

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM I.  
PRO OBOR OBECNÁ FYZIKA

---

## **XIV. Štúdium teplotnej závislosti povrchového napätia**

---

*Autor:*  
Samuel Kočiščák

13. apríla 2016

## 1 Pracovné úlohy

1. Zmerajte teplotnú závislosť povrchového napätia destilovanej vody  $\sigma$  v rozsahu teplôt od 23 °C do 70 °C metódou bublín.
2. Meranú závislosť znázorníte graficky, do grafu vyneste chybové úsečky a tabulkové hodnoty. Závislosť aproximujte kvadratickou funkciou.

## 2 Teoretická časť

### 2.1 Povrchové napätie

Povrchové napätie  $\sigma$  vytvorí<sup>[St]</sup> vnútri guľovej plochy polomeru krivosti  $r$  kapilárny pretlak:

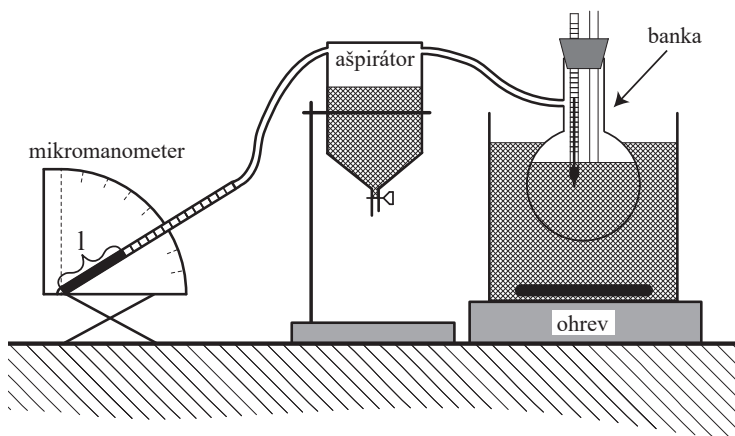
$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

Tlak nadobudne maxima pri minimálnom polomere krivosti, čo v prípade merania metódou bublín nastane v momente, keď je polomer bubliny rovnaký, ako polomer ponorenej kapiláry<sup>[St]</sup>. Pred týmto momentom je totiž polomer krivosti väčší, lebo bublina nemá guľový tvar, po tomto momente sa začne bublina zväčšovať, teda sa bude zväčšovať aj jej polomer. Ak udržíme tlak konštantný, tak bublina vypláva na hladinu, pretože kapilárny pretlak klesne a bublina nebude schopná rozdiel tlakov viac kompenzovať - inými slovami - pre kvapalinu istého povrchového napätia  $\sigma$  a kapiláru vnútorného polomeru  $r$  existuje hraničný rozdiel tlakov  $\Delta p_{max}$ , ktorý je sústava schopná maximálne udržať. Ak tento tlak poznáme, vieme dopočítať povrchové napätie ako:

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

### 2.2 Meranie

Tlak  $\Delta p_{max}$  zistíme pomocou mikromanometra merajúceho tlak v ašpirátore tak, ako ukazuje obrázok 1. Pomaly vypúšťame vodu z ašpirátora, čo spôsobí nasatie vzduchu do banky cez kapiláru. Sledujeme stupnicu mikromanometra, hodnota  $l$ , ktorú mikromanometer udáva pomaly stúpa, až dosiahne maximum  $l_{max}$ . Bublina (a niekoľko ďalších) sa odtrhne zo spodku kapiláry a tlak v banke stúpne (priblíži sa atmosférickému tlaku), čo sa prejaví poklesom rozdielu tlakov na mikromanometri a teda poklesom hodnoty  $l$ . Zapišeme maximálnu dosiahnutú hodnotu  $l_{max}$  a teplotu vody, pri ktorej bola dosiahnutá.



Obr. 1: Aparatúra

Tlak zistíme z hodnoty  $l$  ako hydrostatický tlak vodného stĺpca v mikromanometri:

$$\Delta p_{max} = \Delta h_{max} \rho g = l_{max} \rho g \sin \alpha, \quad (3)$$

z čoho po dosadení do vzťahu (2) získame vzťah  $\sigma = f(l_{max})$ :

$$\sigma = \frac{l_{max} \rho g r \sin \alpha}{2} \quad (4)$$

Vzťah (4) pracuje v priblížení, že kapilára v banke je ponorená zanedbateľne. V našom prípade sa kapilára iba dotýkala hladiny, teda hydrostatický tlak na konci kapiláry je rádovo menší<sup>[Zfm]</sup>, ako kapilárny tlak spôsobený krivosťou bubliny.

### 3 Výsledky merania

Teplota v laboratóriu bola na začiatku merania  $25,5^{\circ}\text{C}$  a na konci merania  $26,2^{\circ}\text{C}$ . Na určenie tlaku pomocou mikromanometra potrebujeme poznať hustotu vody, vo výpočtoch použijeme hustotu destilovanej vody pri  $25,8^{\circ}\text{C}$ , čo je podľa [Tfk]:  $\rho = 996,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Pri výpočtoch potrebujeme poznať aj tiažové zrýchlenie, používame hodnotu podľa [Wg]:  $g = 9,8137 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

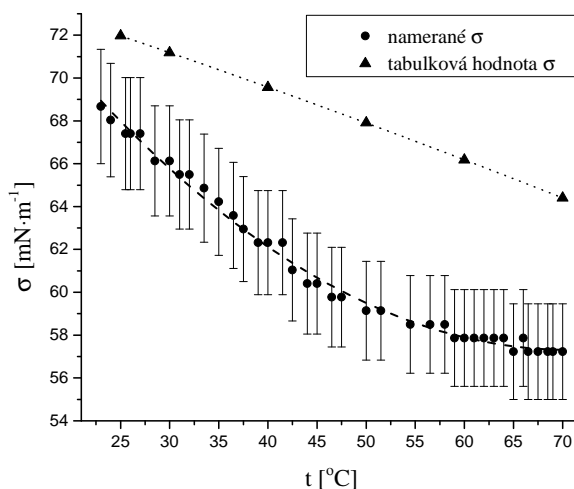
Teplomér použitý pri meraní mal najmenší dielik stupnice  $0,5^{\circ}\text{C}$ , teda za chybu určenia teploty považujeme  $\sigma_t = \frac{0,5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,3^{\circ}\text{C}$ . Stupnica mikromanometra má najmenší dielik 1 mm, teda chyba merania výšky vodného stĺpca v mikromanometri bola  $\sigma_l = \frac{1\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0,6\text{ mm}$ . Šírku kapiláry poznáme s presnosťou na 0,02 mm, teda nepresnosť určenia polomeru je  $\sigma_r = 0,01\text{ mm}$ .

Kvôli úspore priestoru neuvádzame všetky namerané hodnoty, možno ich nájsť v prílohe. Chyba určenia povrchového napätia je pre každý bod:

$$\sigma_{\sigma} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{l}\right)^2 \sigma_l^2 + \left(\frac{\sigma}{r}\right)^2 \sigma_r^2}, \quad (5)$$

Táto chyba má pre všetky body veľkosť okolo  $2,5 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$  a veľká väčšina tejto chyby pochádza z nepresnosti určenia polomeru kapiláry.

V grafe na obrázku 2 vidno namerané hodnoty preložené parabolickou závislosťou a tabulkové hodnoty<sup>[Tpn]</sup>. Errorbary teploty sú príliš malé na to, aby ich bolo možné znázorniť v grafe. Majú však (ako sme uviedli vyššie) konštantnú hodnotu  $\sigma_t = 0,3^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 2: Graf závislosti povrchového napätia od teploty

Parabolická závislosť v grafe má predpis  $\sigma = at^2 + bt + c$  s koeficientmi uvedenými v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Koeficienty fitu

	$a$	$b$	$c$
hodnota	$5,1 \cdot 10^{-3}$	-0,72	82,9
štandardná odchýlka	$3 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,6

## 4 Diskusia výsledkov

Medzi našimi nameranými hodnotami a tabuľkovými<sup>[T<sub>pn</sub>]</sup> hodnotami je jasná nezhoda, najmä v kvadratickom člene. Hlavným problémom sú veľké errorbary (v grafe na obrázku 2 je znázornená štandardná odchýlka, tabuľkové hodnoty sú až niekde na hranici medznej chyby ( $3\sigma$ ), čo je veľmi vysoká nepresnosť a ukazuje na systematickú chybu merania).

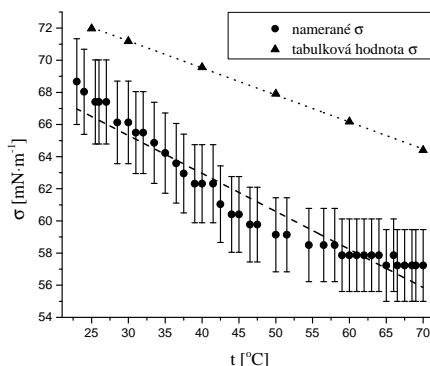
Konštantné posunutie nameranej závislosti smerom k nižším hodnotám povrchového napätia oproti tabuľkovým hodnotám je možné vysvetliť vysokou nepresnosťou určenia polomeru kapiláry, ale aj možnou prítomnosťou povrchovo aktívnej látky - voda nemusela byť dostatočne čistá, čo sme nijak neoverovali.

Vážnejší problém je prepad nameraných hodnôt, najmä v oblasti od 35 °C do 55 °C, čo spôsobilo rozdiel v kvadratickom člene oproti tabuľkovým hodnotám. V tabuľke 1 jasne vidno, že najväčšiu chybu určenia má práve kvadratický člen, čo nie je prekvapivé - interval meraných teplôt bol veľmi malý. Úplne ilustračne - v tabuľke 2 možno vidieť koeficienty fitu tabuľkových<sup>[T<sub>pn</sub>]</sup> hodnôt za predpokladu rovnakej presnosti merania, akú sme dosiahli pri našom meraní. Kvadratická závislosť tabuľkových hodnôt je veľmi slabá, no priekazne záporná.

Tabuľka 2: Fit tabuľkových hodnôt

	$a$	$b$	$c$
hodnota	$-2,8 \cdot 10^{-4}$	-0,142	75,68
štandardná odchýlka	$2 \cdot 10^{-5}$	0,002	0,03

Ak by sme sa rozhodli obmedziť sa na preloženie nameraných dát lineárnou závislosťou  $\sigma = pt + q$ , dostali by sme výsledky, ktoré prezentujú graf na obrázku 3 a tabuľka 3.



Obr. 3: Povrchového napätia v závislosti od teploty - lineárna závislosť

Tabuľka 3: Lineárna závislosť - koeficienty fitu

	$p$	$q$
fit meraných dát	-0,24	72,4
odchýlka fitu meraných dát	0,01	0,5
fit tabulkových hodnôt	-0,168	76,2
odchýlka fitu tabulkových hodnôt	0,002	0,1

Z tabuľky 3 a grafu na obrázku 3 vidno, že v lineárnej aproximácii dostávame oveľa lepšiu zhodu s tabulkovou hodnotou.

Pri ďalšom meraní možno odporučiť kalibráciu aparatury v čistej kvapaline známeho povrchového napätia, čím by sme dostali lepšiu zhodu s tabuľkou, pri najmenšom v konštantnom člene.

## 5 Záver

Teplotnú závislosť povrchového napätia sa nám nepodarilo určiť dostatočne presne, aby sme dokázali určiť hodnotu koeficientu pri kvadratickom člene s uspokojivou presnosťou a nedosiahli sme zhodu s tabulkovými hodnotami. Avšak ak sa obmedzíme na určenie lineárnej závislosti, až na konštantný člen, ktorého nepresnosť možno jednoducho vysvetliť, sme dosiahli uspokojivú zhodu s tabulkovými hodnotami.

## 6 Zoznam použitej literatúry

- [St] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Študijný text k meraniu: Studium teplotní závislosti povrchového napětí*. [cit. 2016-08-04]. URL: <[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_114.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_114.pdf)>.
- [Tfk] SCHAUER, Pavel. *Tabulky fyzikálních konstant: Tabulka 1*. [cit. 2016-09-04]. URL: <[http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka\\_schauer/tabulky.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/tabulky.pdf)>.
- [Wg] Kolektív WIKIMEDIA project. *Wikipedie: Tíhové zrychlení* [cit. 2016-05-03]. URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9\\_zrychlen%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9_zrychlen%C3%AD)>.
- [Tpn] kolektív conVERTER. *Povrchové napětí* [cit. 2016-09-04]. URL: <<http://www.converter.cz/tabulky/povrchove-napeti.htm>>.
- [Zfm] BROŽ, Jaromír et al. 1983. *Základy fyzikálních měření (I)*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983. s. 153-155.