

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.: XIV

Název: Studium teplotní závislosti povrchového napětí

Vypracovala: stud. sk. dne: 12.12.03.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

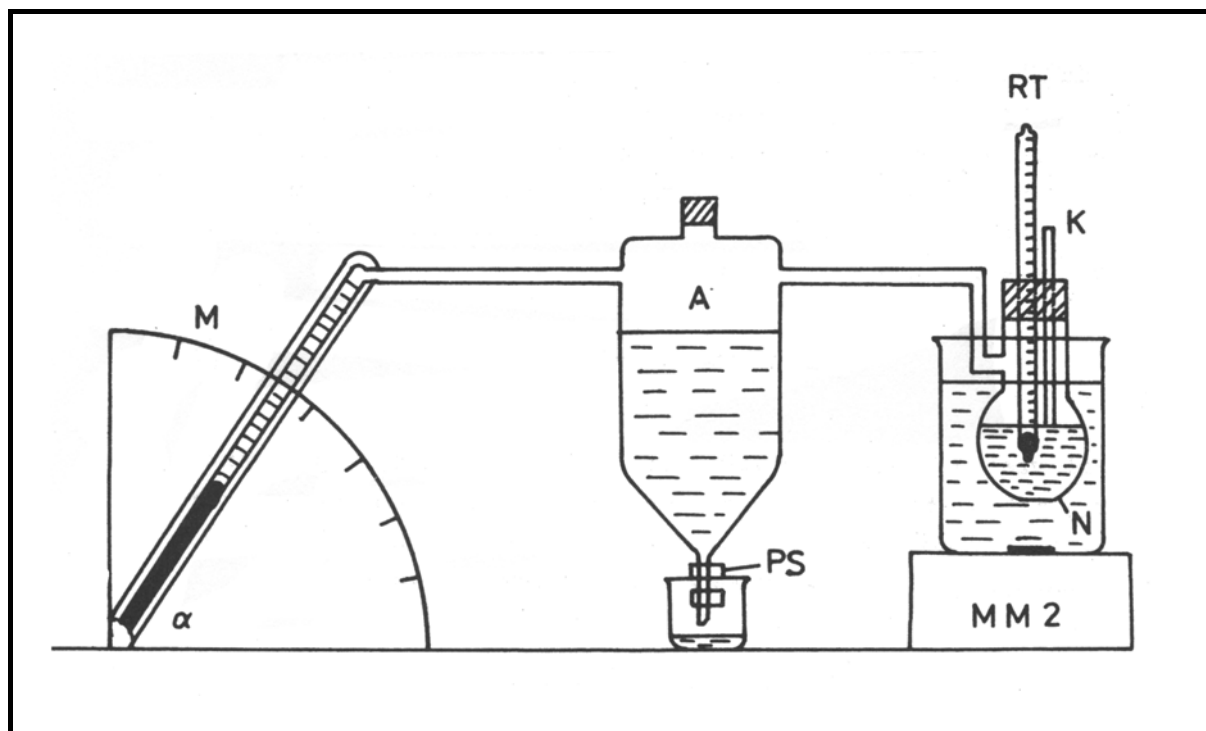
I. Pracovní úkol

I. Změřte závislost povrchového napětí destilované vody σ na teplotě T v rozsahu teplot od 295 do 365 K metodou bublin.

II. Měřenou závislost znázorněte graficky. Závislost aproximujte kvadratickou funkcí.

II. Teorie

Teplotní závislost povrchového napětí určíme metodou bublin. Budeme používat měřící aparaturu, která je složena z nádoby s kapalinou, v našem případě se jedná o destilovanou vodu, ve které je v hloubce h ponořena kapilára o poloměru r . Tato nádoba je spojena s druhou nádobou naplněnou vodou. Ta se postupně vypouští, a tak vzniká podtlak vůči atmosférickému tlaku, čímž vznikají na konci kapiláry bubliny. Celá aparatura je znázorněna na následujícím obrázku:



obr. 1

Proti vzniku bublin působí hydrostatický tlak a povrchové napětí kapaliny σ , které uvnitř bublin vytváří kapilární přetlak:

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

r poloměr bubliny

Když je r minimální, tedy rovný poloměru kapiláry r_0 , přetlak v bublině je maximální. Bublina začne z kapiláry unikat, stoupne-li tlak vzduchu v kapiláře vzhledem k tlaku vzduchu u hladiny o hodnotu

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

h hloubka ponoru kapiláry

ρ hustota kapaliny

g tíhové zrychlení

Hydrostatický tlak můžeme zanedbat, protože kapilára ústila těsně pod hladinou, proto

$$\Delta p_{\max} = \frac{2\sigma}{r_0} \quad (3)$$

Rozdíl tlaků Δp měříme mikromanometrem, na kterém odečítáme výšku vodního sloupce d . Rameno mikromanometru je skloněno o úhel α . Maximální tlak Δp_{\max} pak můžeme určit z výšky hladiny sloupce d jako

$$\Delta p_{\max} = d\rho g \sin \alpha \quad (4)$$

Povrchové napětí σ určíme ze vztahů (3) a (4):

$$\sigma = \frac{rdg\rho \sin \alpha}{2} \quad (5)$$

Výška sloupce s je funkcí absolutní teploty T :

$$d(T) = A + BT + CT^2 \quad (6)$$

A, B, C konstanty

Pro povrchové napětí platí:

$$\sigma(T) = k \cdot d(T)$$

k konstanta

III. Výsledky měření

Poloměr kapiláry $r = (0,25 \pm 0,01) \text{ mm}$.

Úhel sklonu manometrické trubice $\alpha = 30^\circ$

Hustota vody v manometrické trubici při teplotě 20°C $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$

tab. 1 – závislost d na teplotě

číslo měření	T [K]	d [mm]	σ [mN/m]*
1	290,0	108	$68,7 \pm 2,7$
2	293,0	108	$68,7 \pm 2,7$
3	296,0	107	$68,1 \pm 2,7$
4	299,0	107	$68,1 \pm 2,7$
5	302,0	106	$67,5 \pm 2,7$
6	305,0	106	$67,5 \pm 2,7$
7	308,0	105	$66,8 \pm 2,6$
8	311,0	104	$66,2 \pm 2,6$
9	314,0	104	$66,2 \pm 2,6$
10	317,0	103	$65,6 \pm 2,6$
11	320,0	102	$64,9 \pm 2,6$
12	323,0	101	$64,3 \pm 2,6$
13	326,0	100	$63,7 \pm 2,5$
14	329,0	99	$63,0 \pm 2,5$
15	332,0	98	$62,4 \pm 2,5$
16	335,0	98	$62,4 \pm 2,5$
17	338,0	97	$61,7 \pm 2,5$
18	341,0	96	$61,1 \pm 2,4$
19	344,0	96	$61,1 \pm 2,4$
20	347,0	95	$60,5 \pm 2,4$

Mezní chyba při měření teploty $\eta_T = 0,5 \text{ K}$

Mezní chyba při odečítání výšky sloupce $\eta_d = 1 \text{ mm}$

Hodnoty konstant:

♦ $A = 95,00335 \text{ mm}$

♦ $B = 0,2917548 \text{ mm/K}$

♦ $C = -8,432194 \cdot 10^{-4} \text{ mm/K}^2$

$$d(T) = 95,00335 + 0,2917548 \cdot T - 8,432194 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

Konstanta $k = 0,6365522 \text{ N/m}^2$

Konstanta k po úpravě poloměru kapiláry ($r = 0,27 \text{ mm}$): $k = 0,06610349 \text{ N/m}^2$

Závislost σ na $d(T)$: $\sigma(d) = 0,6610349 \cdot d(T)$

* Chybu σ jsme určovali jako chybu nepřímých měření. Uvedená chyba je chyba mezní.

IV. Diskuse

Námi naměřené hodnoty se s tabelovanými hodnotami neshodují ani v rámci chyb (tabelovaná hodnota je např. $\sigma(293\text{ K}) = 72,7\text{ mN/m}$, naše hodnota je $\sigma(293\text{ K}) = (68,7 \pm 2,7)\text{ mN/m}$). Z grafu 1 závislosti povrchového napětí na teplotě je vidět, že námi naměřené hodnoty (v grafu křížky) jsou pod tabelovanými hodnotami (kolečka). Protože jsme se domnívali, že největší chybu přináší poloměr kapiláry (asi 4%), upravili jsme ho na hodnotu $r = 0,027\text{ mm}$. Ani po této úpravě (viz graf 2) se však neshodujeme s tabelovanými hodnotami, stále se pohybujeme pod nimi. Tato chyba může být způsobena tepelnou setrvačností teploměru, při měření jsme kapalinu stále zahřívali a při určitých teplotách odečítali hodnoty na manometrické trubici. Teploměr nemusel změnu teploty kapaliny zaregistrovat tak rychle a námi naměřená hodnota je tedy o něco nižší. Námi naměřené konstanty A , B , C také neodpovídají předpokladům, jejich velká odlišnost může být způsobena především malým intervalem měření. Měřili jsme v rozsahu 57 K, výška sloupce v manometrické trubici se změnila pouze o 13 mm. Hodnoty jsme odečítali vždy po 3 K, čemuž odpovídala změna sloupce v manometrické trubici nejvýše o 1 mm. Toto odečítání bylo velmi nepřesné, protože přesnost měřidla je právě pouze 1 mm. V tomto rozsahu měření se křivka blíží přímce, proto určení konstant regresí může být velmi obtížné. I malá nepřesnost se velmi výrazně promítne do hodnot parametrů.

Podle mého názoru by bylo vhodné zkusit měřit teplotu při konstantní změně výšky sloupce v manometrické trubici (1 mm). Chyby měření by sice byly stejné jako v našem případě, avšak domnívám se, že křivka získaná regresí by se více blížila křivce teoretické. Bylo by totiž snadnější určit změnu výšky sloupce o konstantní délku a pak měřit teplotu, než určovat změnu výšky sloupce při konstantní změně teploty. Přesnost měření teploty je totiž vyšší než přesnost měření výšky sloupce, což s přihlédnutím k lidskému faktoru jistě hraje roli.

V. Závěr

Experimentálně zjištěná závislost povrchového napětí destilované vody na termodynamické teplotě nám vyšla:

- ♦ $\sigma(T) = k \cdot d(T)$
- ♦ $k = 0,6610349\text{ N/m}^2$
- ♦ $d(T) = A + B \cdot T + C \cdot T^2$
- ♦ $A = 95,00335\text{ mm}$
- ♦ $B = 0,2917548\text{ mm/K}$
- ♦ $C = -8,432194 \cdot 10^{-4}\text{ mm/K}^2$

Uvedená závislost viz graf 2. Příslušné hodnoty povrchového napětí jsou uvedeny v tab. 1.

VI. Použitá literatura

Úvod do teorie fyzikálních měření, Boris Sprušil, Pavla Zieleniecová, SPN, Praha, 1986

Fyzikální praktikum I., D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý, SPN, Praha, 1989

Fyzikální a matematické tabulky, J. Brož a kol., SNTL, Praha, 1980