

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracovala: Šárka Divácká

Naměřeno: 3. 5. 2022

Skupina: Út 8:00

Úloha č.3: Měření viskozity, hustoty a povrchového napětí kapalin

Laboratorní podmínky:

- Teplota 22,0 °C
- Tlak 986,2 hPa
- Vlhkost 37,4%

1. Úvod

1.1. Viskozita

V první části úlohy budu určovat viskozitu. Viskozita je mírou toho, jak se reálná tekutina brání tečení. Je to způsobeno vnitřním třením mezi jednotlivými vrstvami tekutiny. Můžeme určit dynamickou viskozitu η , definovanou vztahem

$$\tau = \eta \frac{dv_x}{dy}$$

kde τ je smykové napětí mezi vrstvami kapaliny a $\frac{dv_x}{dy}$ je derivace rychlosti proudění kapaliny ve směru normály k rovině smykového napětí. Dále můžeme určit kinematickou viskozitu ν definovanou jako

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

kde η je dynamická viskozita a ρ je hustota kapaliny.

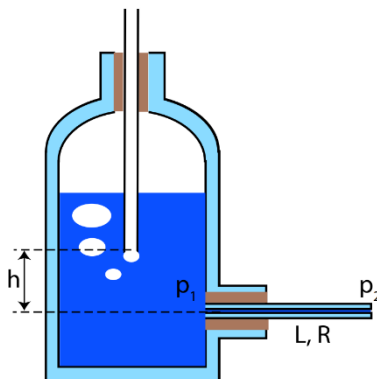
Viskozitu mohu měřit pomocí Mariottovy láhve (obr. 1). Svou konstrukcí tato láhev zajišťuje konstantní tlakový rozdíl mezi konci trubice. Dynamickou viskozitu lze poté spočítat jako

$$\eta = \frac{\pi R^4 p t}{8 V L}$$

kde R je poloměr trubice, L je délka trubice, p je tlakový rozdíl mezi konci trubice, V je objem kapaliny, který odečte z láhve za čas t a p je tlak, který určíme jako rozdíl tlaků na jednom konci trubice p_1 (atmosférický + hydrostatický) a druhém konci trubice p_2 (atmosférický).

$$p = p_1 - p_2 = h \rho g$$

kde h je rozdíl výšek mezi dolním okrajem trubice a kapilárou.

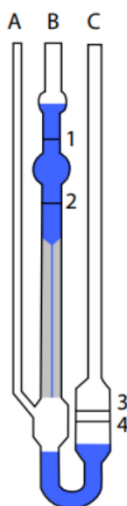


Obrázek 1: Mariottova láhev

Dále můžeme pro měření viskozity použít Ubbelohdeho viskozimetr (obr. 2). To je skleněný kapilární viskozimetr, sloužící k měření kinematické viskozity Newtonových kapalin. Kinematickou viskozitu stanovíme za pomoci vztahu

$$\nu = Kt$$

kde K je časová konstanta viskozimetru a t je doba za kterou v trubici B hladina klesne z rysky 1 na rysku 2.



Obrázek 2: Ubbelohdeho viskozimetr

1.2. Hustota

Dále budu v této úloze určovat hustotu. Ta je definována jako podíl hmotnosti m a objemu V.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Hustotu mohu také určit metodou ponorného tělíska, která je založena na srovnání vztlakové síly, která působí na ponořené těleso nejprve v kapalině o známé hustotě a poté v kapalině o neznámé hustotě. Neznámou hustotu ρ lze poté získat jako

$$\rho = \frac{m}{m_{známé}} \rho_{známé}$$

Další metodou měření hustoty je pyknometrická metoda. Pyknometr je skleněná nádoba se zabroušeným uzávěrem. V uzávěru je tenká kapilára, kterou může unikat při zavírání pyknometru přebytečné množství kapaliny. Určení hustoty neznámé kapaliny spočívá v porovnání hmotnosti této kapaliny s hmotností stejného objemu kapaliny o známé hustotě. Výpočet hustoty provedu podle vztahu

$$\rho_1 = (\rho_2 - \rho_v) \frac{m_1 - m}{m_2 - m} + \rho_v$$

kde ρ_2 je hustota známé kapaliny, m_1 je hmotnost pyknometru s kapalinou o neznámé hustotě, m_2 je hmotnost pyknometru s kapalinou o známé hustotě, m je hmotnost pyknometru a ρ_v je hustota vzduchu.

1.3. Povrchové napětí

Poté budu určovat také povrchové napětí. Povrchové napětí je definováno jako síla působící v rovině povrchu kapaliny kolmo na libovolnou délkovou jednotku v povrchu kapaliny, vztažené na tuto délku.

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Toto napětí mohu měřit du Noüyho metodu. Tato metoda je zaměřena na vnoření vhodného objektu (v mém případě kroužku) do studované kapaliny, stanovení smáčeného obvodu objektu a na měření přidané síly působící na objekt vlivem jeho kontaktu s kapalinou. U du Noüyho metody vyhodnocuji maximální sílu působící na kroužek. Povrchové napětí pak mohu vypočítat jako

$$\sigma = \frac{F_{max}}{4\pi R} f$$

kde F_{max} je maximální síla působící na kroužek. $2\pi R$ značí jeho obvod a f je Harkins-Jordanův korekční faktor, v mém případě $f = 0,77$.

Další metodou je metoda kontaktního úhlu. Při této metodě je na vodorovný očištěný vzorek pevné látky o vhodné povrchové energii nanесena jedna nebo více kapek testovacích kapalin a je měřen kontaktní úhel, který svírá tečna k profilu kapky v místě styku všech tří fází (pevná látka, kapalina a její pára) s rovinou povrchu pevné látky. V rovnováze, která se ustaví do několika sekund od nakápnutí, platí Youngova rovnice

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cos\theta$$

kde σ_s a σ_l jsou volné povrchové mezifázové energie kapaliny a pevné látky vůči páře kapaliny a σ_{sl} mezifázová energie rozhraní kapaliny a pevné látky a θ je rovnovážný kontaktní úhel.

2. Naměřené hodnoty a jejich zpracování

2.1. Teplotní závislost viskozity vody

Pomocí Ubbelohdeho viskozimetru budu určovat teplotní závislost viskozity vody. Nejprve naplním vodu přes trubici C, tak aby hladina vody byla mezi ryskami 3 a 4 (viz obr. 2). Na trubici B nasadíme hadičku s injekční stříkačkou, následně zacpu otvor trubice A pomocí stříkačky vytvořím v trubici B podtlak. Počkám, než hladina vody vysoupá nad rysku 1, poté změřím čas, kdy hladina vody klesne z rysky 1 a na rysku 2.

Pro výpočet kinematické viskozity vyjdu ze vztahu

$$\nu = Kt$$

kde hodnota K a její relativní nejistota je

$$K = 1,063 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2 \text{ s}^{-2}$$

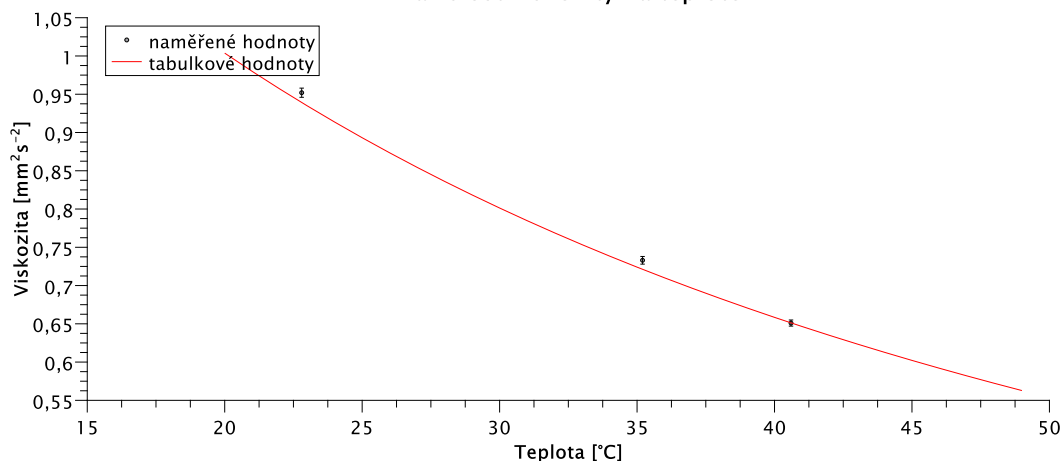
$$r(K) = 0,0065$$

Toto měření provedu pro tři různé teploty. Čas budu měřit stopkami. Naměřené hodnoty a viskozita jsou

Teplota [°C]	Čas [s]	Viskozita [mm ² s ⁻¹] (p = 95%)
40,6	612,53	0,651 ± 0,004
35,2	690,34	0,733 ± 0,005
22,8	895,31	0,952 ± 0,006

Teplotní závislost viskozity vody pomocí Ubbelohdeho viskozimetru je tedy:

Závislost viskozity na teplotě



2.2. Viskozita vody určená pomocí Mariottovy láhve

Viskozitu vody pomocí Mariottovy láhve budu určovat ze vztahu

$$\eta = \frac{\pi R^4 h \rho g t}{8 V L}$$

kde $V = \frac{m}{\rho}$.

Hmotnost m získám jako rozdíl hmotnosti m_2 kádinky s vodou, která vyteče za určitou dobu a hmotnosti m_1 prázdné kádinky. Hodnoty R a L jsou uvedeny na lahvi. Hodnotu h změřím

katetometrem a hmotnost kádinky určím pomocí digitálních vah (tyto měření stačí provést jen jednou – nejistotu typu A tedy nebudu uvažovat).

Všechny hodnoty jsou tedy

$$R = (0,570 \pm 0,001) \text{ mm}$$

$$h_1 = (10,40 \pm 0,02) \text{ cm}$$

$$h_2 = (0,22 \pm 0,02) \text{ cm}$$

$$h = (10,18 \pm 0,03) \text{ cm}$$

$$\rho = 997,66 \text{ kg m}^{-3}$$

$$g = 9,809980 \text{ m s}^{-2}$$

$$t = (60,7 \pm 0,5) \text{ s}$$

$$m_1 = (22,175 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m_2 = (40,150 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m = (17,975 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$L = (165,0 \pm 0,5) \text{ mm}$$

Nyní již mohu určit viskozitu η a její nejistotu z pravidel pro počítání s nejistotami:

$$\eta = (0,843 \pm 0,008) \text{ mPa s } (p = 99,73\%)$$

2.3. Hustota lihu určená pyknometrem

Nejprve zvážím prázdný pyknometr, následně pyknometr naplněný lihem a nakonec destilovanou vodou. Budu vážit na digitálních váhách a toto měření provedu pouze jednou a tudíž budu uvažovat jen nejistotu typu B. Hledanou hustotu lihu poté určím ze vztahu

$$\rho_1 = (\rho_2 - \rho_v) \frac{m_1 - m}{m_2 - m} + \rho_v$$

$$\rho_v = 1,157 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_2 = 997,66 \text{ kg m}^{-3}$$

$$m = (17,726 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m_1 = (37,968 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m_2 = (43,336 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m_1 - m = (20,242 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$m_2 - m = (25,610 \pm 0,001) \text{ g}$$

$$\rho_1 = 788,7857 \text{ kg m}^{-3}$$

$$r(\rho_1) = 6,297 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho_1 = (788,79 \pm 0,05) \text{ kg m}^{-3} (p = 99,73\%)$$

2.4. Hustota lihu určená metodou ponorného tělíska

Ponorné tělísko zavěším na závěs pod vahami a váhy vytáruji. Pro co nejpřesnější měření použiji program Tensionmeter. Poté tělísko ponořím nejprve do lihu a poté do destilované vody a z vah v obou případech odečtu hmotnost. Toto měření opět provedu jen jednou a budu uvažovat pouze nejistotu typu B. Hustotu lihu poté určím ze vztahu

$$\rho = \frac{m}{m_{známé}} \rho_{známé}$$

$$m = (38,2 \pm 0,1) \text{ mN}$$

$$m_{známé} = (48,0 \pm 0,1) \text{ mN}$$

$$\rho_{známé} = 997,66 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho = 793,97 \text{ kg m}^{-3}$$

$$r(\rho) = 3,3456 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho = (794 \pm 3) \text{ kg m}^{-3} \quad (p = 99,73\%)$$

2.5. Povrchové napětí měřené du Noüyho metodou

V této části úlohy použijí stejný program a váhy jako v předchozí úloze. Závěsný kroužek zavěsím na váhy a pro kroužek ve vzduchu je vytáruji. V programu spustím měření, kroužek pomalu spustím do kapaliny a po úplném ponoření kroužek plynule vytáhnu. Po odtržení kroužku od hladiny měření zastavím a odečtu maximální sílu, kterou kapalina působila na kroužek. Toto měření provedu pro vodu a líh. Opakovat ho budu vždy 10×. Povrchové napětí určím ze vztahu

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{2\pi D} f$$

$$D = (58,0 \pm 0,1) \text{ mm}$$

$$f = 0,77$$

	Láh	Voda
	$F_{\max} [\text{mN}]$	
1	12,08	34,83
2	12,06	35,34
3	12,20	34,99
4	12,21	35,26
5	12,21	35,37
6	12,21	35,22
7	12,21	35,32
8	12,09	35,46
9	12,23	34,87
10	12,05	34,72

$$F_{\max, \text{lih}} = (12,16 \pm 0,02) \text{ mN}$$

$$F_{\max, \text{voda}} = (35,14 \pm 0,08) \text{ mN}$$

$$\sigma_{\text{lih}} = (25,69 \pm 0,06) \text{ mN m}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{voda}} = (74,3 \pm 0,2) \text{ mN m}^{-1}$$

2.6. Určení disperzní složky povrchové energie metodou kontaktního úhlu

Na teflonovou plochu nanesu kapky methylen jodidu a vody. Tyto kapky si zvětším a změřím jejich kontaktní úhel. Pro obě tekutiny toto měření provedu 5×. Vyjdou mi hodnoty úhlů

$$\theta_{\text{H}_2\text{O}} = (107 \pm 3)^\circ$$

$$\theta_{\text{methylen jodid}} = (69 \pm 2)^\circ$$

Disperzní složku povrchové energie vody pak spočítám ze vztahu

$$\frac{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{lw}}}{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}}{\sigma_{\text{methylen jodid}}} \left(\frac{1 + \cos \theta_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + \cos \theta_{\text{methylen jodid}}} \right)^2$$

$$\sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 72,8 \text{ mN m}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{methylen jodid}} = 50,8 \text{ mN m}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{lw}} = 28,31 \text{ mN m}^{-1}$$

3. Závěr

Z grafu závislosti kinematické viskozity můžu vidět, že se zvyšující se teplotou viskozita vody klesá. Pro určení přesné závislosti mám však příliš málo dat, nicméně i z tohoto měření vidím, že závislost není lineární.

Dynamická viskozita vody mi vyšla $\eta = (0,843 \pm 0,008) \text{ mPa s}$. Tabulková hodnota je $\eta = 0,956 \text{ mPa s}$. Toto měření tedy nebylo příliš úspěšné. Může to být způsobeno špatným měřením katetometrem, špatně změřeným časem apod.

Pyknometrickou metodou jsem určila hustotu lihu jako $\rho_1 = (788,79 \pm 0,05) \text{ kg m}^{-3}$ a metodou ponorného tělíska jako $\rho = (794 \pm 3) \text{ kg m}^{-3}$. Tabulková hodnota je $\rho = 789 \text{ kg m}^{-3}$. Měření pyknometrem bylo tedy přesnější než metodou ponorného tělíska.

Dále jsem určovala povrchové napětí lihu a vody. Pro líh mi vyšlo $\sigma_{lih} = (25,69 \pm 0,06) \text{ mN m}^{-1}$, přičemž tabulková hodnota je $\sigma = 22,55 \text{ mN m}^{-1}$. Tato hodnota mi teda vyšla vyšší, což může být způsobeno např. neopatrným vytahováním kroužku. Pro vodu mi vyšlo $\sigma_{voda} = (74,3 \pm 0,2) \text{ mN m}^{-1}$, přičemž tabulková hodnota je $\sigma = 72,75 \text{ mN m}^{-1}$. Tato hodnota mi vyšla opět vyšší, což může mít stejnou příčinu jako měření pro líh.

Naposledy jsem určovala disperzní složku povrchové energie vody. Vyšlo mi $\sigma_{H_2O}^{lw} = 28,31 \text{ mN m}^{-1}$, přičemž tabulková hodnota je $21,8 \text{ mN m}^{-1}$. Rozdíl těchto hodnot je způsoben nepřesností měření kontaktních úhlů.