vel.	M_{L25} [g]	σ_1 [N.mm ⁻¹]	m_2 [g]	σ_2 [N.mm ⁻¹]
1	8,37	72,75	0,020	19,66
2	8,47		0,024	23,34
3	8,32		0,018	17,41

č.m. / vel.	M_{V25} [g]	m_o [g]	m_1 [g]	σ_2 [N.mm ⁻¹]
1	9,72	7,87	0,074	20,14
2	9,74		0,075	$v(\sigma_2)$ [N.mm ⁻¹]
3	9,75		0,075	4,5

4.4. Přehled všech výsledků

σ_{1V} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{1V})$ [N.mm ⁻¹]	σ_{1L} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{1L})$ [N.mm ⁻¹]
19,27	0,79	22,51	1,02
σ_{2V} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{2V})$ [N.mm ⁻¹]	σ_{2L} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{2L})$ [N.mm ⁻¹]
5,53	3,06	8,41	2,42
σ_{3V} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{3V})$ [N.mm ⁻¹]	σ_{3L} [N.mm ⁻¹]	$v(\sigma_{3L})$ [N.mm ⁻¹]
15,66	0,94	14,98	1,00

5. Diskuse

V tabulkách podle literatury [2], je jasné, že povrchové napětí vody má vycházet $\sigma_V = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ a lihu (ethylalkoholu) $\sigma_L = 22,8 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. Ve více jak v polovině měření jsme se k této hodnotě ani z 50% nepřiblížili. Pouze u kapkové metody, kdy jsme vycházeli z povrchového napětí vody z tabulek, se hodnota povrchového napětí lihu (6.2.) zhruba rovnala s rozdílem o 12%. A také u jednoto měření metodou kapilární elevace, kdy mám hodnota povrchového napětí (6.1) vyšla přesně podle tabulek, zato s velkou chybou. Proto jsme usoudili, že toto měření nebylo neúspěšné. Bylo to způsobeno naší velikou nepřesností, která se u tohoto měření nedá ovlivnit. Pouze v případě použití jiných měřicích pomůcek, než jsem použili.

I s ohledem na teplotu, při které jsme měřili, která by mohla ovlivnit celé toto měření, nemá vliv, protože hodnoty povrchového napětí vody a lihu jsou v rozmezí 20 °C až 30 °C téměř totožné. Proto naše měření při teplotě 22 °C toto měření nemohlo ovlivnit.

6. Závěr

Byli naměřeny následující hodnoty povrchového napětí při teplotě 22 °C:

Metodou kapilární elevace

- Vody:
1. kapilára: $\sigma_{1V} = (19,27 \cdot 10^{-3} \pm 0,79 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$
 2. kapilára: $\sigma_{2V} = (5,53 \cdot 10^{-3} \pm 3,06 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$
 3. kapilára: $\sigma_{3V} = (15,66 \cdot 10^{-3} \pm 0,94 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$
- Lihu:
1. kapilára: $\sigma_{1L} = (22,51 \cdot 10^{-3} \pm 1,02 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$ (6.1)
 2. kapilára: $\sigma_{2L} = (8,41 \cdot 10^{-3} \pm 2,42 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$
 3. kapilára: $\sigma_{3L} = (14,48 \cdot 10^{-3} \pm 1,00 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$
- Lihu kapkovou metodou: $\sigma_2 = (20,14 \cdot 10^{-3} \pm 4,5 \cdot 10^{-3}) \text{ N.m}^{-1}$ (6.2)

7. Seznam literatury

- [1] Stach, V., Špulák F.: Fyzikální praktikum I, scriptum. PF ČB 2002
 [2] <http://www.kfy.zcu.cz/prakt/skripta/tabulky.pdf>

8. Přílohy

8.1. Šmírák s naměřenými hodnotami

DESTILOVANÁ VODA		d_1	h_1 [mm]	h_{20}
7	Kap. 1 - ρ - γ	0,39	30	43
		0,34	28	45
		0,22	27	43
		0,35	29	42
		0,37	27	44
		0,22	28	46
		0,38	32	46
		0,27	27	45
		0,37	26	43
		0,32	27	44

Kap. 2	d_2	h_2	h_{20}	d_3	h_3 [mm]	h_{30}
0,43	5	9		1,03	6	8
0,47	6	10		1,01	7	7
0,46	5	9		1,02	6	7
0,45	4	8		1,01	5	8
0,47	4	11		1,02	5	9
0,45	5	9		1,02	6	7
0,49	5	10		1,01	7	7
0,48	6	10		1,02	6	8
0,42	6	9		1,02	7	8
0,45	5	11		1,01	7	7

KAPÉTKO : LIH $t = 13^\circ\text{C}$

VODA $t = 23^\circ\text{C}$

m_1	m_{max}	m_2	m_{max}
7,870 g	8,270 g	7,870 g	9,32 g
7,870 g	8,470 g	7,870 g	9,76 g
7,870 g	8,520 g	7,870 g	9,75 g

10.9.2014