Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. XII

Název: Měření viskozity

Pracoval: Jiří Vackář stud. skup. 11 dne 17. 3. 2008

Odevzdal dne: 31. 3. 2008

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 Pracovní úkoly

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 metodou Ubbelohdeova viskozimetru.
3. Sestrojte graf teplotní závislosti kinematické viskozity. Určete aktivační energii děje.

2 Teoretická část

2.1 Viskozita

Viskozita charakterizuje vnitřní tření reálné kapaliny, které se projevuje při tečení a při pohybu pevných těles v kapalině.

Dynamická viskozita η je veličina vyjadřující úměrnost mezi tečným napětím τ, které vzniká mezi vrstvami reálné tekoucí kapaliny a změnou rychlosti ve směru kolmém k proudnicím

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \tag{1}$$

Kinematickou viskozitou ν nazýváme podíl dynamické viskozity η a hustoty ρ

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \tag{2}$$

2.2 Měření dynamické viskozity metodou Mariotteovy lahve

Měření viskozity kapilárními viskozimetry je založeno na Poisseulově vztahu [1]

$$V = \frac{\pi r^4 p t}{8 \eta l} \tag{3}$$

Tento vztah platí pouze v případě, že proudění je laminární, tj. Reynoldsovo číslo R_e definované [1] jako

$$R_e = \frac{2 r \rho u}{\eta} \tag{4}$$

je menší než 2 000; u je střední rychlost kapaliny, tj. rychlost, jakou by musela mít ideální (neviskózní) kapalina, aby za stejný čas t protekla danou kapilárou ve stejném objemu V. Při kruhovém průřezu S kapiláry je střední rychlost dána vztahem

$$u = \frac{V/S}{t} = \frac{V}{\pi r^2 t} \tag{5}$$

Kontrukce Mariotteovy lahve zaručuje, že kapalina vytéká pod stálým přetlakem

$$p = h \rho g \tag{6}$$

kde h je výšková odlehlost dolního konce svislé zavzdušňovací trubice a osy odtokové kapiláry.

Pokud je proudění laminární dle 4, je dynamická viskozita dána vztahem

$$\eta = \frac{\pi r^4 h \rho g t}{8 V l} \tag{7}$$

2.3 Měření kinematické viskozity Ubbelohdeovým viskozimetrem

Ubbelohdeův viskozimetr slouží k měření kinematické viskozity kapaliny protékající svislou kapilárou. Měří se vždy stejný objem kapaliny, konstantní rozdíl tlaku je daný konstrukcí přístroje. Všechny jeho parametry jsou zahrnuty v konstantě k, která je uvedena ve zkušebním listu každého měřicího přístroje. Po změření času t potřebného k protečení určeného objemu kapaliny lze kinematickou viskozitu zkoumané kapaliny vypočítat dle vztahu

$$\nu = kt \tag{8}$$

2.4 Závislost viskozity na teplotě

Podstatou viskozity je předávání hybnosti mezi dvěma sousedními vrstvami kapaliny pomocí molekul. Tento proces závisí na teplotě dle vztahu [1]

$$\eta(T) = \eta_0 \exp(\frac{\varepsilon_A}{k_B T}) \tag{9}$$

kde ε_A je aktivační energie, k_B Boltzmanova konstanta, T termodynamická teplota a n_0 konstanta.

Pro zjištění aktivační energie rovnici 9 zlogaritmujeme a upravíme na tvar

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + \frac{\varepsilon_A}{k_B T} \tag{10}$$

3 Výsledky měření

3.1 Podmínky pokusu

Teplota místnosti	22,2 °C
Atmosférický tlak	976,6 kPa

3.2 Dynamická viskozita metodou Mariotteovy láhve

3.2.1 Zadané parametry kapiláry

$r = (0,635 \pm 0,015)$ mm
$l = (144,8 \pm 0,1)$ mm

3.2.2 Naměřené a odvozené hodnoty

$h = (49,4 \pm 2)$ mm (vzhledem k poruše katetometru nebylo možné vidět zároveň zaostřený záměrný kříž a pozorovaný objekt)
$T = (21,0 \pm 0,5)$ °C teplota vody v Mariottově lahvi
$\rho = 997,99$ kg m$^-3$
$g = 9,807$ kg m$^-2$

3.2.3 Ověření laminárnosti proudění

Střední rychlost v trubici dosahovala dle vzorce 5 nejvýše

$$u \approx 0,203 \mathrm{ms}^{-2}$$

Reynoldsovo číslo tedy dle vztahu 4 nepřekročilo hodnotu

$$R_e \approx 257 \ll 2000$$

Proudění kapaliny skrz kapiláru připojenou k Mariotteově lahvi bylo laminární.

3.2.4 Naměřené hodnoty

Naměřil jsem tyto hodnoty a vypočetl viskozitu dle vztahu 7

V [ml]	t [s]	η [10^{-3} s Pa]
72	280,46	0,831
98	378,82	0,824
50	194,92	0,831
47	179,76	0,815
45	172,84	0,819

Průměrná hodnota dynamické viskozity je

$$\eta = (0,824 \pm 0,09) \times 10^{-3} \mathrm{sPa}$$

Ve vzorci 7 vystupuje řada konstantních koeficientů; celková relativní nejistota je 10,5%. Odchylka od tabulkových hodnot může být buďto způsobena systematickou chybou, nejspíše způsobenou chybným změřením teploty vody, nebo tím, že destilovaná voda v Mariotově láhvi byla znečištěná, což nemůžu vyloučit, protože tam byla připravená již od minulého měření.

3.3 Kinematická viskozita v závislosti na teplotě

Doba průtoku daného objemu destilované vody kapilárou Ubbelohdeova viskozimetru a vypočítaná kinematická viskozita v závislosti na termodynamické teplotě zkoumané kapaliny.

Konstanta viskozimetru

$$k = 2,997 \times 10^{-9}$$

t [°C]	t [s]	ν [10^{-3} m^2 s^{-1}]
18	362,51	1,086
20	333,46	0,999
25	300,32	0,900
30	270,68	0,811
35,2	245,09	0,735
42	227,34	0,681
54,6	183,67	0,550
60	167,68	0,503

Z grafu je zřejmé, že zkoumaná závislost má exponenciální charakter.

3.4 Graf teplotní závislosti kinematické viskozity

Dle hodnot hustoty vody v závisloti na teplotě podle [2] jsem přepočítal kinematickou viskozitu na dynamickou. Lineární regresí metodou nejmenších čtverců závislosti $ln(\eta)$ na $1/T$ je aktivační energie pro Boltzamnovu konstantu $k_B = 1,380662 \times 10^{-23}\mathrm{JK}^{-1}$ rovna

$$\varepsilon_E = (2,50 \pm 0,02) \times 10^{-20}\mathrm{J}$$

4 Diskuse výsledků

Dynamická viskozita určená metodou Mariotteovy lahve je při dané teplotě výrazně nižší než tabelovaná hodnota 0,98 Pas, neshoduje se s ní ani v rámci chyby. Největší podíl na této chybě má nejistota určení průměru kapiláry (2,36%), který se ve vzorci vyskytuje se čtvrtou mocninou, avšak to nemohlo způsobit tak velkou odchylku. Systematická chyba hodnot je okomentována ve výsledcích měření.

Při měření Ubbelohdeovým viskozimetrem mohla vzniknout jistá nepřesnost při stanovení času t. Teplotu jsem stanovoval dvěma teploměry a vždy byly obě měřidla ve shodě.

Statistická chyba hodnoty aktivační energie 0,1% je uspokojivá.

5 Závěr

Metodou výtoku kapaliny z Mariotteovy lahve byla určena dynamická viskozita destilované vody

$$\eta = (0,824 \pm 0,09) \times 10^{-3}\mathrm{sPa}$$

Metodou Ubbelohdeova viskozimetru byla zjištěna exponenciální závislot kinematické viskozity destilované vody na termodynamické teplotě.

Metodou Ubbelohdeova viskozimetru byla stanovena aktivační energie zkoumaného děje

$$\varepsilon_E = (2,50 \pm 0,02) \times 10^{-20}\mathrm{J}$$

Reference

[1] Studijní text fyzikálního praktika http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_112.pdf

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