

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## Praktikum I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. XIV

Název: Studium teplotní závislosti povrchového napětí

Pracoval: Matyáš Řehák stud.sk.: 16 dne: 6.3.2008

Odevzdal dne: .....

**Hodnocení:**

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 9	7
Diskuse výsledků	0 - 5	3
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	17

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkol

1. Změřte teplotní závislost povrchového napětí destilované vody  $\sigma$  v rozsahu teplot od 295 do 345 K metodou bublin.
2. Měřenou závislost znázorněte graficky. Závislost aproximujte kvadratickou funkcí.

## Teorie

Při vytlačování vzduchu z kapiláry do kapaliny působí proti vytlačování hydrostatický tlak v hloubce  $h$  a povrchové napětí na rozhraní kapalina-vzduch. Povrchové napětí  $\sigma$  vytváří uvnitř kulové plochy o poloměru  $r$  kapilární přetlak

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{2\sigma}{r}. \quad (1)$$

Ten je největší, když je poloměr bubliny nejmenší, tedy shodný s poloměrem kapiláry  $r_0$ :

$$\Delta p_{\sigma \max} = \frac{2\sigma}{r_0}. \quad (2)$$

Při zvětšování poloměru bubliny, jejím rozpínání, tlak klesá a bublina se nakonec odtrhne od kapiláry a vypluje na hladinu. Aby došlo k uvolnění bublin, je nutné, aby byl tlak v kapiláře větší o

$$\Delta p_{\sigma \max} = \frac{2\sigma}{r_0} + h\rho g, \quad (3)$$

Kde  $h$  je hloubka ponoření kapiláry,  $\rho$  hustota měřené kapaliny,  $g$  tíhové zrychlení. Aparatura je však sestavena tak, že tato hloubka je nulová. Z toho:

**toto není pravda!!!**

$$\sigma = \frac{r_0 \Delta p_{\sigma \max}}{2} \quad (4)$$

Změnu tlaku  $\Delta p$  měříme mikromanometrem (celá aparatura s popisem je v [1]), vztah pro ni je odvozen v [2]:

$$\Delta p_{\sigma \max} = l\rho g \sin \alpha, \quad (5)$$

kde  $l$  je maximální výška hladiny v šikmé trubici a  $\alpha$  úhel náklonu ramene manometru. Po dosazení (5) do (4) je výsledný vztah pro povrchové napětí:

$$\sigma = \frac{r_0 l \rho g \sin \alpha}{2}. \quad (6)$$

## Pomůcky

Kapalinový mikromanometr UMK, aspirátor, měrná baňka, zátka, kapilára, rtuťový teploměr, magnetická míchačka MM2, přítláčné svorky, stojan, kádinka.

## Výsledky měření

### Laboratorní podmínky

Teplota vzduchu v místnosti, vody v mikromanometru: 24 °C

Tlak vzduchu v místnosti: 99,4 kPa

Relativní vlhkost vzduchu v místnosti: 22%

### Závislost povrchového napětí na teplotě

Úhel naklonění ramene mikromanometru  $\alpha = 30^\circ$

Hustota destilované vody při teplotě 24°C [3]:  $\rho = 997 \text{ kg.m}^{-3}$

Průměr kapiláry:  $d_0 = (0,55 \pm 0,02) \text{ mm}$

Nejmenší dílek stupnice manometru: 1 mm

Chyba povrchového napětí  $\sigma_\sigma$  byla spočtena vztahem:

$$\sigma_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma}{\partial d_0}\right)^2 \sigma_{d_0}^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial l}\right)^2 \sigma_l^2} \quad (7)$$

Tab.1: Tabulkové hodnoty [3]

t [°C]	$\sigma$ [10-3N.m]
25	72,0
30	71,2
40	69,6
50	67,9
60	66,2
70	64,4
80	62,6

$t$  – teplota měřené vody  
 $\sigma$  – povrchové napětí

Tab.2: Závislost maximální výšky hladiny v manometru a povrchového napětí na teplotě

Měření	$l$ [mm]	$t$ [°C]	$\sigma$ [ $10^{-3}\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	$\sigma_{\sigma}$ [ $10^{-3}\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
1	112	24,5	75,3	2,8
2	111	26,5	74,6	2,8
3	110	28,0	74,0	2,8
4	109	30,0	73,3	2,7
5	108	31,5	72,6	2,7
6	107	33,0	71,9	2,7
7	106	36,0	71,3	2,7
8	105	37,5	70,6	2,7
9	104	39,5	69,9	2,6
10	103	42,5	69,3	2,6
11	102	45,0	68,6	2,6
12	101	50,0	67,9	2,6
13	100	53,0	67,2	2,5
14	99	56,0	66,6	2,5
15	98	60,0	65,9	2,5
16	97	64,5	65,2	2,5
17	96	68,5	64,6	2,4
18	95	72,5	63,9	2,4

$l$  – maximální výška hladiny  
 $t$  – teplota měřené vody  
 $\sigma$  – povrchové napětí  
 $\sigma_{\sigma}$  – chyba povrchového napětí

### Aproximace naměřené závislosti

Závislost  $\sigma(T)$  byla proložena kvadratickou funkcí:

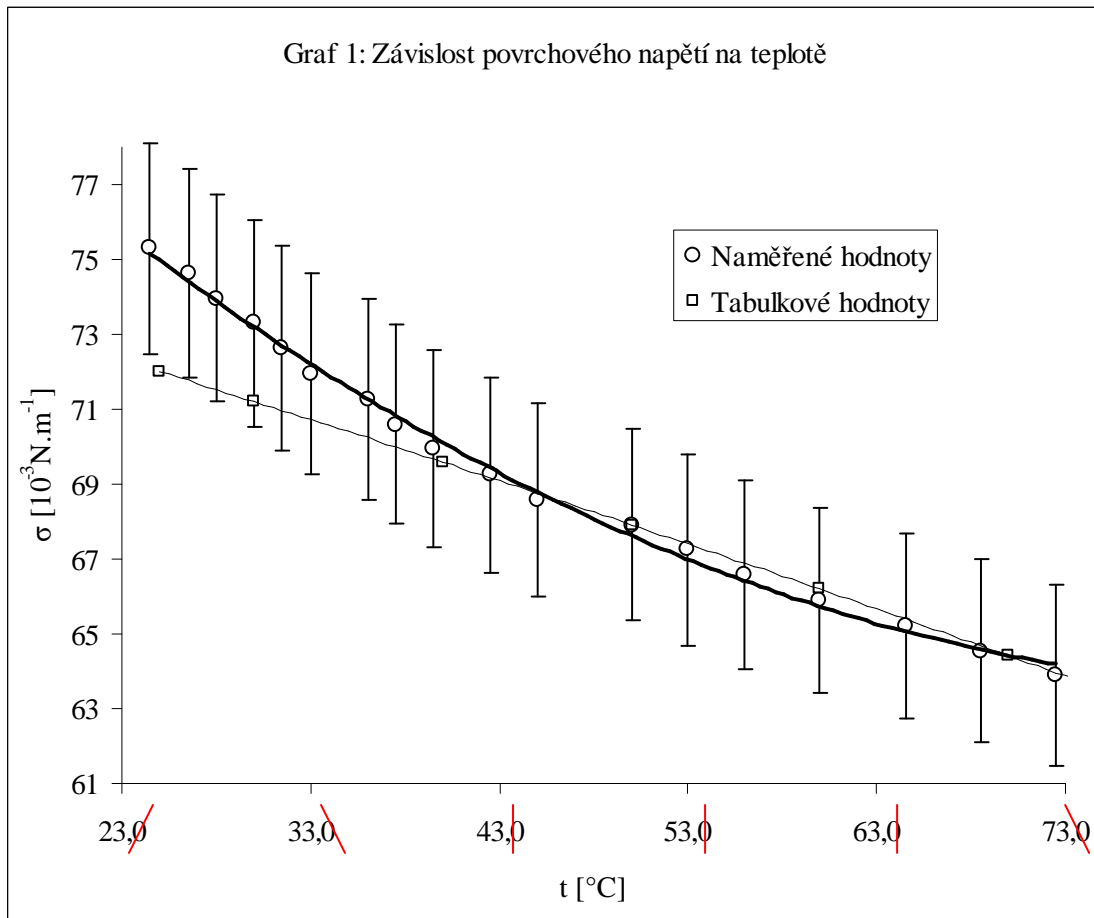
$$\sigma(T) = A + BT + CT^2 \quad (8)$$

Pro naměřené hodnoty:

$$\sigma(T) = 5,6 \cdot 10^{-2} - 5,2 \cdot 10^{-4}t + 3 \cdot 10^{-6}t^2$$

A pro tabulkové:

$$\sigma(T) = 7,6 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^{-4}t + 3210^{-7}t^2$$



## Diskuse

Povrchové napětí bylo změřeno s relativní odchylkou přibližně 3,8%. Hlavní příspěvek do této chyby je z odchylky určení průměru kapiláry. **né tak docela pravda**

Naměřené hodnoty se v rámci chyby shodují s tabulkovými hodnotami pouze pro vyšší teploty. Za možný zdroj chyb se dá považovat možné nedosažení rovnovážného stavu způsobeném příliš vysokou nebo příliš nízkou rychlostí odtoku vody z aspirátoru nebo případné znečištění měřené vody jinou povrchově aktivní látkou. Mezi další potenciální zdroje chyb lze pokládat nepřesně změřenou výšku hladiny v rameni manometru, způsobené zejména jejími fluktuacemi a jevy způsobené ohřevem – nerovnoměrné ohřívání kapaliny, teplotní setrvačnost a rozpínání kapaliny, způsobující změnu hloubky kapiláry.

**Kapilára je zanořena do cca 1 mm hloubky. Způsobuje tedy systematické zvýšení hodnoty  $\sigma$  o cca 1 – 2 %. Tuto odchylku nikde neuvažujete.**

## **Závěr**

Ověřil jsem, že povrchové napětí závisí na teplotě a tuto závislost proložil kvadratickou funkcí

$$\sigma(T) = 5,6 \cdot 10^{-2} - 5,2 \cdot 10^{-4} t + 3 \cdot 10^{-6} t^2$$

## **Literatura**

[1] D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý: Fyzikální praktikum I., SPN, Praha

[2] 1989J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I., SPN, Praha 1967

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