

1 Pracovní úkoly

1. Určete závislost povrchového napětí σ na objemové koncentraci c roztoku etylalkoholu ve vodě odtrhávací metodou.
2. Sestrojte graf této závislosti.

2 Teoretický úvod

2.1 Povrchové napětí

Povrchové napětí σ je definováno jako síla F na působící kolmo na jednotkovou délku myšleného řezu povrchu látky. A tato síla leží v tečné rovině k povrchu.

metoda použitá v našem případě je metoda přímá, která se nazývá metoda odtrhávací. Je založená na měření síly potřebné k vytažení tenkého drátku délky l z kapaliny. Pokud má drátek zanedbatelnou tloušťku, pak, protože se uplatňují dva kapalinové povrchy, platí

$$2F = 2\sigma l. \quad (1)$$

Síla je realizována pomocí torzních vah, kde určujeme měřením sílu $P_0 = 2F$ a povrchové napětí je tedy

$$\sigma = \frac{P_0}{2l}. \quad (2)$$

Přesněji řečeno je důležitý rozdíl sil

$$P_0 = P_2 - P_1, \quad (3)$$

kde P_1 je síla odpovídající naměřené hmotnosti m_1 na torzních vahách, která odpovídá tomu, že se drátek nalézá těsně pod hladinou vody a ještě není držen povrchovým napětím. P_2 je síla odpovídající hmotnosti m_2 na torzních vahách, při které se drátek z kapaliny vytrhne. Tyto síly můžeme přepočíst na pomoci vztahu $P_i = m_i g$, kde g je tíhové zrychlení.

$$P_0 = (m_2 - m_1)g. \quad (4)$$

Z toho plyne

$$\sigma = \frac{m_2 - m_1}{2l}g. \quad (5)$$

Pro drátek s zanedbatelnou tloušťkou platí (dle [3])

$$\sigma_L = \frac{P_2 - P_1}{2l} - \frac{d}{2} \left(\sqrt{\frac{(P_2 - P_1) \rho g}{l}} - \frac{P_2 - P_1}{l^2} \right), \quad (6)$$

$$\sigma_L = \frac{m_2 - m_1}{2l}g - \frac{d}{2} \left(\sqrt{\frac{(m_2 - m_1) \rho g^2}{l}} - \frac{m_2 - m_1}{l^2}g \right) \quad (7)$$

kde ρ je aktuální hustota kapaliny a d je průměr drátku.

Úkolem je prozkoumat závislost povrchového napětí v závislosti na objemové koncentraci c lihu ve vodě. Předpokládaná závislost je exponenciální, kdy při objemové koncentraci lihu blízké 0 se bude povrchové napětí blížit povrchovému napětí destilované vody, kdežto při vyšších koncentracích lihu se bude blížit hodnota povrchového napětí povrchovému napětí lihu.

Tabulka 1: Délka a průměr drátku

l/cm	d/mm
2,039	0,81
2,046	0,79
2,040	0,81

2.2 Chyba měření

Chyba měření s_f (pro veličinu f) je určena jako

$$s_f = \sqrt{s_{stat}^2 + s_{mer}^2}, \quad (8)$$

kde s_{stat} je statistická chyba a s_{mer} je chyba měřidla.

Metoda přenosu chyb je pak pro veličinu vypočtenou z n jiných naměřených veličin x_i

$$s_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 s_{x_i}^2} \quad (9)$$

3 Měření

3.1 Laboratorní podmínky

Experiment probíhal za tlaku $p_a = (984,7 \pm 1,0)$ hPa a teplotě $t_0 = (23,8 \pm 0,5)^\circ$ C. Chyby jsou odhadnuté takto, protože teplota a tlak se mohly v průběhu experimentu měnit, ale změřeny byly pouze jednou a to po provedení všech měření na torzních vahách.

Tíhové zrychlení bereme dle [2] jako $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ pro účely tohoto měření přesně.

3.2 Samotné měření

Nejprve byla metoda vyzkoušena na destilované vodě, která by měla dle [2] mít největší povrchové napětí a bylo zvoleno protizávaží takové, abychom v tomto nastavení mohli měřit bez změny závaží jak sílu P_1 , tak sílu P_2 .

Hodnoty P_1 a P_2 byly odečítány s co největší pečlivostí. Měření síly P_2 je citlivé na to, aby byla zatěžování pomalé a plynulé, kdežto P_1 je zase hodně citlivé na to, aby byl drátek ponořen celý pod hladinou, ale současně co nejtěsněji pod ní, aby chyba způsobená vztlakovou silou byla co nejmenší. Beru proto instrumentální chybu určení této hodnoty jako hodnotu nejmenšího dílku stupnice, což je 1 mg.

Rozměry drátku byly třikrát změřeny pomocí mikrometru s instrumentální chybou 0,005 mm a jsou uvedeny v tabulce č. 1, přičemž l je vnitřní délka rámečku, který byl pro měření použit.

Hodnoty s vypočtenou chybou jsou pak $l = (2,042 \pm 0,003)$ cm a $d = (0,803 \pm 0,011)$ mm.

Měření závislosti povrchového napětí na koncentraci bylo zahájeno měřením na 100% lihu. Další koncentrace vždy poloviční hodnoty byly vytvořeny pomocí pyknometru. Vzhledem k tomu, že pyknometrická metoda má vysokou přesnost, beru hodnoty koncentrace jako přesné. Před změřením m_1 a m_2 byla vždy změřena teplota roztoku a pak byly provedeny 3 měření (V tabulce jsou označeny dvěma indexy. První index odpovídá tomu, zda jde o měření těsně pod hladinou vody (1), či o měření odtrhnutí (2). Druhý index značí číslo měření.). Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 2.

Pomocí naměřené teploty a koncentrace je určena hustota roztoku. Odhad chyby hustoty je 1 kg m^{-3} . Teplota byla měřena hlavně z toho důvodu, že při mísení lihu s vodou dochází k uvolnění tepla a tudíž ke zvýšení teploty roztoku. Ale rozpětí teplot jsou pouze 4° C a proto můžeme poměrně dobře zanedbat závislost povrchového napětí na teplotě, i když je tato závislost při větších

Tabulka 2: Naměřené hodnoty hmotností na torzních vahách v závislosti na koncentraci

c	$\rho/(\text{kg m}^{-3})$	$t/^\circ\text{C}$	m_{11}/mg	m_{12}/mg	m_{13}/mg	m_{21}/mg	m_{22}/mg	m_{23}/mg
0	998	23	74	72	71	376	378	379
1	790	24	73	69	68	207	203	205
1/2	894	27	70	71	69	235	239	236
1/2 ²	946	27	71	75	73	278	278	276
1/2 ³	972	25	78	77	76	329	329	327
1/2 ⁴	985	24	79	81	80	370	369	371
1/2 ⁵	992	23	81	82	84	392	397	399
1/2 ⁶	995	23	89	92	93	404	411	414

Tabulka 3: Vypočítané hodnoty povrchového napětí

c	$\sigma/(\text{N/m})$	$s_\sigma/(\text{N/m})$	$\sigma_L/(\text{N/m})$	$s_{\sigma_L}/(\text{N/m})$
0	0,073	0,001	0,071	0,002
1	0,032	0,001	0,031	0,002
1/2	0,040	0,001	0,038	0,002
1/2 ²	0,049	0,001	0,047	0,002
1/2 ³	0,060	0,001	0,058	0,002
1/2 ⁴	0,070	0,001	0,068	0,002
1/2 ⁵	0,075	0,001	0,073	0,002
1/2 ⁶	0,076	0,001	0,075	0,002

teplotních rozdílích dobře znatelná.

Vypočítané hodnoty povrchového napětí oběma metodami jsou v tabulce č. 3 společně se zao-krouhlenými výpočty chyb. Tyto hodnoty jsou pak naneseny v obrázcích grafů č. 1 a 2. V grafech jsou pak naměřené hodnoty proloženy exponenciálními funkcemi, kde ovšem z proložení byla vyřazena hodnota pro destilovanou vodu. A to z toho důvodu, že v naměřených datech právě hodnota povrchového napětí destilované vody představuje skok dolů. Nakonec ještě dvakrát byla proměřena hodnota pro destilovanou vodu a to s výsledkem $m_1 = 74 \text{ mg}$, $m_{21} = 353 \text{ mg}$ resp. $m_{22} = 360 \text{ mg}$ při teplotě 23°C . To vede k výsledku $\sigma_1 = (67 \pm 1) \text{ mN} \cdot \text{m}$ a $\sigma_2 = (69 \pm 1) \text{ mN} \cdot \text{m}$ první metodou resp. $\sigma_{L_1} = (65 \pm 2) \text{ mN} \cdot \text{m}$ a $\sigma_{L_2} = (67 \pm 2) \text{ mN} \cdot \text{m}$ druhou metodou. Čímž pádem je podle tohoto měření povrchových napětích mezi nejvíce naředěným lihem a destilovanou vodou ještě větší skok než byla hodnota určená předtím. To, proč nastala tato situace, se pokusím vysvětlit v diskuzi.

Proložená exponenciála měla tvar

$$\sigma = Ce^{Ac} + B. \quad (10)$$

Její koeficienty byly vypočtena metodou nejmenších čtverců.

Proložení hodnot vypočtených pomocí rovnice (5) odpovídají koeficienty

$$A = (-4, 0 \pm 0, 3),$$

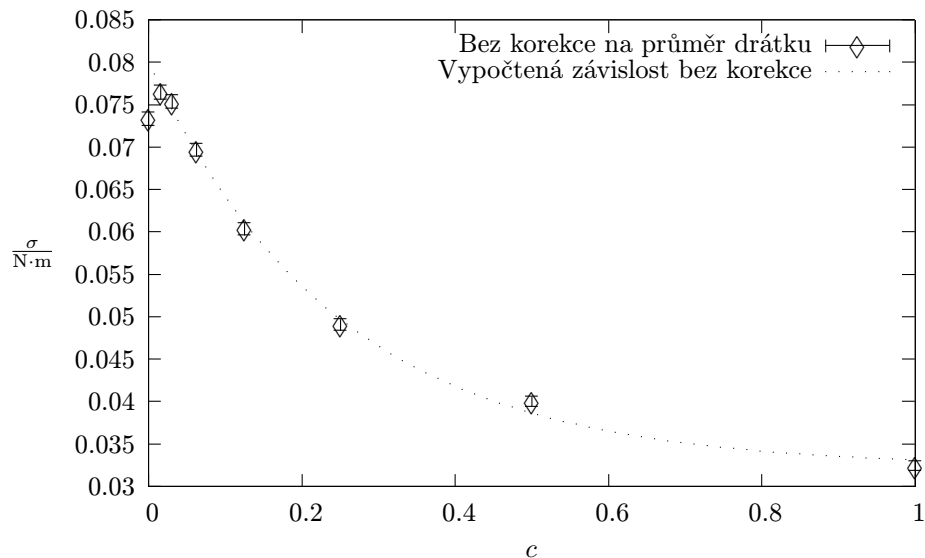
$$B = (0, 0323 \pm 0, 0012) \text{ N} \cdot \text{m},$$

$$C = (0, 0478 \pm 0, 0012) \text{ N} \cdot \text{m}.$$

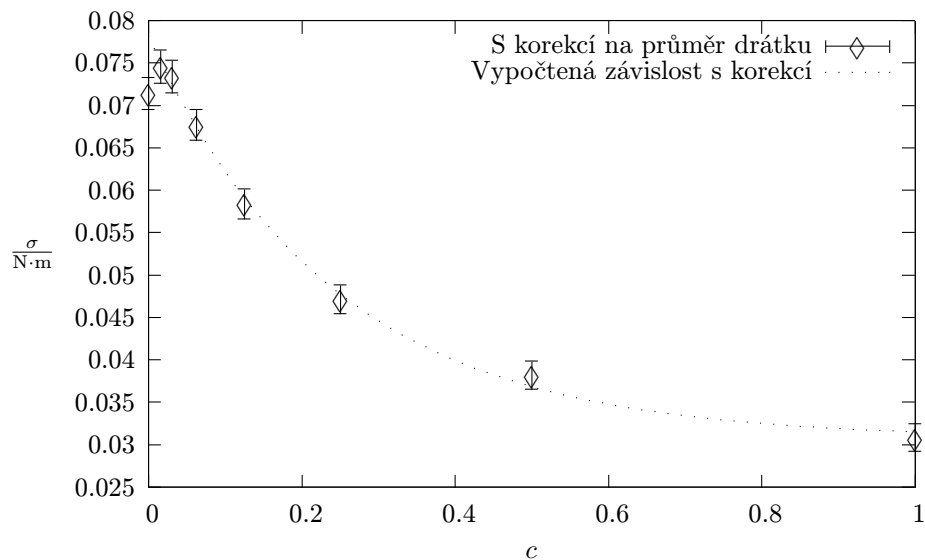
a hodnotám získaných rovnicí (7)

$$A = (-4, 1 \pm 0, 3),$$

$$B = (0, 0307 \pm 0, 0012) \text{ N} \cdot \text{m},$$



Obrázek 1: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci lihového roztoku ve vodě dle (5)



Obrázek 2: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci lihového roztoku ve vodě dle (7)

$$C = (0,0474 \pm 0,0013) \text{ N} \cdot \text{m}.$$

4 Diskuse

Pokud srovnáme hodnoty povrchového napětí určené pomocí rovnice (5), pomocí rovnice (7) a tabelované hodnoty dle [2], pak dojdeme k závěru, že u obou metod systematicky vychází hodnoty vyšší než jsou hodnoty tabelované (pokud vynecháme zatím z úvah hodnoty destilované vody). S tím, že u metody výpočtu využívající rovnici (7) docházíme k hodnotám, které jsou bližší hodnotám tabelovaným. Tím pádem můžeme prohlásit, že v našem případě se jedná o lepší metodu výpočtu.

Metoda měření je silně závislá na přesnosti odhadu toho, jak neměřit m_1 a na druhé straně silně závisí na plynulosti pohybu pro m_2 a řádném soustavném vyrovnávání ručky ukazující správnou funkci vah. Také je nutné dávat pozor na to, aby se nedotýkal rámeček okraje nádoby, což jsem se snažil vždy kontrolovat.

Zanedbali jsme teplotní závislost povrchového napětí, což se mohlo odrazit na výsledku, i když ve skutečnosti by při vyšší teplotě mělo být povrchové napětí menší a naše měření bylo ovlivněno opačným směrem.

Předpokládali jsme pyknometrickou metodu za přesnou, což není úplně pravda, ale relativní chyba tohoto řešení roztoku je při dodržování správného postupu malá. Možná větší nepřesnost může plynout z toho, že jsme předpokládali, že v nádobce, která byla k dispozici, byl 100% líh, ale ve skutečnosti jsme to nijak neověřovali a navíc pokud je líh vystavený dlouho na vzduchu, tak má tendenci absorbovat vodní páry. Což by částečně mohlo vysvětlit, proč byla naměřená hodnota 100% lihu větší, ale nevysvětlí to, proč líh několikrát rozředěný destilovanou vodou má vyšší povrchové napětí než samotná destilovaná voda. A to destilovaná voda nalévaná ze stejné nádoby jako ta destilovaná voda použitá pro měření povrchového napětí destilované vody.

Je možné, že se v průběhu měření nějakým způsobem znečistil, či vyčistil drátek, na kterém probíhalo měření a to měření pak ovlivnilo. V průběhu měření nebyly nádoby vymývány, kromě případu, kdy byla nádoba vymyta po odměřené poslední nejmenší koncentraci lihu pro přípravu opětovného naměření povrchového napětí vody. Je možné, že při mytí v nádobce zůstanou nějaké jiné chemické látky ovlivňující měření.

5 Závěr

Naměřené hodnoty povrchového napětí v závislosti na koncentraci lihu v roztoku jsou uvedeny v tabulce č. 3. Tyto hodnoty jsou znázorněny v grafech č. 1 a 2.

Závislost povrchového napětí lihu v závislosti na koncentraci c se s korekcí na tloušťku drátu dá popsat rovnicí (10) s koeficienty

$$A = (-4,1 \pm 0,3),$$

$$B = (0,0307 \pm 0,0012) \text{ N} \cdot \text{m},$$

$$C = (0,0474 \pm 0,0013) \text{ N} \cdot \text{m}.$$

6 Literatura

- [1] *J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I.*
SPN, Praha 1967
- [2] *J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky*
SNTL, Praha 1980
- [3] **Studijní texty k fyzikálnímu praktiku**
Určení závislosti povrchového napětí na koncentraci povrchově aktivní látky
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_104.pdf