

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM I

Úloha č.XIV

Název: Studium teplotní závislosti povrchového napětí

Pracovala: Jana Ringelová

stud. skup. F/1-Y/15

dne 24.3.2005

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval:..... dne ..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

### Pracovní úkoly

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.

# Teoretická část

## Metoda bublin

Přetlakem v kapiláře se vytlačují bubliny směrem do kapaliny. Budeme-li předpokládat, že kapilára končí přesně na hladině vody, můžeme hydrostatický tlak v kapiláře zanedbat. Proto pro přetlak  $p_k$  vzduchového sloupce v kapiláře, který je potřeba k vytlačení bubliny o poloměru  $r$ , dostáváme podle [1] vztah

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

## Manometrická trubice

Přetlak je maximální, když je poloměr bubliny  $r$  minimální, tedy když je roven poloměru kapiláry  $r_0$ . Tento přetlak lze snadno odečíst na manometrické trubici, sledujíc kdy sloupec kapaliny dosáhne maximální délky  $l_m$ . (Přetlak v kapiláře měříme tedy nepřímou. To, co měříme přímo, je podtlak uvnitř aparatury.) Podtlak v aparatuře je roven hydrostatickému tlaku  $p_h$  sloupce kapaliny v manometrické trubici. Pro manometrickou trubici nakloněnou o úhel  $\alpha$  dostáváme vztah pro maximální potlak (resp. přetlak)

$$p_h = \rho g l_m \sin \alpha, \quad (2)$$

kde  $\rho$  je hustota kapaliny v manometrické trubici a  $g$  tíhové zrychlení.

## Vztah pro povrchové napětí $\sigma$

Z uspořádání experimentu (vizte schéma aparatury v [1]) pak plyne rovnost

$$p_h = p_k \quad (3)$$

Z (1),(2) a (3) dostáváme

$$\sigma = \frac{1}{2} r_0 \rho g l_m \sin \alpha \quad (4)$$

## Teoretická závislost povrchového napětí vody na teplotě

Podle [4] lze povrchové napětí  $\sigma$  v závislosti na teplotě  $T$  vypočítat ze vzorce

$$\sigma = B\tau^\mu(1 + b\tau), \quad (5)$$

kde  $\tau = 1 - \frac{T}{T_c}$ ,  $T_c = 647,096$  K je kritická teplota vody,  $B = 235,8$  mN·m<sup>-1</sup>,  $b = -0.625$  a  $\mu = 1,256$ .

## Popis metody měření

1. Nejprve se pomalým vypouštěním vody z aspirátoru dosáhlo uvnitř aparatury takového podtlaku, že se mohly začít tvořit bubliny.
2. Vodu bylo nutno stále upouštět, aby se podtlak udržoval, neboť díky netěsnostem dovnitř vnikal vzduch a navíc vzniklé bubliny vystoupali na hladinu a poté unikly do prostoru s podtlakem, čímž by se podtlak rovněž zmenšoval, nebýt trvalého upouštění vody z aspirátoru.

3. Povolováním a utahováním přitlačné svorky se docílilo toho, že hladina sloupce v manometru stoupala dostatečně pomalu. Jednak to umožnilo přesnější odečítání maximálního přetlaku a jednak se tím děj více blížil rovnovážnému ději, což předpokládala teorie.
4. Zahřívání vody, jejíž povrchové napětí bylo zkoumáno. Postupné odečítání dvojic hodnot teploty (měřena rtuťovým teploměrem) a maximální délky sloupce v manometru.

## Podmínky experimentu

teplota vzduchu:  $t_0 = 26,4^\circ\text{C}$

tlak vzduchu:  $p_0 = 994,0\text{ hPa}$

## Použité měřicí přístroje a pomůcky

Uvedeny v tabulce 1.

Měřicí přístroj	Nejmenší dílek
Kapalinový mikromanometr	1 mm
Rtuťový teploměr	0,5 °C
Digitální teploměr	0,1 °C

Tabulka 1: Použité měřicí přístroje

## Pomůcky

Kapilára, magnetická míchačka, vzduchotěsně uzavřená soustava baňka–aspirátor–manometr, chemický stojan, proměřovaná kapalina (destilovaná voda), voda

## Naměřené hodnoty

Nastaveno:  $\alpha = 30^\circ$  V zadání úlohy uvedeno:  $r_0 = (0,26 \pm 0,01)\text{mm}$

Hustota vody coby kapaliny v manometrické trubici při teplotě  $t_0$  vzduchu v místnosti:  $\rho = (996,68 \pm 0,01)\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tato hodnota byla vyhledána v tabulkách [2] podle teploty  $t_0$ , přičemž její chyba byla odhadnuta z nepřesnosti měření teploty místnosti (použit digitální teploměr).

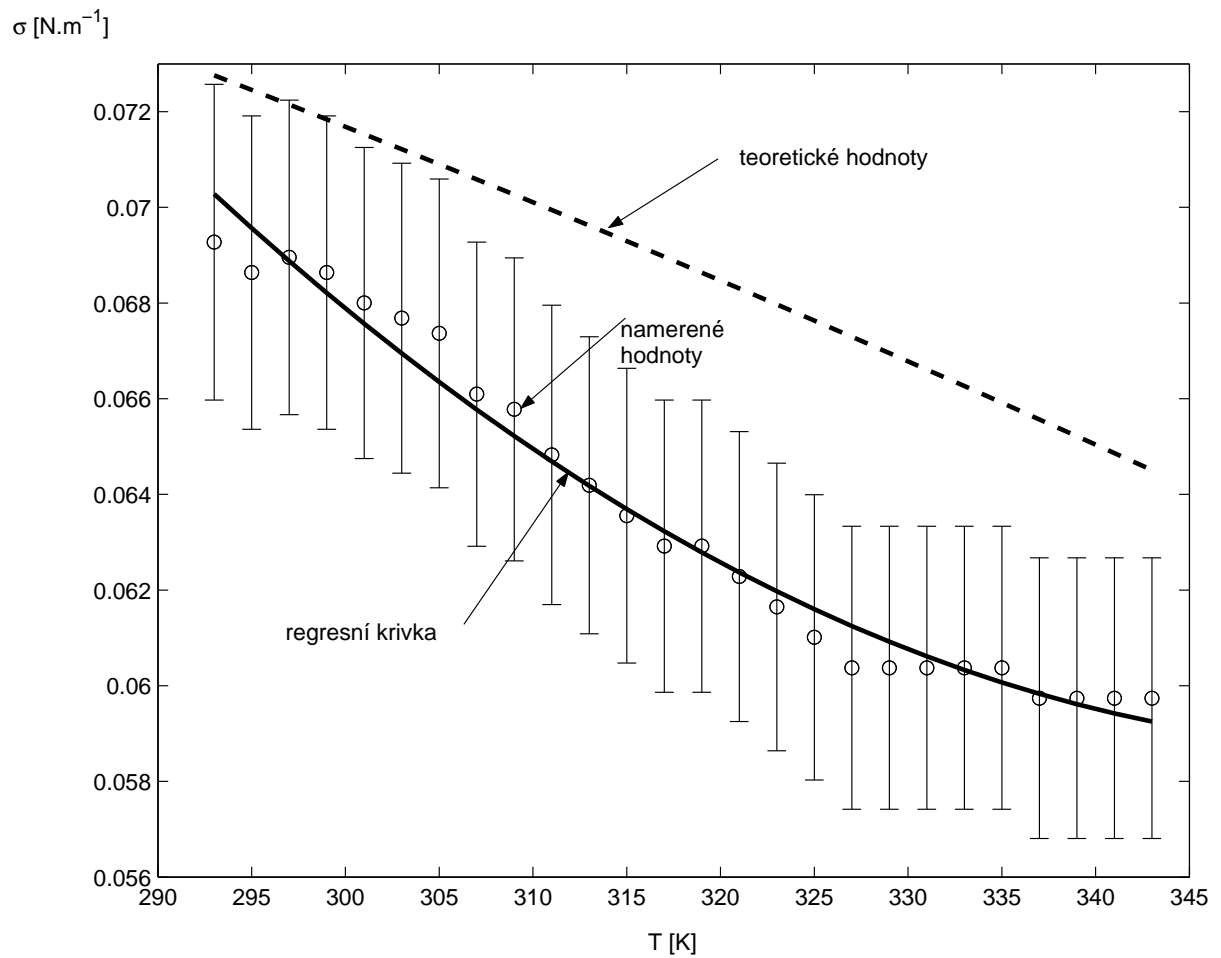
Chyba určení  $l_m$ : 1 mm.

## Diskuse

Z grafu 1 je patrné, že se naměřený průběh závislosti viditelně liší od průběhu teoretického. Jednak je celá křivka posunuta níže, než by měla být, a jednak je konvexní namísto aby byla konkávní. Za posunutí křivky směrem dolů může zřejmě systematická chyba,

$T$ [K]	$l_m$ [mm]	$\sigma$ [N·m <sup>-1</sup> ]	$s_\sigma$ [N·m <sup>-1</sup> ]	$\sigma_T$ [N·m <sup>-1</sup> ]
293	109	0.069273	0.0033006	0.072759
295	108	0.068638	0.0032761	0.072455
297	108.5	0.068955	0.0032884	0.072149
299	108	0.068638	0.0032761	0.071841
301	107	0.068002	0.0032517	0.07153
303	106.5	0.067684	0.0032395	0.071218
305	106	0.067366	0.0032272	0.070903
307	104	0.066095	0.0031783	0.070586
309	103.5	0.065778	0.0031661	0.070266
311	102	0.064824	0.0031294	0.069944
313	101	0.064189	0.003105	0.069621
315	100	0.063553	0.0030805	0.069295
317	99	0.062918	0.0030561	0.068967
319	99	0.062918	0.0030561	0.068636
321	98	0.062282	0.0030316	0.068304
323	97	0.061647	0.0030072	0.067969
325	96	0.061011	0.0029827	0.067632
327	95	0.060376	0.0029583	0.067293
329	95	0.060376	0.0029583	0.066952
331	95	0.060376	0.0029583	0.066609
333	95	0.060376	0.0029583	0.066264
335	95	0.060376	0.0029583	0.065917
337	94	0.05974	0.0029338	0.065568
339	94	0.05974	0.0029338	0.065216
341	94	0.05974	0.0029338	0.064863
343	94	0.05974	0.0029338	0.064508

Tabulka 2: Naměřené a z nich dopočítané hodnoty.  $\sigma$  je povrchové napětí při teplotě  $T$  vypočtené dle (4) z naměřených hodnot,  $\sigma_T$  je teoretická hodnota povrchového napětí vody vypočtená dle (5).  $s_\sigma$  je směrodatná odchylka vypočtené hodnoty  $\sigma$ , která byla získána uvažáním, že relativní chyba součinu veličin je rovna součtu jejich relativních chyb.



Obrázek 1: Graf závislosti povrchového napětí vody na teplotě. Grafická interpretace hodnot z tabulky 2.

kteřá ovlivňovala výsledek během celého měření stejným směrem. Možná je manometr nebo teploměr špatně ocejchovaný, anebo pravděpodobněji máme špatně určený poloměr kapiláry (ve skutečnosti je nejspíš větší). Nebo zkoumaná voda nemusela být úplně čistou destilovanou vodou. Dále děj nejspíš nebyl zcela rovnovážný, neboť voda mohla unikat z aspirátoru příliš pomalu, přičemž by nestačila nastat rovnováha tlaků, a tak velikost podtlaku uvnitř aparatury by byla menší než velikost přetlaku v kapiláře. Podle vztahu (4) bychom v takovém případě získali menší  $\sigma$ , než je ve skutečnosti, což odpovídá i naměřeným hodnotám.

Co se týče konvexity křivky, myslím, že v rámci tak velkých chybových úseček, jaké jsou v grafu 1, může být křivka z naměřených hodnot stejně dobře konkávní jako konvexní.

## Závěr

Naměřila jsem závislost povrchového napětí vody na teplotě. Výsledky jsou spolu s teoretickými hodnotami vyneseny do grafu 1. Vzájemné posunutí obou křivek je zřejmě způsobeno systematickou chybou.

## Reference

- [1] Studijní text k Fyzikálnímu praktiku I, Úloha XIV  
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt114.htm>
- [2] G. W. C. Kaye, T. H. Laby, Tables of Physical and Chemical Constants, Longman, London 1966
- [3] J. Englich, prezentace k semináři Úvod do praktické fyziky  
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni.zip>
- [4] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance.  
<http://www.iapws.org/relguide/surf.pdf>