Pracovní úkol

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

Teoretické základy měření

Povrchové napětí σ je definováno jako síla působící kolmo na jednotkovou délku každého myšleného řezu povrchem látky. Tato síla leží v tečné rovině k povrchu ve vyšetřovaném místě a je stejně velká ve všech směrech povrchu.

Povrchové napětí je charakteristickým znakem kapalin. Hodnota povrchového napětí je pro danou kapalinu závislá na tom, s jakou látkou je kapalina ve styku, dále závisí na teplotě a čistotě kapaliny. Látky, které snižují povrchové napětí kapaliny, se nazývají POVRCHOVĚ AKTIVNÍ.

Povrchové napětí lze měřit přímou metodou založenou na definici povrchového napětí: METODOU ODTRHÁVACÍ. Měřím sílu potřebou k vytažení dostatečně tenkého drátku délky l z kapaliny. Při vytahování je drátek držen povrchovou blankou kapaliny silou

$$2F = 2\sigma l. \tag{1}$$

K měření síly F mohu využít TORZNÍCH VAH. Torzní váhy umožňují plynulé zatěžování drátku při vytahování drátku z kapaliny. Jsou dostatečně citlivé pro určení síly P_0 v okamžiku odtržení drátku od povrchu kapaliny. Síla P_0 je rovna síle $2F$ a pro povrchové napětí tedy z (1) platí vztah

$$\sigma = \frac{P_0}{2l}. \tag{2}$$

Vážení na torzních vahách se provádí tak, že na pravé vahadlo zavěsím měřený drátek, ten na vzduchu vyvážím na levém vahadlu závažíčky. Samotné měření probíhá tak, že nejprve měřený drátek ponořím do kapaliny cca 3mm pod povrch kapaliny tak, aby váhy ukazovaly rovnovážnou polohu, mohu regulovat posunem kádinky ve vertikálním směru. K vyvážení rámečku do rovnovážné polohy potřebuji sílu P_1. Následovně vertikálně posunu kádinku tak, aby ručička na vahách ukazovala stále rovnovážnou polohu, při posunu kádinky vyvažuji torzní váhy zatěžováním levého vahadla vah pomocí otáčení kotouče (viz kotouč 2 na obr 1. studijního textu k této úloze). Když se drátek odtrhne od kapaliny, ukazují torzní váhy hodnotu P_2. Pro potřebnou hodnotu P_0 platí vztah

$$P_0 = P_2 - P_1, \tag{3}$$

odkud dostanu vztah pro povrchové napětí σ

$$\sigma = \frac{P_2 - P_1}{2l}. \tag{4}$$

Přesnější vztah k určení povrchového napětí odtrhávací metodou s korekcí na tloušťku drátu je dle studijního textu

$$\sigma = \frac{P_2 - P_1}{2l} - r\left(\sqrt{\frac{(P_2 - P_1)\rho g}{l}} - \frac{P_2 - P_1}{l^2}\right), \tag{5}$$

kde ρ je hustota kapaliny a r je poloměr drátku.

Naměřené hodnoty a zpracování výsledků

Před měřením byly v laboratoři tyto podmínky:

Teplota:	$(24 \pm 0,5)$ °C
Tlak místní:	$(737,3 \pm 0,1)$ torr
Tlak přepočtený na hladinu moře:	$(758,2 \pm 0,1)$ torr
Relativní vlhkost vzduchu:	(40 ± 1) %

V tabulkách jsem si našla hodnoty povrchových napětí vody a ethanolu:

Voda, $t = 20$°C:	$\sigma_{H_2O;20^\circ C} = 72,75 \cdot 10^{-3}$ N.m^{-1}
Voda, $t = 25$°C:	$\sigma_{H_2O;25^\circ C} = 72,00 \cdot 10^{-3}$ N.m^{-1}
Ethanol:	$\sigma_{C_2H_5OH} = 22,3 \cdot 10^{-3}$ N.m^{-1}

Drátky jsem zvážila na digitálních vahách. Drátek, který jsem odtrhávala od kapaliny, vážil $m = 0,2260 \pm 0,0001$ g. Závažíčka, kterými jsem mohla vyvažovat drátek měla odhady hmotností 0,5000 g, 0,4992 g, 0,1300 g a 0,3251 g, odchylky hmotností jsou u všech závažíček 0,0001 g.

Délku drátku jsem měřila pomocí posuvného měřidla s noniem. Zjistila jsem, že drátek měří $l = (21,26 \pm 0,13)$mm. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce 1.

Průměr drátu jsem změřila pomocí mikrometrického měřidla. Zjistila jsem, že drátek má průměr $d = (0,502 \pm 0,004)$mm. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce 1.

Tabulka 1. Přehled naměřených hodnot délek a průměrů drátu.

Délka drátu.	
i	l [mm]
1	21,2
2	21,2
3	21,4
4	21,0
5	21,4
6	21,4
7	21,3
8	21,3
9	21,2
10	21,2
$l = (21,26 \pm 0,13)$ mm	
Průměr drátu.	
i	d [mm]
1	0,50
2	0,51
3	0,50
4	0,50
5	0,50
$d = (0,502 \pm 0,004)$ mm	

Nejprve jsem si umyla kádinku v destilované vodě. Jako první jsem měřila povrchové napětí destilované vody. Následovně jsem změřila povrchové napětí 100 % ethanolu. Pak jsem měřila povrchové napětí směsi vody a ethanolu v poměru $1 : 2^n$, kde $n = 0..9$. V Tabulce 2 jsou zaznamenány hodnoty procentuální objemové koncentrace směsi, hodnoty odečtené ze stupnice torzních vah, vypočtené odhady a chyby povrchových napětí před korekcí na tloušťku drátu ($\sigma_{(4)}$) a po korekci na tloušťku drátu ($\sigma_{(5)}$).

Hustotu kapaliny, která je ve vztahu (5) potřeba, jsem vypočítala ze vztahu

$$\rho_{\mathrm{kap}} = c_{\mathrm{vody}} \cdot \rho_{\mathrm{vody}} - c_{\mathrm{ethanolu}} \cdot \rho_{\mathrm{ethanolu}} \tag{6}$$

kde ρ_{kap} je hustota kapaliny (směsi), $\rho_{\mathrm{vody}} = 997,2994\ \mathrm{kg.m}^{-3}$ a $\rho_{\mathrm{ethanolu}} = 789,3\ \mathrm{kg.m}^{-3}$.

Tabulka 2. Hodnoty naměřené pro výpočet σ .

	c_{lihu} [%]	m_1 [mg]	m_2 [mg]	$10^3\sigma_{(4)}$ [N.m^{-3}]	$10^3\overline{\sigma_{(4)}}$ [N.m^{-3}]	$10^3\sigma_{\sigma_{(4)}}$ [N.m^{-3}]	$10^3\sigma_{(5)}$ [N.m^{-3}]	$10^3\overline{\sigma_{(5)}}$ [N.m^{-3}]	$10^3\sigma_{\sigma_{(5)}}$ [N.m^{-3}]
voda	0	41	300	59,8	59,8	0	54,4	54,4	0
		42	162	27,7			24,3		
ethanol	100	43	163	27,7	27,8	0,3	24,3	24,5	0,3
		45	167	28,2			24,8		
		49	182	30,7			26,9		
ethanol	50	45	185	32,3	31,9	1,1	28,5	28,1	1,0
		44	186	32,8			28,9		
		43	215	39,7			35,3		
ethanol	25	42	217	40,4	40,1	0,4	36,0	35,7	0,3
		42	216	40,1			35,8		
		41	278	54,7			49,6		
ethanol	12,50	40	280	55,4	55,1	0,4	50,3	50,0	0,3
		45	284	55,1			50,0		
		40	321	64,8			59,3		
ethanol	6,250	43	322	64,4	64,8	0,5	58,9	59,3	0,4
		40	323	65,3			59,8		
		46	347	69,5			63,7		
ethanol	3,125	36	349	72,2	70,9	1,4	66,4	65,2	1,3
		43	351	71,1			65,3		
		32	366	77,1			71,1		
ethanol	1,563	43	373	76,1	76,6	0,5	70,2	70,6	0,4
		42	374	76,6			70,6		
		51	369	73,4			67,5		
ethanol	0,781	45	377	76,6	76,1	2,6	70,6	70,2	2,5
		37	377	78,4			72,4		
		35	392	82,4			76,2		
ethanol	0,391	44	390	79,8	81,3	1,3	73,8	75,2	1,3
		35	389	81,7			75,6		
		39	363	74,8			68,9		
ethanol	0,195	37	364	75,4	75,1	0,4	69,5	69,2	0,3
		50	375	75,0			69,1		

Aritmetický průměr hodnot povrchového napětí $\overline{\sigma}$ pro danou koncentraci roztoku ethylalkoholu jsem počítala dle vzorce

$$\overline{\sigma} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\sigma_i, \tag{7}$$

kde σ_i je každá ze tří naměřených hodnot. Chybu jsem pak určila jako chybu statistickou:

$$\sigma_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2}\cdot\left(\sum_{i=1}^{3}(\sigma_i - \overline{\sigma})^2\right)}. \tag{8}$$

Grafické znázornění závislosti povrchového napětí σ na koncentraci roztoku ethylalkoholu ve vodě je v Grafu 1 a v Grafu 2.

Diskuse

Jak ke vidět na Grafu 1 a Grafu 2, povrchové napětí silně závisí na čistotě nástrojů. To můžeme nejlépe poznat v blízkosti tabelovaných hodnot (100% lihu a koncentrace lihu $< 0{,}2$).

Při míchání směsi vody a lihu se také měnila teplota směsi (nebyla stejná jako teplota místnosti po celou dobu pokusu).

Teplota a nečistoty zbůsobily odchylku až 20 % od tabelované hodnoty.

Závěr

Ověřila jsem, že povrchové napětí látek závisí na přítomnosti povrchově aktivních látek.

Použitá literatura

[1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1967.

[2] B. Sprušil, P. Zieleniecová: Úvod do teorie fyzikálních měření. SPN, Praha 1997.

[3] J. Brož, V. Roskovec, M. Valoucký: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980.