

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 1

Úloha č.: XII.

Název: Měření viskozity

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F – 16 dne 30.03.2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změřte dynamickou viskozitu destilované vody při izbové teplotě metodou výtoku kvapaliny kapilárou z Mariotteovy fľaše.
2. Určete teplotní závislost kinematické viskozity destilované vody v obore teplot od 20 °C do 60 °C metodou Ubbelohdeova viskozimetru.
3. Zostrojte graf teplotnej závislosti kinematickej viskozity. Určete aktivačnú energiu deja.

Teoretická časť:

Veličiny charakterizujúce viskozitu

Dynamická viskozita η kvapaliny je veličina vyjadrujúca úmernosť medzi dotyčnicovým napätím τ , ktoré vzniká medzi vrstvami prúdiacej reálnej kvapaliny a zmenou rýchlosti v smere kolmom k prúdeniu

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}.$$

(1)

Kinematická viskozita ν udáva podie dynamickej viskozity a hustoty kvapaliny ρ

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

(2)

Závislosť viskozity od teploty udáva vzťah [1]

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{e_A}{kT}\right)$$

(3)

kde k je Boltzmanova konštanta, T je termodynamická teplota a e_A je aktivačná energia. Ak chceme určiť aktivačnú energiu, stačí rovnicu (3) zlogaritmovat' a dostaneme

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + \frac{e_A}{k} \frac{1}{T}$$

(4)

čo je rovnica priamky v premenných $\ln \eta$ a $\frac{1}{T}$.

Kapilárne viskozimetre

Meranie viskozity pomocou kapilárnych viskozimetrov je založené na Poisseuilovom vzťahu pre objem kvapaliny V , ktorý pretečie za čas t pri pretlaku p trubicou valcového tvaru s polomerom r a dĺžkou l [3]

$$V = \frac{p r^4 p t}{8 \eta l}.$$

(5)

Viskozitu kvapaliny η z tohto vzťahu môžeme určiť ako

$$\eta = \frac{p r^4 p t}{8 l V}.$$

(6)

Predpokladá sa, že prúdenie je laminárne, teda Reynoldsovo číslo dané vzťahom

$$\text{Re} = \frac{r \rho v}{\eta}$$

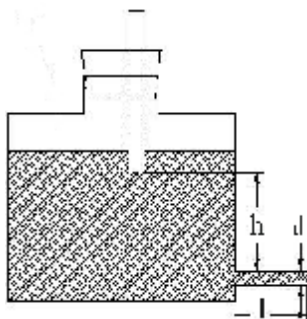
(7)

kde ρ je hustota kvapaliny a v je rýchlosť prúdenia, musí byť menšie než 10^3 .

Mariotteova fľaša

Dynamická viskozita kvapaliny sa dá zmerať pomocou výtoku kvapaliny z tzv. Mariotteovej fľaše [3] (obr. 1).

Obr. :. Mariotteova fľaša



Kvapalina sa nechá vytekať kapilárou dĺžky l s polomerom r umiestnenou v spodnej časti fľaše, pričom sa meria čas t , za ktorý vytečie objem V . Konštantný pretlak o hodnote

$$p = hrg$$

(8)

kde g je tiažové zrýchlenie, je zabezpečený kapilárou, ktorá je ponorená do fľaše do výšky h nad výtokovú kapiláru.

Viskozitu kvapaliny určíme potom dosadením (6) do vzťahu (4) ako

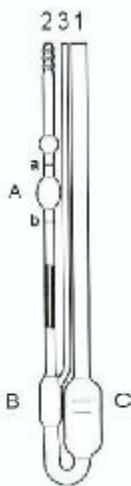
$$h = \frac{pr^4 hrgt}{8lV}$$

(9)

Ubbelohdeov viskozimeter

Kinematickú viskozitu môžeme zmerať pomocou Ubbelohdeovho viskozimetru (obr.2) [3], ktorého hlavnou súčasťou je zvislá merná kapilára spájajúca banku A s bankou B . Po zahriatí vzorku na požadovanú teplotu sa kvapalina nechá pretekať kapilárou z banky A do banky B . Meria sa čas, za ktorý pretečie kapilárou objem vymedzený značkami a, b . Pre lepšiu manipuláciu je viskozimeter vybavený ešte nádobkou C , plniacou trubicou 1 a zavzdušňovacou trubicou 3 .

Obr. 2: Ubbelohdeov viskozimeter



Pre výpočet kinematickej viskozity môžeme použiť vzťah

$$n = At \tag{10}$$

kde A je kalibračná konštanta prístroja určená meraním kvapaliny so známou viskozitou a známou hustotou, t je doba prietoku kvapaliny medzi ryskami a, b , $\{B$ je konštanta vypočítaná z rozmerov prístroja.}

Použité pomôcky a prístroje:

Mariotteova fľaša, kapilára, katetometer, stopky, teplomer, kadička, lievnik, odmerný valec, Ubbelohdeov viskozimeter, termostat, hustilka, stopky, odmerná nádoba, skúšobný list

merací prístroj	najmenší dielik
teplomer	1 °C
odmerný valec	1 ml
elektronické stopky	0,01 s
katetometer	0,1 mm

Postup:

Meranie viskozity Mariotteovou fľašou

1. Presvedčíme sa, že je vo fľaši dostatok meranej kvapaliny (destilovanej vody) a zmeriame výškovú odľahlosť kapiláry h katetometrom.
2. Meriame dobu, za ktorú vytečie z viskozimetru objem kvapaliny V , meranie opakujeme niekoľkokrát.
3. Zmeriame teplotu vytečenej kvapaliny.

Meranie viskozity Ubbelohdeovým viskozimetrom

1. Zohrejeme vzorku na požadovanú teplotu, počkáme na ustálenie teploty.
2. Pomocou hustilky naplníme banku B kvapalinou a meriame čas, za aký objem kvapaliny vymedzený značkami pretečie kapilárou.
3. Meranie opakujeme pre teploty od 20 °C do 60 °C.

Výsledky meraní:

Podmienky experimentu:

teplota vzduchu v miestnosti : $(24,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

tlak v miestnosti: 990,2 kPa

teplota destilovanej vody v Mariotteovej fľaši: $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$

1. Meranie viskozity Mariotteovou fľašou

Pri meraní viskozity Mariotteovou fľašou sme merali čas t , za aký pretečie kapilárou objem V . Namerané hodnoty času sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 1: nameraná hodnota času

č. mer.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_i [s]	181,81	180,06	179,92	181,00	179,21	180,28	179,87	180,09	180,43	180,60

\bar{t} [s]	σ_t [s]
180,33	0,71

Uvedená chyba σ , má charakter štatistickej chyby.

Viskozitu destilovanej vody sme z nameraných veličín určili podľa vzťahu (9). Veličiny použité na výpočet sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 2: veličiny potrebné pre určenie viskozity:

	l [mm]	r [mm]	h [mm]	ρ [$\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^3}{\text{s}^3}$]	g [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	V [ml]	t [s]
stredná hodnota	147,4	0,645	56	997	9,81	50	180,33
chyba	0,1	0,015	1	1	0,01	1	0,71

l – dĺžka kapiláry

r – polomer kapiláry

h – výšková odľahlosť kapiláry

ρ – hustota destilovanej vody

g – tiažové zrýchlenie

V – objem vytečenej kvapaliny

t – čas vytekania kvapaliny

Objem V sme určili pomocou odmerného valca, ako chybu uvažujeme chybu meracieho zariadenia. Na výpočet sme použili hodnotu dĺžky kapiláry l uvedenú v [1], polomer kapiláry r sme určili z hodnoty priemeru kapiláry d uvedenej v [1]. Výškovú odľahlosť kapiláry h sme určili katetometrom, hoci sa pri meraní katetometrom dá dosiahnuť väčšia presnosť, chybu sme uvažovali 1 mm, pretože presnosť merania sa zníži pri otrasoch podlahy v laboratóriu.

Dynamická viskozita určená z týchto hodnôt je $\eta = (0,91 \pm 0,09)10^{-3}$ Pa.s, s relatívnou chybou $d_{\eta} = 10\%$, teplota meranej kvapaliny bola $t = (23 \pm 1)$ °C.

Reynoldsovo číslo určíme podľa vzťahu (7), uvažujeme rovnomerný pohyb s rýchlosťou $v = \frac{V}{\rho r^2 t}$. V našom prípade je hodnota $Re \approx 150$ (neuvádzame chybu, lebo ide len o orientačnú hodnotu), teda predpoklad pre platnosť Poisselovho vzťahu je splnený.

2. Meranie viskozity Ubbelohdeovým viskozimetrom

Pomocou Ubbelohdeovho viskozimetru sme merali závislosť kinematickej viskozity destilovanej vody v závislosti od teploty v rozmedzí od 20 °C do 60°C. Konštanta A daná v skúšobnom liste viskozimetra má hodnotu $A = 0,002997 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-2}$. V nasledujúcej tabuľke sú namerané hodnoty teploty a času prietoku kapiláry, hodnoty kinematickej viskozity určené podľa (10) a hodnoty $1/T$ a $\ln v$. Odchýlku v určení času uvažujeme 0,20 s, čo zodpovedá priemernej reakčnej dobre človeka. Chybu určenia teploty uvažujeme 1 °C.

Tabuľka 3: namerané hodnoty

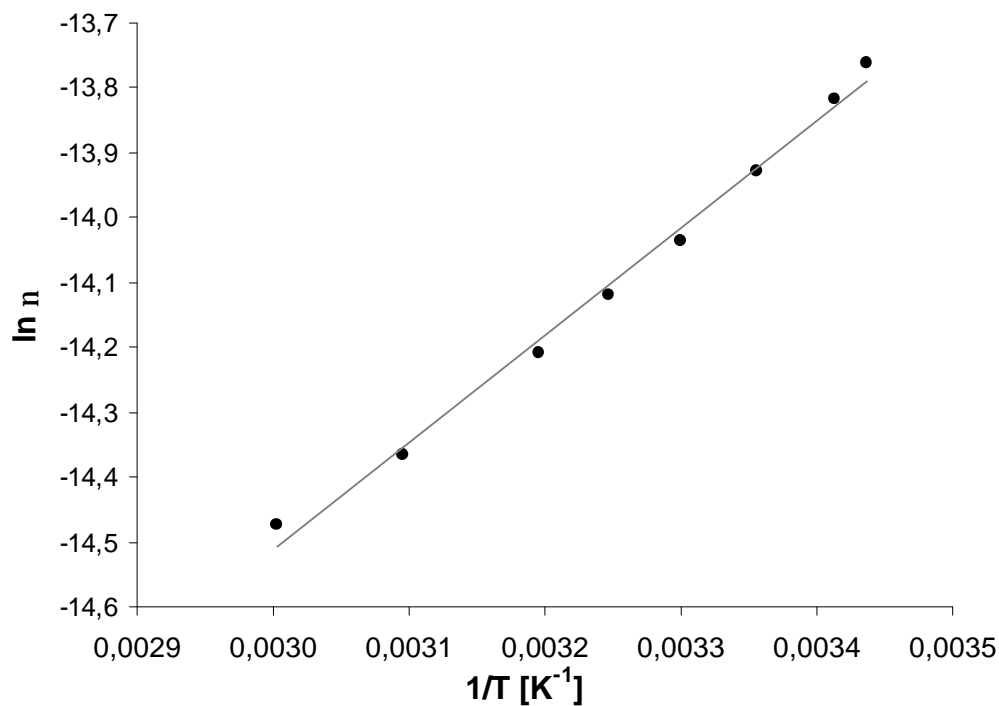
teplota	čas	viskozita			odchýlka od regresie
T [K]	t [s]	$v\cdot 10^6$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	$1/T$ [K^{-1}]	$\ln v$	$\Delta(\ln v)$
291	351,86	1,056	0,00344	-13,76	0,03
293	332,44	0,997	0,00341	-13,82	0,01
298	298,18	0,895	0,00336	-13,93	0,00
303	267,46	0,802	0,00330	-14,04	-0,02
308	245,66	0,737	0,00325	-14,12	-0,02

313	224,91	0,675	0,00319	-14,21	-0,02
323	191,99	0,576	0,00310	-14,37	-0,01
333	172,71	0,518	0,00300	-14,47	0,03

Namerané hodnoty viskozity v závislosti na teplote spracujeme metódou lineárnej regresie v premenných $1/T$ a $\ln v$. Štandardnú odchýlku premennej $\ln v$ určíme podľa hodnôt regresie ako $s_{\ln v} = 0,022 \cdot 10^{-6}$. Z toho vidíme, že odchýlka $\ln v$ spôsobená chybami meracích zariadení (chyby určenia času), ktorá je rovná rádovo desatinám percenta, je oproti štatistickej chybe zanedbateľná a nemusíme ju uvažovať. Horný odhad relatívnej chyby viskozity vychádza rovný 2 %.

V grafe 1 sú namerané hodnoty preložené krivkou podľa vzťahu (4).

Graf 1: Závislosť viskozity v od teploty T v premenných $1/T$ a $\ln v$



Lineárnou regresiou sme určili koeficienty závislosti z rovnice (4) ako

$$\ln n_0 = -19,5 \pm 0,2 ,$$

$$\frac{e_A}{k} = 1660 \pm 60 \text{ K.}$$

Boltzmanovu konštantu určíme z tabuliek [2] ako

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Potom pre hodnotu aktivačnej energie dostávame

$$e_A = (2,29 \pm 0,08) \cdot 10^{-20} \text{ J} = (0,143 \pm 0,005) \text{ eV.}$$

Diskusia:

Metódou vytekania kvapaliny z Mariottovej fľaše sme zmerali viskozitu destilovanej vody. Štatistická chyba určenia viskozity touto metódou je pomerne veľká, hoci disperzia

nameraných časov má dosť malú hodnotu. Na zvýšení chyby sa odrazila hlavne chyba určenia polomeru kapiláry a fakt, že tento polomer vystupuje vo vzťahu (9) pre viskozitu v štvrtej mocnine. Nepresnosti sa mohli vyskytnúť v určení výšky kapiláry, keďže na jej konci sa tvorili bubliny. Pre rýchlosti odpovedajúce turbulentnému prúdeniu možno použiť korekciu uvádzanú v [1], v našom prípade však bolo Reynoldsovo číslo rádovo menšie ako hodnota 103, takže bola splnená podmienka platnosti použitého vzťahu (5).

Tabuľková hodnota podľa [2] udáva viskozitu destilovanej vody pri 25 °C ako $h = 0,894 \cdot 10^{-3}$ Pa, nameraná hodnota sa zhoduje s touto hodnotou v rámci chyby.

Metóda merania závislosti viskozity na teplote Ubbelohdeovým viskozimetrom sa ukázala ako pomerne presná. Chyba meracieho zariadenia dosť malá, zanedbateľná oproti štatistickej chybe, určenej podľa lineárnej regresie. Závislosť $\ln v$ na $1/T$ zodpovedá teoretickej lineárnej závislosti celkom presne. Ak vynásobíme namerané hodnoty kinematickej viskozity hustotou destilovanej vody pri danej teplote, vyjdú hodnoty v pomerne dobrej zhode s tabuľkovými.

Pri meraní Ubbelohdeovým viskozimetrom sa dá použiť korekcia súvisiaca s ustálením prúdenia meranej kvapaliny uvádzaná v [3], táto korekcia je však vzhľadom ku štatistickej chybe určenia kinematickej viskozity zanedbateľná.

Pri meraní treba dbať na to, aby sa teplota vody ustálila a aby v meranej kvapaline nevznikali bubliny, čo by mohlo spôsobiť odchýlky v nameraných hodnotách.

Záver:

Metódou výtoku kvapaliny z Mariotteovej fľaše sme určili dynamickú viskozitu destilovanej vody ako $h = (0,91 \pm 0,09)10^{-3}$ Pa.s, s relatívnou chybou $d_h = 10\%$, teplota meranej kvapaliny bola $t = (23 \pm 1)$ °C. Táto hodnota sa zhoduje s tabuľkovými hodnotami.

Ubbelohdeovým viskozimetrom sme zmerali závislosť kinematickej viskozity destilovanej vody od teploty. Nameraná závislosť v premenných $1/T$ a $\ln v$ je vynesená v grafe 1. Závislosť je preložená regresnou krivkou vypočítanou podľa vzťahu (4). Pomocou lineárnej regresie sme určili aktivačnú energiu deja ako $e_A = (2,29 \pm 0,08) \cdot 10^{-20}$ J = $(0,143 \pm 0,005)$ eV.

Obidve metódy dávajú výsledky v dobrej zhode s tabuľkovými hodnotami.

Literatúra:

[1] Študijný text k fyzikálnemu praktiku I., úloha XII.,

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_104.pdf

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

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