

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 1

Úloha č.: XIV

Název: Studium teplotní závislosti povrchového napětí

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F-16 dne 23. 3. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změřte teplotní závislost povrchového napětí destilované vody σ v rozsahu teplot od 295 do 345 K metodou bublín.
2. Meranú závislost' znázorníte graficky. Závislost' aproximujte kvadratickou funkcíou.

Teoretická časť:

Metóda bublín:

Pri vytlačovaní vzduchových bublín z kapiláry do kvapaliny pôsobí proti vytlačovaniu hydrostatická sila v hĺbke h a sila povrchového napätia na rozhraní kvapaliny a vzduchu. Povrchové napätie vytvára vnútri guľovej plochy s polomerom r kapilárny pretlak

$$\Delta p_s = \frac{2s}{r}. \quad (1)$$

Tento tlak nadobúda najväčšiu hodnotu, keď je polomer bubliny zhodný s polomerom kapiláry r_0 . Kapilárny pretlak v tomto prípade je [2]

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

Bublíny začnú vznikať a unikať z kapiláry, keď tlak vzduchu v kapiláre stúpne oproti tlaku pri povrchu kvapaliny o hodnotu [2]

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

kde h je hĺbka ponorenia kapiláry do kvapaliny, ρ je hustota kvapaliny a g je tiažové zrýchlenie. Pri vhodnom usporiadaní experimentu možno hĺbku ponorenia považovať za nulovú a príspevok hydrostatického tlaku možno zanedbať. Potom platí

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

Povrchové napätie určíme z tohto vzťahu ako

$$s = \frac{r_0 \Delta p_{\max}}{2}. \quad (5)$$

Meracie zariadenie:

Meracie zariadenie je zobrazené na obrázku 1. V banke N je umiestnená meraná kvapalina, do kvapaliny je tesne pod hladinu ponorená kapilára K , ktorá je spojená s vonkajším prostredím. Priestor nad meranou kvapalinou je spojený s priestorom nad hladinou vody v nádobe A , tzv. aspirátorom, a so skloneným ramenom mikromanometru M . Vypúšťaním vody z aspirátoru pomocou prítlačných svoriek PS sa dá znižovať tlak vzduchu v priestore nad meranou kvapalinou. Meraná kvapalina je ponorená do kadičky s vodou, ktorej teplotu môžeme zvyšovať pomocou magnetickej miešačky $MM2$. Teplotu meranej kvapaliny meriame ortuťovým teplomerom RT .

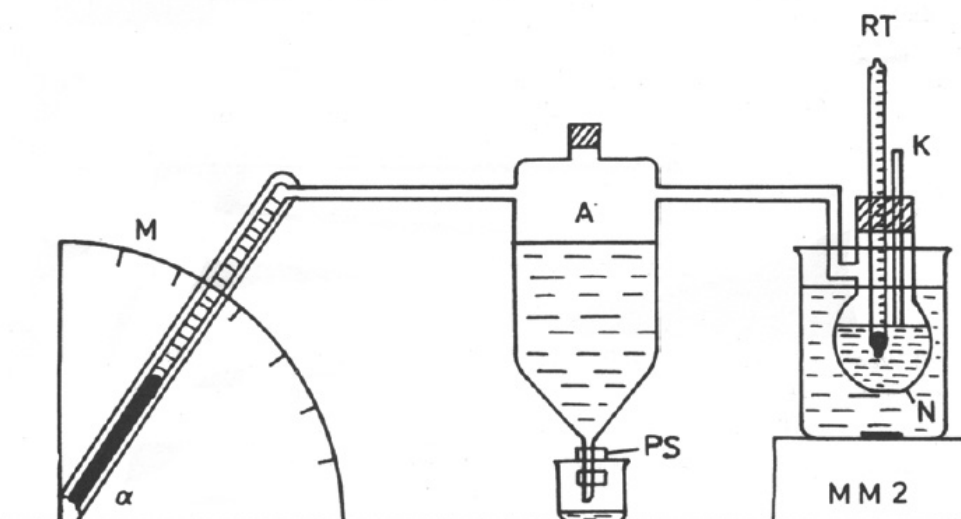
Podtlak Δp sa meria pomocou vodného stĺpca v mikromanometri. Odčítavame hodnotu výšky vodného stĺpca l_{\max} v momente oddelenia bubliny od kapiláry. Ak je rameno sklonené o uhol α , podtlak Δp_{\max} v momente oddelenia bubliny určíme ako

$$\Delta p_{\max} = r_k g l_{\max} \sin \alpha \quad (6)$$

kde ρ_k je hustota kvapaliny v manometri a g je tiažové zrýchlenie. Povrchové napätie potom z nameraných veličín určíme ako

$$s = \frac{r_0 r_k g l_{\max} \sin \alpha}{2}. \quad (7)$$

Obrázok 1: Meracie zariadenie



Aproximácia nameranej závislosti:

Povrchové napätie je podľa vzťahu (7) priamo úmerné dĺžke vodného stĺpca mikromanometra, konštanta úmernosti k je daná ako:

$$k = \frac{r_0 r_k g \sin \alpha}{2} . \quad (8)$$

Jej hodnota nezávisí od teploty meranej kvapaliny, preto môžeme napísať

$$s(T) = k l_{\max}(T) . \quad (9)$$

Nameranú závislosť $l_{\max}(T)$ budeme prekladať parabolou

$$l_{\max}(T) = A + BT + CT^2 \quad (10)$$

kde koeficienty A , B , C určíme pomocou programu Napětí. Závislosť povrchového napätia na teplote potom aproximujeme závislosťou

$$s(T) = k(A + BT + CT^2) . \quad (11)$$

Použité pomôcky a prístroje:

kvapalinový mikromanometer UMK, aspirátor, merná banka, zátka, kapilára, ortuťový teplomer, magnetická miešačka MM2, prítlačné svorky, stojan, kadička, miešadlo

merací prístroj	najmenší dielik
mikromanometer	1 mm
ortuťový teplomer	0,5 °C

Postup:

1. Nastavíme manometer do vodorovnej polohy, nulovú hodnotu manometru nastavíme na hodnotu tlaku okolitého vzduchu a sústavu vzduchotesne uzavrieme.
2. Za izbovej teploty nastavíme rýchlosť vytekania vody z aspirátoru tak, aby bubliny vznikali za približne rovnovážneho stavu, teda aby mikromanometer ukazoval pri vzniku bublín čo najvyššiu hodnotu l_{\max} .
3. Pomocou magnetickej miešačky začneme ohrievať kvapalinu. Zaznamenávame hodnotu výšky stĺpca vody v mikromanometri l_{\max} v momente oddelenia bublín od kapiláry vždy,

keď teplota kvapaliny stúpne o 2 až 3 °C. Teplotu odčítame z ortuťového teplomeru ponoreného do meranej kvapaliny. Meriame pre teploty od 22 do 72 °C.

Výsledky meraní:

Podmienky experimentu:

teplota vzduchu v miestnosti: 24 °C

tlak vzduchu v miestnosti: 992,7 kPa

teplota kvapaliny v mikromanometri: 24°C

1. Závislosť povrchového napätia na teplote:

Polomer kapiláry udávaný v [3] je $r_0 = 0,26 \pm 0,01$ mm. Podľa tabuliek [1] sme určili hustotu vody v mikromanometri pri teplote 24 °C ako $r_k = 997 \pm 1$ kg.m⁻³ a tiažové zrýchlenie ako $g = 9,81 + 0,01$ m.s⁻². Rameno mikromanometra bolo počas celého merania sklonené o uhol $\alpha = 30^\circ$. V nasledujúcej tabuľke sú namerané hodnoty dĺžky vodného stĺpca v mikromanometri l_{max} v závislosti od teploty, vypočítané hodnoty povrchového napätia a chyba určenia povrchového napätia.

Tabuľka 1: Namerané hodnoty

	t [°C]	l_{max} [mm]	$\sigma \cdot 10^3$ [N.m ⁻¹]	$\zeta_{st} \cdot 10^3$ [N.m ⁻¹]	$\zeta_{celk} \cdot 10^3$ [N.m ⁻¹]
1	22	107	68	0,1	3
2	25	105	67	0,6	3
3	28	105	67	0,0	3
4	31	104	66	0,0	3
5	33	104	66	0,4	3
6	36	103	66	0,3	3
7	39	102	65	0,2	3
8	42	101	64	0,1	3
9	45	100	64	0,0	3
10	48	99	63	0,1	3
11	51	98	62	0,2	2
12	54,5	97	62	0,2	2
13	57	96	61	0,5	2
14	60	96	61	0,0	2
15	63	95	60	0,2	2
16	66	94	60	0,3	2
17	69,5	94	60	0,2	2
18	72	94	60	0,5	2
stredná hodnota				$\overline{s}_{st} \cdot 10^3 = 0,3$	$\overline{s}_{celk} \cdot 10^3 = 3$

ζ_{st} udáva štatistickú chybu určenia povrchového napätia – rozdiel medzi povrchovým napätím vyrátaným pre danú teplotu podľa (11) a nameranou hodnotou. ζ_{celk} udáva celkovú chybu – štatistickú chybu ζ_{st} spojenú s chybou ζ_{prent} prenesenou z veličín vystupujúcich vo vzťahu (7) podľa vzťahu $s_{celk} = \sqrt{s_{prent}^2 + s_{st}^2}$.

2. Aproximácia nameranej závislosti kvadratickou funkciou:

Namerané hodnoty sme aproximovali kvadratickou funkciou (10), koeficienty A, B, C sme určili pomocou programu Napětí ako:

$$A = 292 \text{ mm}$$

$$B = -0,928 \text{ mm.K}^{-1}$$

$$C = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ mm.K}^{-2}$$

Konštanta úmernosti k zo vzťahu (8) bola určená programom ako

$$k = 0,636 \text{ N.m}^2,$$

chyba veličiny k určená prenesením chýb z veličín vo vzťahu (8) je $s_k = 0,025 \text{ N.m}^2$.

Závislosť povrchového napätia od teploty je vynesená v grafe 1 vytvorenom programom Napětí. Hodnoty povrchového napätia určené z nameraných hodnôt sú označené krížikmi, preložené sú regresnou krivkou (11) s vyššie uvedenými konštantami. Krúžkami sú označené tabuľkové hodnoty z [1]. Chybové úsečky nameraných hodnôt určujú celkovú chybu \overline{V}_{celk} .

Diskusia:

Povrchové napätie kvapaliny bolo určené s relatívnou odchýlkou $h \approx 4\%$. Z tabuľky 1 vidíme, že štatistické chyby (odchýlky od regresnej krivky) hodnôt povrchového napätia (0,5 %) sú oveľa menšie v porovnaní s prenesenými chybami (3 – 4 %). Hlavný príspevok do chyby prenesenej z chýb určenia jednotlivých veličín má odchýlka určenia polomeru kapiláry. Chyba dielčích veličín potrebných na určenie povrchového napätia má pre dané usporiadanie experimentu charakter prístrojovej chyby, preto ju nemožno eliminovať ani veľmi presným meraním.

Z grafu 1 vidíme, že niektoré namerané hodnoty povrchového napätia sa ani v rámci chyby nezhodujú s tabuľkovými hodnotami, napriek dost veľkej odchýlke nameraných hodnôt. Tvar regresnej krivky sa však celkom dobre zhoduje s teoretickou závislosťou. Z toho môžeme usúdiť, že meranie bolo zaťažené systematickou chybou.

Celkové posunutie krivky nameranej závislosti oproti tabuľkovým hodnotám sa dá vysvetliť nepresným určením polomeru kapiláry, a teda polomeru bubliny. Keby sme uvažovali polomer kapiláry ako 0,27 mm, čo je v rámci chyby, posunula by sa celá krivka nahor a odchýlky od tabuľkových hodnôt by boli menšie, celkový charakter závislosti sa však nezmení (graf 2). Namerané hodnoty sú však stále všetky menšie ako tabuľkové, z toho usudzujeme, že na nepresnosti merania sa podieľajú ešte ďalšie faktory.

Predpoklad pre platnosť vzťahu (3) bola rovnovážnosť stavu pri ktorom sa bubliny uvoľňujú, ktorá však nemusí byť splnená. Napríklad ak voda z aspirátora vyteká príliš rýchlo, bubliny sa tvoria za nerovnovážneho stavu a polomer bubliny, pri ktorom je kapilárny tlak maximálny, nemusí byť zhodný s polomerom kapiláry. Naopak, ak voda vyteká príliš pomaly, na oddelenie bubliny od kapiláry majú vplyv rôzne fluktuácie (napr. zmena teploty kvapaliny). Hoci sme sa týmto chybám snažili vyhnúť vhodným nastavením rýchlosti vytekania kvapaliny, nedá sa tento vplyv zanedbať.

Podobne pri ohrievaní kvapaliny sa nedá hovoriť o rovnovážnom stave, môžeme len predpokladať, že daný stav sa k rovnovážnemu blíži. Taktiež vplyvom teplotnej zotrvačnosti teplotera mohla byť skutočná hodnota teploty kvapaliny o niečo vyššia ako nameraná hodnota.

Ďalším faktorom, ktorý sa mohol prejaviť na polohe, ale i tvare krivky, je čistota meranej kvapaliny. Namerané hodnoty sme porovnávali s hodnotami pre destilovanú vodu, ale

vzhľadom k tomu, že experiment sa v praktiku opakuje dlhší čas, nie je záruka, že meraná kvapalina je skutočne čistá.

Väčšia presnosť merania by sa dala dosiahnuť hlavne spresnením hodnoty priemeru kapiláry, systematické chyby by sme mohli čiastočne eliminovať pomalším ohrievaním kvapaliny a lepším nastavením rýchlosti vytekania vody z aspirátoru. Takisto by možno pomohlo vyčistenie a lepšie utesnenie sústavy. Za zváženie stojí aj použitie kapiláry s iným priemerom.

Záver:

Metódou bublín sme zmerali závislosť povrchového napätia destilovanej vody na teplote. Nameranú závislosť sme aproximovali kvadratickou funkciou podľa (10). Namerané hodnoty aj s chybami, preložené krivkou, sú uvedené v grafe 1. Meranie bolo zaťažené systematickou a štatistickou chybou. Hodnoty určené experimentálne sa nezhodujú s tabuľkovými hodnotami, čo je spôsobené pravdepodobne nepresným určením polomeru kapiláry r_0 , nerovnovážnosťou stavu, pri ktorom sa uvoľňovali bubliny, a možným znečistením meranej kvapaliny.

Literatúra:

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

[2] D. Slavínská prom.fyz., CSc., I. Stulíková , CSc., P. Vostrý, CSc.: Fyzikální praktikum I., SPN Praha 1989

[3] Studijní text k Fyzikálnímu praktiku I., úloha XIV, http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_114.pdf