

Měření povrchového napětí kapalin

Úkol č. 1: Změřte povrchové napětí lihu kapkovou metodou.

Pomůcky

Skleněná kapilára, skleněná nálevka, pryžová hadička, stojan s držákem, malá kádinka nebo Petriho miska, laboratorní váhy se sadou závaží, filtrační papír, destilovaná voda, denaturovaný líh, teploměr.

Teorie

V povrchové vrstvě kapaliny vzniká účinkem kohezních sil mezi molekulami kapaliny povrchové napětí. Na délkový element dl povrchu kapaliny působí v tečné rovině síla dF , kolmá k elementu dl . Povrchové napětí σ je definováno vztahem

$$\sigma = \frac{dF}{dl}, \quad (1)$$

jeho jednotkou je tedy $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$. Velikost povrchového napětí výrazně závisí na teplotě, s rostoucí teplotou klesá k nule při tzv. kritické teplotě.

Kapka kapaliny, vytékající z kapiláry, se odtrhne v okamžiku, kdy tíha kapky je rovna síle působící vlivem povrchového napětí na obvodu kapky. Označíme-li R vnější průměr kapiláry a m hmotnost kapky v okamžiku odtržení, platí tedy

$$mg = 2\pi R\sigma, \quad (2)$$

kde g je tíhové zrychlení. Přesné stanovení povrchového napětí podle vztahu (2) však není možné. Ukazuje se totiž, že v okamžiku odtržení odkápne pouze asi $\frac{2}{3}$ objemu kapky a zbytek kapaliny zůstane na konci kapiláry. Kromě toho se kapka před odtržením zúží, takže její poloměr je menší než R .

Kapkovou metodu sice nelze z výše uvedených důvodů použít jako absolutní metodu měření povrchového napětí, s dostatečnou přesností ji však lze použít jako metodu srovnávací. Pracujeme-li totiž se stejnou kapilárou, je poloměr zúžené kapky r u všech kapalin smáčejších kapiláru přibližně stejný. Označíme-li povrchové napětí dvou různých kapalin σ_1 a σ_2 a hmotnosti jedné kapky každé z kapalin m_1 a m_2 , dostaneme ze vztahu (2) po zohlednění zúžení kapek na poloměr r výrazy $m_1g = 2\pi r\sigma_1$ a $m_2g = 2\pi r\sigma_2$, jejichž dělením obdržíme

$$\sigma_1 = \frac{m_1}{m_2} \sigma_2. \quad (3)$$

Je-li druhou kapalinou destilovaná voda, popřípadě jiná kapalina, jejíž povrchové napětí σ_2 známe (tuto kapalinu označujeme jako srovnávací), můžeme povrchové napětí měřené kapaliny σ_1 ze vztahu (3) snadno vypočítat.

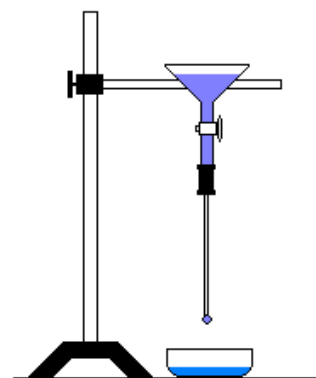
Z praktických důvodů při měření nezjišťujeme hmotnost jedné, ale padesáti až sto kapek. Označíme-li obecně hmotnost k kapek měřené kapaliny M_1 a hmotnost stejného počtu kapek (odtržených od téže kapiláry při téže teplotě obou kapalin) srovnávací kapaliny M_2 , je

$m_1 = \frac{M_1}{k}$ a $m_2 = \frac{M_2}{k}$, takže ze vztahu (3) dostaneme

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{M_2} \sigma_2 \quad (4)$$

Postup měření

1. Sestavíme aparaturu pro odkapávání kapaliny dle obrázku 1.
2. Zvážíme prázdnou suchou Petriho misku nebo malou kádinku (m_0). Není nutné používat metody tří kyvů.
3. Do misky necháme ze zabroušené kapiláry odkapat k kapek zkoumané kapaliny. Misku s kapalinou zvážíme (M'_1).
4. Určíme hmotnost k kapek kapaliny ($M_1 = M'_1 - m_0$).
5. Tento postup provedeme celkem pětkrát (pro stejný počet kapek, např. $k = 50, 100, \dots$). Po každém odkapání znovu zvážíme (M'_1). Získané údaje zapisujeme do předem připravené tabulky (Tabulka 1). Do druhého sloupce tabulky zapíšeme při prvním měření ($n = 1$) hmotnost prázdné misky, v dalších řádcích pak vždy hmotnost M'_1 z předchozího řádku.
6. Po ukončení měření se zkoumanou kapalinou vypláchneme kapiláru destilovanou vodou a celý dosavadní postup zopakujeme pro tuto srovnávací kapalinu o známém povrchovém napětí σ_2 (pro danou teplotu destilované vody nalezneme v tabulkách) pro tentýž počet kapek. Vážením po každém odkapání určíme hmotnost M'_2 , k kapek destilované vody má tedy hmotnost $M_2 = M'_2 - m_0$.
7. Získané hodnoty $\overline{M_1}$, $\overline{M_2}$, σ_2 dosadíme do vztahu (4).



Obrázek 1: Aparatura pro odkapávání kapaliny.

Tabulka 1: Zpracování měření hmotnosti kapek.

n	m_0 (g)	M'_1 (g)	$M_1 = M'_1 - m_0$ (g)	Δ (g)	Δ^2 (g ²)
1					
2					
3					
4					
5					
			$\overline{M_1} =$	$\sum \Delta =$	$\sum \Delta^2 =$

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (2) vyplývá, že nepřímo měřené povrchové napětí je funkcí dvou přímo měřených veličin: $\sigma_1 = \sigma_1(M_1, M_2)$. (σ_2 je tabelovaná hodnota, budeme ji považovat za konstantu). Chybu měření proto udává vztah

$$\bar{\Delta}\sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma_1}{\partial M_1}\right)^2 |\bar{\Delta}M_1|^2 + \left(\frac{\partial\sigma_1}{\partial M_2}\right)^2 |\bar{\Delta}M_2|^2}. \quad (5)$$

Po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\sigma_1}{\partial M_1} = \frac{\sigma_2}{M_2} \text{ a } \frac{\partial\sigma_1}{\partial M_2} = -\frac{M_1}{M_2^2}\sigma_2$$

do (5), následnými úpravami a s využitím vztahu (4) dostáváme

$$\boxed{\bar{\Delta}\sigma_1 = \bar{\sigma}_1 \sqrt{\left(\frac{|\bar{\Delta}M_1|}{M_1}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta}M_2|}{M_2}\right)^2}}. \quad (6)$$

Chyby měření hmotností $\bar{\Delta}M_1$ a $\bar{\Delta}M_2$ vypočítáme při zpracování výsledků přímého měření podle Tabulky 1.

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 5.3.1 Měření povrchového napětí kapkovou metodou, s. 93-96.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 2. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.4.4.3 Metoda kapková, s. 153.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.9 Povrchové napětí, s. 116-120.

Úkol č. 2: Změřte povrchové napětí lihu z kapilární elevace.

Pomůcky

Kapilára, jehla, mikrometrické měřidlo, hustoměr, měřidlo na zrcátku, gumička, kádinka.

Teorie

Smáčí-li zkoumaná kapalina stěny skleněné kapiláry, pak při jejím ponoření do této kapaliny vystoupí v kapiláře hladina do výšky h nad hladinu kapaliny v nádobě. Rovnováha nastane, jestliže síla, působící v důsledku povrchového napětí, je eliminována tíhou sloupce kapaliny v kapiláře. Je-li r vnitřní poloměr kapiláry, je podmínka rovnováhy dána vztahem

$$2\pi r\sigma \cos v = \pi r^2 h \rho g, \quad (7)$$

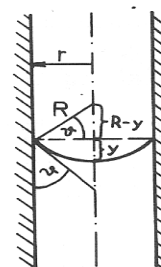
kde ρ je hustota zkoumané kapaliny, σ její povrchové napětí, v úhel smáčivosti (obrázek 1) a g tíhové zrychlení.

Pro kapaliny smáčeující stěny kapiláry je úhel v velmi malý, pro praktická měření proto můžeme položit $\cos v = 1$ a ze vztahu (7) vyjádřit σ jako

$$\sigma = \frac{1}{2} h \rho g r. \quad (8)$$

Má-li být měření přesnější, nebo nesmáčí-li kapalina stěny nádoby dokonale, nelze zjednodušeného tvaru (8) použít. V takovém případě určíme $\cos v$ tak, že změříme hloubku kulového vrchlíku y , tvořeného hladinou kapaliny v kapiláře. Z Obrázku 1 je zřejmé, že

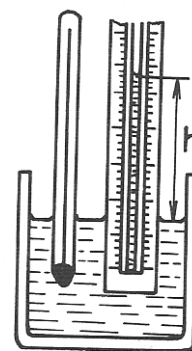
$\cos v = \frac{2ry}{y^2 + r^2}$. Pro naše měření si však vystačíme se vztahem (8).



Obrázek 1: Smáčení stěn kapiláry zkoumanou kapalinou.

Postup měření

1. Zapišeme si údaj o vnitřním průměru kapiláry ($2r$) udávaný jejím výrobcem. Není-li tento údaj k dispozici, změříme průměr kapiláry následujícím způsobem. Do kapiláry velmi opatrně zasuneme jehlu a označíme na ní místo, kam až ji bylo možné zasunout. Na tomto místě změříme průměr jehly mikrometrickým měřidlem. Měření provedeme několikrát a ze získaných hodnot určíme aritmetický průměr \bar{r} vnitřního průměru kapiláry.
2. Hustoměrem změříme hustotu ρ zkoumané kapaliny.



3. Zkoumanou kapalinu nalijeme do širší kádinky, kapiláru připevníme gumičkou k zrcátkovému měřítku a spolu s ním ji ponoříme do zkoumané kapaliny.
4. Desetkrát odečteme výšku hladiny v kapiláře nad hladinou v kádince (Obrázek 2). Před každým odečtením vždy kapiláru s měřítkem vytáhneme a opět ponoříme. Odečítáme polohu h_0 hladiny v kádince a polohu h_1 hladiny v kapiláře. Výsledky zapisujeme do předem připravené tabulky (Tabulka 2).
5. Získané hodnoty \bar{h} , ρ a r (resp. \bar{r}) dosadíme do vztahu (8) a vypočítáme $\bar{\sigma} = \frac{1}{2} \bar{h} \rho g \bar{r}$.

Obrázek 2: Měření povrchového napětí z kapilární elevace.

Tabulka 2

n	h_0 (mm)	h_1 (mm)	$h = h_1 - h_0$ (mm)	Δ (mm)	Δ^2 (mm ²)
1					
.					
.					
.					
10					

$$\bar{h} = \quad \quad \quad \sum \Delta = \quad \quad \quad \sum \Delta^2 =$$

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (8) vyplývá, že nepřímo měřené povrchové napětí je funkcí tří přímo měřených veličin: $\sigma = \sigma(h, \rho, r)$. Chybu měření udává vztah

$$\bar{\Delta\sigma} = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma}{\partial h}\right)^2 |\bar{\Delta h}|^2 + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial\rho}\right)^2 |\bar{\Delta\rho}|^2 + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial r}\right)^2 |\bar{\Delta r}|^2}. \quad (9)$$

Po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\sigma}{\partial h} = \frac{1}{2} \rho g r, \quad \frac{\partial\sigma}{\partial\rho} = \frac{1}{2} h g r \quad \text{a} \quad \frac{\partial\sigma}{\partial r} = \frac{1}{2} h \rho g$$

do (9), následnými úpravami a s využitím vztahu (8) postupně dostáváme

$$\bar{\Delta\sigma} = \bar{\sigma} \sqrt{\left(\frac{|\bar{\Delta h}|}{\bar{h}}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta\rho}|}{\bar{\rho}}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta r}|}{\bar{r}}\right)^2}. \quad (10)$$

Střední chybu výšky hladiny v kapiláře nad hladinou v nádobě $\bar{\Delta h}$ vypočítáme při zpracování výsledků měření podle Tabulky 2, střední chybu hustoty $\bar{\Delta\rho}$ určíme podle

použitého hustoměru (polovina nejmenšího dílku stupnice) a střední chybu vnitřního poloměru kapiláry $\bar{\Delta r}$ podle údajů výrobce, popřípadě ze zpracování měření průměru pomocí zasouvání jehly do kapiláry.

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 5.3.2 Měření povrchového napětí kapalin z kapilární elevace, s. 96-99.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 2. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.4.4.2 Metoda kapilárního vzestupu, s. 152-153.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.9 Povrchové napětí, s. 116-120.