

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Artem Gorodilov

Naměřeno: 10. března 2023

Obor: Astrofyzika

Skupina: Pá 10:00

Testováno: uznáno

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

$$T = 19,7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 989\text{ hPa}$$

$$\varphi = 32,5\text{ \%}$$

1. Zadání

Viskozita kapaliny se měří pomocí Mariottovy láhve a Ubbelohdeho viskozimetru. Hustota kapaliny se měří metodou ponorné váhy a pyknometrickou metodou. Povrchové napětí kapaliny pomocí odtrhávání kroužku a analýzy úhlu kapek kapaliny.

2. Teorie

2.1. Viskozita

Viskozita je mírou odporu kapaliny proti proudění. Je to vlastnost kapaliny, která určuje velikost síly potřebné k jejímu pohybu. Čím vyšší je viskozita, tím větší síla je zapotřebí k pohybu kapaliny. Viskozita kapaliny závisí na její teplotě.

Viskozitu kapaliny lze měřit pomocí Marriottovy láhve.

Dynamickou viskozitu lze vypočítat podle vzorce:

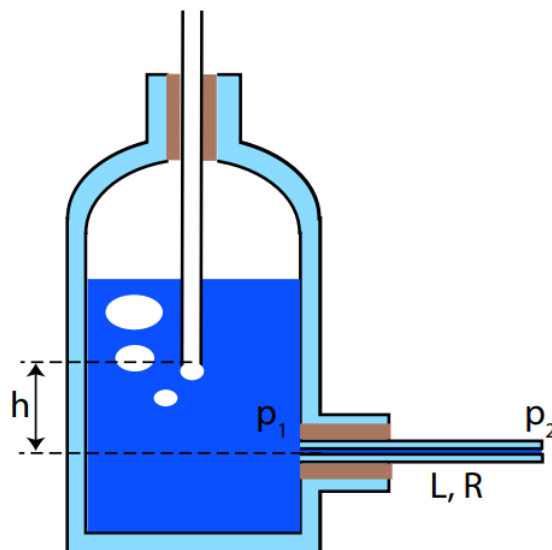
$$\eta = \frac{\pi R^4 p t}{8 V L} \quad (1)$$

kde R je poloměr trubice, L je délka trubice, V je objem kapaliny vytékající z láhve za čas t , p je rozdíl tlaků mezi konci trubice.

Tlak p lze určit podle vzorce:

$$p = p_1 - p_2 = \rho g h \quad (2)$$

kde p_1 je atmosférický a hydrostatický tlak, p_2 je atmosférický, h je vzdálenost mezi trubicí a kapilárou, a ρ je hustota kapaliny (viz obrázek 1)



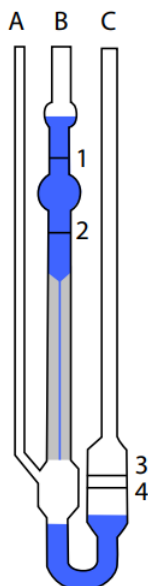
Obrázek 1: Mariottova láhev s kapilárou pro absolutní měření viskozity

K měření viskozity kapaliny lze použít také Ubbelodeho viskozimetr. Ubbelodeho viskozimetr se používá ke stanovení kinematické viskozity průhledných newtonovských kapalin.

Kinematickou viskozitu lze určit podle vzorce:

$$\nu = Kt \quad (3)$$

kde K je časová konstanta viskozimetru a t je doba změny hladiny trubice z hladiny 1 na hladinu 2 (viz obrázek 2).



Obrázek 2: Ubbelohdeho kapilární viskozimetr

2.2. Hustota

K měření hustoty můžete použít různé varianty tohoto vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Pro metodu ponořeného tělesa by tento vzorec pro určení hustoty neznámé byl následující

$$\rho = \frac{m}{m_i} \rho_i \quad (5)$$

kde m je hmotnost neznámé kapaliny, m_i je hmotnost známé kapaliny a ρ_i je hustota známé kapaliny.

Lze použít i pyknometrickou metodu.

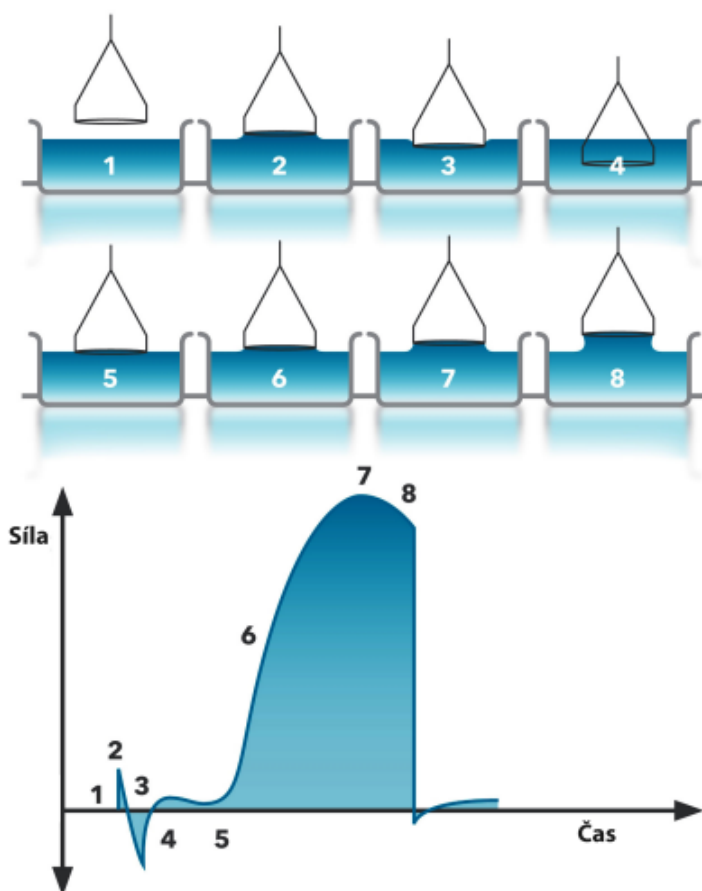
Standardní pyknometr je malá skleněná nádobka s hrdlem a uzávěrem. Na horní straně přístroje je kapilára, kterou vyteče přebytečná voda. Pyknometr lze použít ke stanovení hustoty různých látek, včetně kapalin.

Hustota kapalin se určuje měřením poměru hmotnosti určitého objemu látky k hmotnosti destilované vody odebrané ve stejném objemu. Teplota látky musí být stejná jako teplota vody.

Hustotu z této metody lze vypočítat podle vzorce:

$$\rho = (\rho_i - \rho_v) \frac{m - m_0}{m_i - m_0} + \rho_v \quad (6)$$

kde ρ_i je hustota známé kapaliny, ρ_v je hustota vzduchu, m je hmotnost pyknometru s kapalinou neznámé hustoty, m_i je hmotnost pyknometru s kapalinou známé hustoty, a m_0 je hmotnost pyknometru.



Obrázek 3: Závislost síly působící na kroužek při jeho ponoru a vytahování

2.3. Povrchové napětí

Povrchové napětí je termodynamická charakteristika rozhraní mezi dvěma fázemi v rovnováze, která je určena prací vratné izotermokinetické tvorby jednotkové plochy tohoto rozhraní za předpokladu, že teplota, objem systému a chemické potenciály všech složek v obou fázích zůstávají konstantní.

Povrchové napětí se určuje podle vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (7)$$

kde F je síla působící na těleso ze strany vody a l je délka styčné plochy.

Povrchové napětí lze stanovit pomocí du Noüyho metody.

Jedná se o klasickou metodu stanovení povrchového/mezifázového napětí, která je založena na měření maximální síly F , kterou se odtrhne kroužek o známé geometrii smáčecí délka, l z dobře smáčivého materiálu (úhel smáčení = 0°). Při zvedání kroužku má kapalina tendenci z kroužku vytékat, což vede k postupnému ztenčování vrstvy kapaliny a odtržení kroužku.

Povrchové napětí se pak vypočítá podle vzorce:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{4\pi R} f \quad (8)$$

kde F je maximální síla působící na kroužek, $2\pi R$ je délka kontaktní plochy a f je Harkins-Jordanův koeficient.

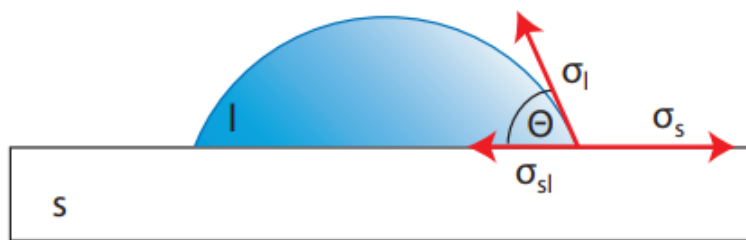
Povrchové napětí lze také stanovit pomocí metody kontaktního úhlu.

Při metodě kontaktního úhlu se kapalina se známým povrchovým napětím umístí na pevný povrch pomocí injekční stříkačky. Průměr kapky musí být mezi 2 a 5 mm; tím je zajištěno, že okrajový úhel není ovlivněn průměrem. V případě velmi malých kapek bude povrchové napětí samotné kapaliny velké (vytvoří se kulovité kapky) a v případě velkých kapek začnou převládat gravitační síly.

V tomto případě by Youngova rovnice vypadala takto:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cos \theta \quad (9)$$

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



Obrázek 4: Youngova rovnováha na rozhraní tří fází u přisedlé kapky

3. Měření

3.1. Viskozita

Pro určení viskozity pomocí metody Marriottovy láhve použijte vzorec:

$$\eta = \frac{\pi R^4 \rho^2 g (h_2 - h_1) t}{8(m - m_0)L} \quad (10)$$

kde m je hmotnost nádoby naplněné kapalinou, m_0 je hmotnost prázdné nádoby, h_1 je výška trubice a h_2 výška kapiláry.

Údaje z měření:

R [mm]	0.570(1)
L [mm]	165.0(5)
m_0 [g]	22.230(1)
m [g]	72.470(1)
h_1 [cm]	5.00(2)
h_2 [cm]	15.90(2)
t [s]	170.0(5)
T_1 [°C]	19.0(1)
T_2 [°C]	20.0(1)

Tabulkové údaje:

ρ [$\frac{kg}{m^3}$]	997.66
g [$\frac{m}{s^2}$]	9.809980

Po výpočtu nejistot podle pravidel pro výpočet nejistot se získá výsledek:

$$\eta = 0.905 \text{ [mPa s]}, u_C(\eta) = 0.008 \text{ [mPa s]}$$

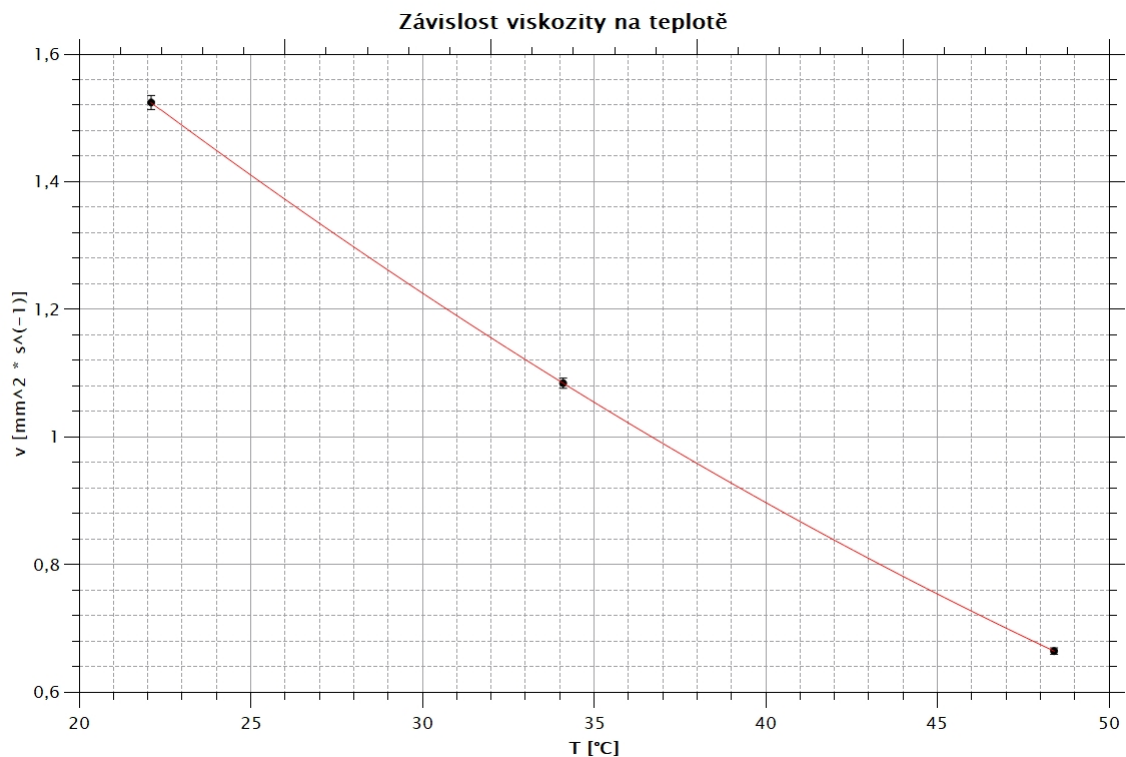
Pro metodu Ubbelodeho viskozimetru použijeme vzorec:

$$\nu = Kt \quad (11)$$

$$K = 1.002 \times 10^{-3} \text{ [\frac{mm^2}{s^2}]}, u_C(K) = 0,007 \times 10^{-3} \text{ [\frac{mm^2}{s^2}]}$$

Údaje získané po dvou měřeních teploty v závislosti na čase:

T [°C]	t [s]	ν [$\frac{mm^2}{s}$]	$u_C(\nu)$ [$\frac{mm^2}{s}$]
22.1	1521	1.524	0.011
34.1	1082	1.084	0.008
48.4	663	0.664	0.005



Obrázek 5: Závislost viskozity na teplotě

3.2. Hustota

Pro stanovení hustoty pomocí pyknometrické metody použijte vzorec:

$$\rho = (\rho_i - \rho_v) \frac{m - m_0}{m_i - m_0} + \rho_v \quad (12)$$

Údaje z měření:

m_0 [g]	20.390(1)
m_i [g]	74.540(1)
m [g]	64.120(1)
ρ_i [$\frac{kg}{m^3}$]	997.66
ρ_v [$\frac{kg}{m^3}$]	1.157

Po výpočtu nejistot podle pravidel pro výpočet nejistot se získá výsledek:

$$\rho = 805.93 \left[\frac{kg}{m^3} \right], u_C(\rho) = 0.02 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Pro určení hustoty pomocí metody ponořeného tělesa použijte vzorec:

$$\rho = \frac{m}{m_i} \rho_i \quad (13)$$

Údaje z měření:

m [mN]	38.0(1)
m_i [mN]	46.0(1)
ρ_i [$\frac{kg}{m^3}$]	997.66

Po výpočtu nejistot podle pravidel pro výpočet nejistot se získá výsledek:

$$\rho = 835 \left[\frac{kg}{m^3} \right], u_C(\rho) = 3 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

3.3. Povrchové napětí

Pro stanovení povrchového napětí du Noüyho metodou použijte vzorec:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{2\pi D} f \quad (14)$$

Údaje z měření:

$F_{max(v)}$ [mN]	$F_{max(m)}$ [mN]
35.01	12.07
35.04	11.93
35.15	12.21
35.07	12.11
35.16	12.24
35.08	11.99
35.11	11.98

Za nejistoty $F_{max(v)}$ a $F_{max(m)}$ byly považovány nejistoty typu A

f	0.77
D [mm]	58.0(1)
$F_{max(v)}$ [mN]	35.10(8)
$F_{max(m)}$ [mN]	12.20(7)

Po výpočtu nejistot podle pravidel pro výpočet nejistot se získá výsledek:

$$\sigma_v = 74.2 \left[\frac{mN}{m} \right], u_C(\sigma_v) = 0.2 \left[\frac{mN}{m} \right]$$

$$\sigma_m = 25.8 \left[\frac{mN}{m} \right], u_C(\sigma_m) = 0.2 \left[\frac{mN}{m} \right]$$

Pro výpočet disperzní složky povrchové energie vody použijeme vzorec:

$$\frac{\sigma_{H_2O}^{lw}}{\sigma_{H_2O}} = \frac{\sigma_{kal}^{lw}}{\sigma_{kal}} \frac{\sigma_{H_2O}}{\sigma_{kal}} \left(\frac{1 + \cos \theta_{H_2O}}{1 + \cos \theta_{kal}} \right)^2 \quad (15)$$

kde σ_{H_2O} je disperzní charakteristika vody a σ_{kal} je disperzní charakteristika kalibrační kapaliny. Povrch je z teflonu.

Naměřené hodnoty úhlů θ :

θ_{H_2O} [$^\circ$]	96.7
θ_{CH_3OH} [$^\circ$]	33.5

Po výpočtu získáme hodnotu:

$$\sigma_{H_2O}^{lw} = 26.2 \left[\frac{mN}{m} \right]$$

K výpočtu chyb byl použit následující kód:

```

import pandas as pd
import numpy as np
import uncertainties as u
from uncertainties import ufloat
from uncertainties.umath import *
from uncertainties import unumpy

R_1 = ufloat(0.570, 0.001)
L_1 = ufloat(165.0, 0.5)
m_1_0 = ufloat(22.229, 0.001)
m_1 = ufloat(72.470, 0.001)
h_1_1 = ufloat(5.02, 0.02)
h_1_2 = ufloat(15.92, 0.02)
t_1 = ufloat(170, 0.5)

rho_w = ufloat(997.66, 0)
g = ufloat(9.809980, 0)

R_1 = R_1 * 10**(-3)
L_1 = L_1 * 10**(-3)
m_1_0 = m_1_0 * 10**(-3)
m_1 = m_1 * 10**(-3)
h_1_1 = h_1_1 * 10**(-2)
h_1_2 = h_1_2 * 10**(-2)

n_1 = (np.pi * R_1**4 * rho_w**2 * g * (h_1_2 - h_1_1) * t_1) / (8 * (m_1 - m_1_0) * L_1)
print(n_1)

t_2_1 = ufloat(1082, 0)
t_2_2 = ufloat(663, 0)
t_2_3 = ufloat(1521, 0)

K_2 = ufloat(1.002 * 10**(-3), 0.007 * 10**(-3))

v_2_1 = K_2 * t_2_1
print(v_2_1)
v_2_2 = K_2 * t_2_2
print(v_2_2)
v_2_3 = K_2 * t_2_3
print(v_2_3)

m_2_0 = ufloat(20.392, 0.001)
m_2_i = ufloat(74.539, 0.001)
m_2 = ufloat(64.121, 0.001)
rho_2_v = ufloat(1.157, 0)

m_2_0 = m_2_0 * 10**(-3)
m_2_i = m_2_i * 10**(-3)
m_2 = m_2 * 10**(-3)

rho_2 = (rho_w - rho_2_v)*((m_2 - m_2_0)/(m_2_i - m_2_0)) + rho_2_v
print(rho_2)

m_3 = ufloat(38.1, 0.1)
m_3_i = ufloat(45.5, 0.1)

rho_3 = (m_3 / m_3_i) * rho_w
print(rho_3)

f_4 = ufloat(0.77, 0)
D_4 = ufloat(58.0, 0.1)
F_4_v = ufloat(35.10, 0.08)
F_4_m = ufloat(12.19, 0.07)

D_4 = D_4 * 10**(-3)

sigma_4_v = (F_4_v / (2 * np.pi * D_4)) * f_4
print(sigma_4_v)
sigma_4_m = (F_4_m / (2 * np.pi * D_4)) * f_4
print(sigma_4_m)

```


4. Závěr

Dynamická viskozita vody získaná pomocí Marriottovy láhve ($\eta = 0.905 \text{ [mPa s]}$) se s určitou nejistotou blíží tabelovaným údajům ($\eta = 0.956 \text{ [mPa s]}$). Rozdíl může být způsoben nepřesným měřením katetometrem.

Z grafu kinematické viskozity v závislosti na teplotě vyplývá, že viskozita se s klesající teplotou zvyšuje. Nemohu však hovořit o lineární nebo exponenciální závislosti, protože jsem shromáždil příliš málo údajů.

Hodnota hustoty alkoholu získaná pyknometrickou metodou ($\rho = 805.93 \text{ [}\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{]}$) poskytla hodnotu velmi blízkou tabelovaným údajům ($\rho = 789 \text{ [}\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{]}$). Nejistota je pravděpodobně poměrně nízká, protože při výpočtech byla použita velmi malá nejistota hmotnosti, která se nejvíce podílela na nejistotě hodnoty hustoty. Takže chyba může být způsobena nedostatečným vysušením pyknometru.

Povrchové napětí vody a alkoholu bylo vypočteno s přijatelnou chybou ($\sigma_v = 74.2 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$, $\sigma_m = 25.8 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$). Rozdíly oproti tabelovaným údajům ($\sigma_v = 72.8 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$, $\sigma_m = 22.5 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$) mohou být způsobeny mechanickou nedbalostí při měření.

Poslední byl výpočet disperzních složek povrchové energie vody ($\sigma_{H_2O}^{lw} = 26.2 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$). Získaná hodnota se značně liší od tabulkové hodnoty ($\sigma_{H_2O}^{lw} = 21.8 \text{ [}\frac{\text{mN}}{\text{m}}\text{]}$). To může být způsobeno nepřesným měřením kontaktních úhlů.