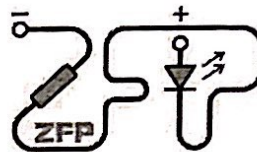


[1], [2], [3] → [1-3]

VÝSLEDKY  
HODNOTY

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

# Fyzikální praktikum I (NOFY066)



Úloha č. XII.....

Název úlohy: Měření vlnové délky

Jméno: Josef Kučera

Obor: FOF

Datum měření: 29.3.2019

Datum odevzdání: 5.4.2019

Připomínky opravujícího:

HŘUBÁ CHYBA - JAKA?

Vrstit k přepracování!

VYSVĚTLIT JAKO PRO "KREZENTY" :)

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	3
Teoretická část	0 - 2	2
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	3
Diskuse výsledků	0 - 4	1
Závěr	0 - 1	0
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	10

Posuzoval: Selig

dne: 11.4.2019

VYPRACOVÁVÁNÍ PROTOKOLU JEŠTĚ KATASTROFA  
- ZDE MĚ TĚŽ ZAČALA BOLETI HLAVA

## Pracovní úkol

1. Změřte dynamickou viskozitu destilované vody při pokojové teplotě metodou výtoku kapaliny kapilárou z Mariotteovy láhve.
2. Určete teplotní závislost kinematické viskozity destilované vody v oboru teplot od 20 °C do 60 °C pomocí Ubbelohdeova viskozimetru.
3. Sestrojte graf teplotní závislosti kinematické viskozity. Určete aktivační energii děje.

## Theorie

Dynamickou viskozitou  $\eta$  kapaliny rozumíme veličinu vyjadřující úměrnost mezi tečným napětím  $\tau$ , které vzniká mezi vrstvami proudící reálné kapaliny a změnou rychlosti  $du/dy$  ve směru kolmém k proudu.

Kinematickou viskozitou  $\nu$  kapaliny nazýváme podíl dynamické viskozity  $\eta$  a hustoty  $\rho$ .

Měření viskozity kapilárními viskozimetry je založeno na Poisseuillově vztahu [1],[2],[3],[4],[5]:

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

Gobyrykic [1-5]

kde  $V$  je objem kapaliny, která proteče při laminárním proudění trubicí kruhového průřezu poloměru  $r$  délky  $l$  za dobu  $t$  při přetlaku  $p$ .

Měření dynamické viskozity lze provést použitím Mariotteovy láhve, ze které se nechá vytékat kapilárou délky  $l$  a poloměru  $r$  po dobu  $t$  kapalina. Konstrukce lahve zaručuje, že kapalina vytéká kapilárou pod stálým přetlakem [1],[2],[3],[4],[5]:

$$p = h \rho g \quad (2)$$

kde  $h$  je výšková odlehlost mezi spodním koncem trubice a osou kapiláry,  $\rho$  je hustota kapaliny a  $g$  tíhové zrychlení.

Pro poměrná měření kinematické viskozity lze užít Ubbelohdeova viskozimetru.

Pro výpočet kinematické viskozity se užívá vztah [1],[2],[3],[4],[5]:

$$\nu = k t \quad (3)$$

kde  $k$  je kalibrační konstanta přístroje určená měřením kapaliny známé viskozity  $\eta$  a známé hustoty  $\rho$

Změnu viskozity s teplotou můžeme charakterizovat vztahem [1],[2],[3],[4],[5]:

$$\eta(T) = \eta_0 \exp\left(\frac{\varepsilon_A}{k_B T}\right) \quad (4)$$

kde  $\varepsilon_A$  je aktivační energie,  $k_B$  Boltzmanova konstanta,  $T$  termodynamická teplota a  $\eta_0$  konstanta.

Zčetnal jste s prázdným odměrným vztlakem?

Chceme-li určit aktivační energii, lze rovnici (4) zlogaritmovat:

$$\ln(\eta) = \ln(\eta_0) + \frac{E_A}{k_B} \cdot \frac{1}{T} \quad (5)$$

dostaneme tedy rovnici přímky v proměnných  $\ln(\eta)$  a  $1/T$ .

## Výsledky měření

### Měření dynamické viskozity

Chtěli jsme stanovit dynamickou viskozitu  $\eta$  metodou výtoku kapaliny z Mariottovy láhve. Nejprve měření jsme tedy změřili vzdálenost  $h$  konce svislé trubice  $T$  od osy kapiláry  $K$ .

Katetometrem jsme naměřili, že konec trubice  $T$  se nachází ve výšce 91,455 cm od podlahy a osa kapiláry  $K$  se nachází ve výšce 85,695 cm. Platí:

$$T - K = h$$

$$h = 57,60 \pm 1 \text{ mm}$$

Délka kapiláry  $l$  a její průměr  $d$  (respektive  $2r$ ) byly přímo zadány:

$$l = 146,00 \pm 2 \text{ mm}$$

$$r = 3,68 \pm 0,5 \text{ mm}$$

Dále potřebujeme znát hustotu  $\rho$  destilované vody a gravitační zrychlení  $g$  [6]:

$$\rho = 998 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Nyní již stačí jen postupně dosadit hodnoty do Poiseuilleova vztahu (1).

odkaz ke tabulce v textu

Tabulka 1: Velikost dynamické viskozity  $\eta$

V [ml]	V <sub>E</sub> [ml]	t [s]	t <sub>E</sub> [s]	$\eta$ [Pa·s]
40	± 1	128,43	± 1	0,00089
40	± 1	129,67	± 1	0,00090
40	± 1	131,05	± 1	0,00091
40	± 1	131,70	± 1	0,00092
40	± 1	131,26	± 1	0,00091
30	± 1	96,60	± 1	0,00090
30	± 1	96,28	± 1	0,00089
30	± 1	95,73	± 1	0,00089
30	± 1	97,19	± 1	0,00090
30	± 1	96,13	± 1	0,00089

bylo by dobré více popsat samotné měření

formule!

chyby měření (6)

při teplotě X

chyby? měření? chyby?

# teplota vody

# výsledné hodnoty  $\eta$ ?

jak jste odhadli chyby?

jednotky chyby

## Měření kinematické viskosity

Pro stanovení hodnoty kinematické viskosity  $\nu$  jsme použili Ubbelohdeův viskosimetr.

Nejprve bylo třeba odečíst kalibrační konstantu  $k$  přístroje:

$$k = 0,003003$$

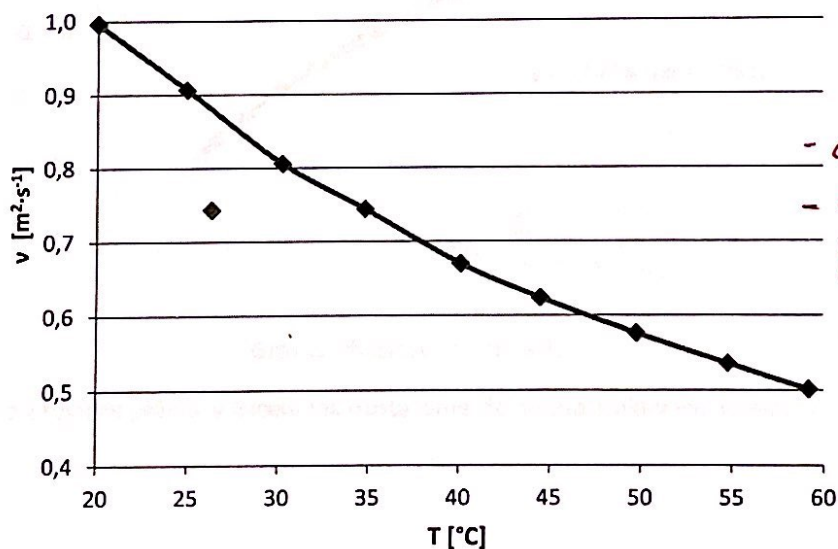
Poté jsme již směle mohli dosadit s časovými hodnotami  $t$  do vztahu (3).

Tabulka 2: Velikost kinematické viskosity  $\nu$  v závislosti na teplotě  $T$

$T$ [°C]	$T_E$ [°C]	$t$ [s]	$t_E$ [s]	$\nu$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
20	± 0,1	331,6	± 1	0,996
24,9	± 0,1	301,9	± 1	0,907
30,2	± 0,1	268,3	± 1	0,806
34,8	± 0,1	247,6	± 1	0,743
40,1	± 0,1	223,0	± 1	0,670
44,5	± 0,1	207,8	± 1	0,624
49,8	± 0,1	192,0	± 1	0,576
54,8	± 0,1	178,6	± 1	0,536
59,2	± 0,1	167,1	± 1	0,502

odkáz  
na tabulku  
viz. předchozí  
tabulka

Výsledky z tabulky 2 jsou vyneseny v grafu 1:



- chytavé úsečky  
- co znamená  
křivka v grafu?

Graf 1: Závislost kinematické viskosity  $\nu$  na teplotě

V grafu je vynesena jeden bod, který je zatížen hrubou chybou, proto ho do závislosti nepočítáme. Z grafu můžeme vyčíst, že velikost kinematické viskosity jest ne přímo úměrná teplotě kapaliny.

opravdu?  
co vám říká rovnice (4)

## Teplotní závislost kinematické viskozity

Pokud si vyneseme do tabulky zlogaritmované hodnoty kinematické viskozity  $\ln(\nu)$  a převrácené hodnoty teploty  $1/T$ :

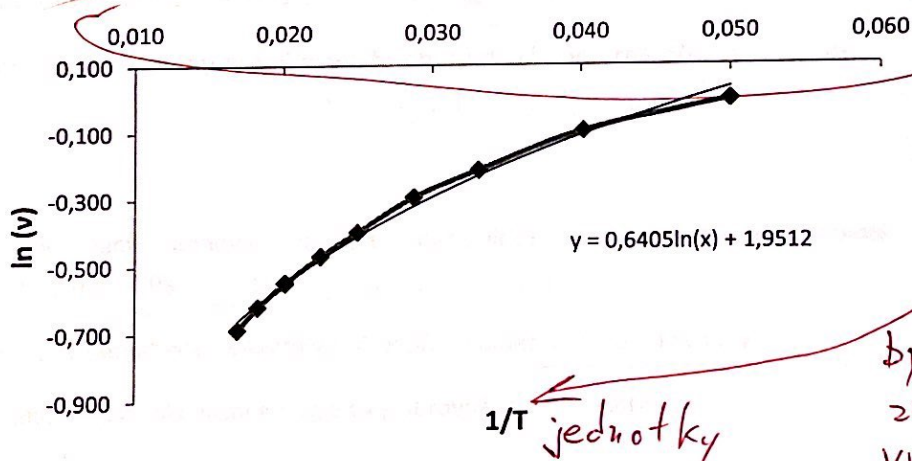
Tabulka 3: Velikost  $\ln(\nu)$  v závislosti na  $1/T$

$\ln(\nu)$	$1/T$
-0,004	0,050
-0,098	0,040
-0,216	0,033
-0,297	0,029
-0,401	0,025
-0,472	0,022
-0,551	0,020
-0,623	0,018
-0,690	0,017

jednotky

-bylo možné tuto tabulku spojit s tou předchozí

a hodnoty z dané tabulky pak vyneseme do grafu,



Graf 2: Závislost  $\ln(\nu)$  na  $1/T$

Ze vztahu (5) a z rovnice přímky v Excelu tak dostáváme, že hodnota aktivační energie  $\epsilon_A = 0,6405 \text{ J}$ .

bylo dobrým  
zvykem  
vykreslovat  
osa spolu  
s jejím popisem  
chyba?

## Diskuse

Z rovnice Poisseuillova vztahu (1) vidíme, že největší chyby při výpočtu dynamické viskozity  $\eta$  se můžeme dopustit při špatném změření průměru (respektive poloměru) kapiláry, neboť tento člen je v rovnici exponentu 4. ✓

Absolutní nejistota výsledku dynamické viskosity  $\eta$  se dá vypočítati dle vzorce:

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad (7)$$

Kde za členy  $u_i^2$  postupně dosazujeme nejistoty měření výšky, délky a poloměru kapiláry, a objemu:

$$h_E = \pm 1 \text{ mm}$$

$$l_E = \pm 2 \text{ mm}$$

$$r_E = \pm 0,5 \text{ mm}$$

$$V_E = \pm 1 \text{ ml}$$

chyby ve diskuzujete (viz předchozí poznámky)

Výsledná nejistota  $\eta$  pak vychází  $\pm 0,00024 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

Oproti tabulkovým hodnotám [7] dynamické viskosity  $0,91 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  nám vychází viskositá poměrně přesně. - hodnota ušete uvedem zř v zřvěky, což je pozdě

Absolutní nejistota  $\nu$  po dosazení nejistot  $T_E = \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $t = \pm 1$  do vzorce 7 po přenásobení konstantou  $K$  vychází  $\pm 0,003 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ .  $\rightarrow \epsilon_A ?$

I zde nám vycházejí oproti tabulkovým hodnotám [7] poměrně přesné hodnoty.

$\hookrightarrow$  tedy závislost  $\nu(T) = \dots$

## Závěr

Podařilo se nám stanovit hodnotu dynamické viskosity  $\eta$  při teplotě  $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $0,00090 \pm 0,00024 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . volba zřpisu čísel

Zjistili jsme, že kinematická viskositá  $\nu$  jest nepřímo úměrná teplotě kapaliny  $T$ .

Stanovili jsme velikost aktivační energie  $\epsilon_A$  jest rovna zhruba  $0,6405 \text{ J}$ .

(4)

## Literatura

- [1] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1967, st. 2.5.2, st. 2.5.3, čl. 2.5.3.1.
- [2] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1983, st. 2.4.2, st. 2.4.3, čl. 2.4.3.1, st. 2.4.5.
- [3] R. Bakule, J. Brož: Molekulová fyzika (skriptum) UK, Praha 1982, kap. 6.1.4.
- [4] Z. Horák, F. Krupka: Fyzika, SNTL, Praha 1981, kap. 2.8.10
- [5] Š. Veis, J. Maďar, V. Martišovitéš: Mechanika a molekulová fyzika, ALFA, Bratislava, 1981
- [6] MIKULČÁK, Jiří. Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy. Praha: Prometheus, 2003. ISBN 978-807-1962-649; str. 219
- [7] [https://www.vfu.cz/files/3130\\_83\\_2.-dynamicka-a-kinematicka-viskozita.pdf](https://www.vfu.cz/files/3130_83_2.-dynamicka-a-kinematicka-viskozita.pdf) cit [5-4-2019]

KOTOVA LAHEV

Josef Knežm

1. $V = 40 \text{ ml}$	$\Delta = 2 \text{ min}$	$8,43 \text{ A}$
2. $V = 30 \text{ ml}$	$\Delta = 1 \text{ min}$	$36,6 \text{ A}$
3. $V = 40 \text{ ml}$	$\Delta = 2 \text{ min}$	$9,67 \text{ A}$
4. $V = 30 \text{ ml}$	$\Delta = 1 \text{ min}$	$36,28 \text{ A}$
5. $V = 40 \text{ ml}$	$\Delta = 2 \text{ min}$	$11,05 \text{ A}$
6. $V = 30 \text{ ml}$	$\Delta = 1 \text{ min}$	$35,73 \text{ A}$
7. $V = 40 \text{ ml}$	$\Delta = 2 \text{ min}$	$11,7 \text{ A}$
8. $V = 30 \text{ ml}$	$\Delta = 1 \text{ min}$	$37,19 \text{ A}$
9. $V = 40 \text{ ml}$	$\Delta = 2 \text{ min}$	$11,26 \text{ A}$
10. $V = 30 \text{ ml}$	$\Delta = 1 \text{ min}$	$36,13 \text{ A}$

$$T = 23,8^\circ \text{C}$$

$$h = 11,455 \text{ cm}$$

$$- 85,695 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow h = 5,760 \text{ cm}$$

délka kapiláry  $l = (146 \pm 2) \text{ mm}$

$d = (1,29 \pm 0,03) \text{ mm}$

# Ubelokdenim viskosimetri :

Josef Kucera

$T = 20^{\circ}\text{C}$  |  $A = 5 \text{ min}$  31,63 A

~~$T = 25^{\circ}\text{C}$  |  $A = 4 \text{ min}$  7,30 A~~

$T = 24,9^{\circ}\text{C}$  |  $A = 5 \text{ min}$  1,87 A

$T = 30,2^{\circ}\text{C}$  |  $A = 4 \text{ min}$  28,30 A

$T = 34,8^{\circ}\text{C}$  |  $A = 4 \text{ min}$  7,55 A

$T = 40,1^{\circ}\text{C}$  |  $A = 3 \text{ min}$  42,97 A

$T = 44,5^{\circ}\text{C}$  |  $A = 3 \text{ min}$  27,75 A

~~$T = 49,8^{\circ}\text{C}$~~  |  $A = 3 \text{ min}$  11,94 A

$T = 54,8^{\circ}\text{C}$  |  $A = 2 \text{ min}$  58,56 A

~~$T = 59,2^{\circ}\text{C}$~~  |  $A = 2 \text{ min}$  47,07 A

29-03-2019

$$K = 0,003003 \text{ m}^2/\text{A}^2$$

Matematicko-fyzikalni fakulta  
Fyzikalni praktikum I

Bodů: 3

0.7.