

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.: XII

Název: Měření viskozity

Vypracovala: stud. sk. dne: 28.11.03.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

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

II. Teorie

Pro dynamickou viskozitu η platí:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

τ tečné napětí, které vzniká mezi vrstvami proudící kapaliny
 $\frac{dv}{dy}$ změna rychlosti ve směru kolmém k proudu

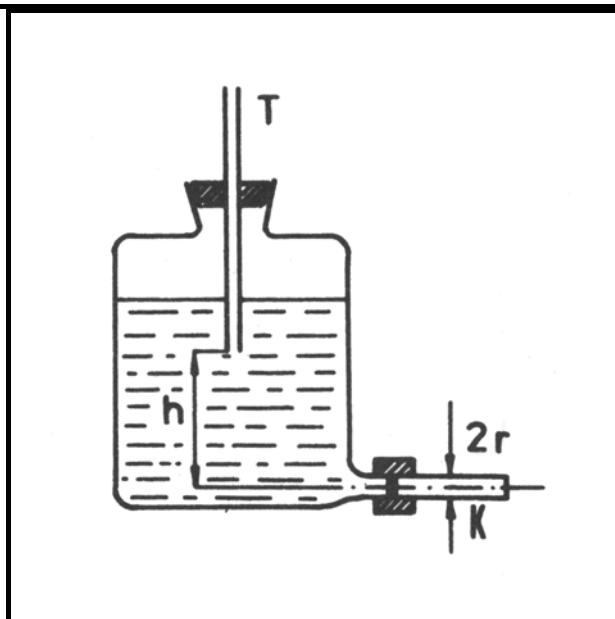
Kinematickou viskozitu ν získáme ze vztahu:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

ρ hustota kapaliny

A. Kapilární viskozimetr – Mariotteova láhev

K měření použijeme Mariotteovu láhev.



Obr. 1 – Mariotteovu láhev

Pro laminární proudění platí Poiseuillův vztah:

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

V objem kapaliny, která proteče trubicí

r poloměr trubice

p přetlak v trubicí

t čas, po který kapalina vytéká

l délka trubice

Proudění je laminární, pokud je Reynoldsovo číslo Re definované vztahem

$$Re = \frac{r \rho v}{\eta} \quad (4)$$

menší, než 10^3 . Pokud není proudění laminární, je třeba rovnici doplnit Hagenovou opravou. Máme tedy vztah:

$$\eta = \frac{\pi r^4 p t}{8 V l} - n \frac{\rho V}{8 \pi l t} \quad (5)$$

n číselný koeficient, zpravidla blízký hodnotě 1,1

Kapalina vytéká z láhve pod stálým přetlakem:

$$p = h \rho g \quad (6)$$

g tíhové zrychlení

h výšková odlehlost mezi spodním koncem trubice T a osou kapiláry K

B. Ubbelohdeův viskozimetr

Pro měření kinematické viskozity lze užít Ubbelohdeova viskozimetru (obr. je v [2], str. 84). Potom pro ni platí vztah:

$$\nu = Kt \quad (7)$$

K kalibrační konstanta přístroje zjištěná měřením kapaliny známé viskozity a známé hustoty

t doba průtoku kapaliny mezi dvěma ryskami určujícími stále stejný objem měřené kapaliny

C. Teplotní závislost kinematické viskozity a určení aktivační energie děje

S rostoucí teplotou dynamická viskozita kapalin klesá podle vztahu:

$$\eta(T) \approx e^{\frac{e}{kT}} \quad (8)$$

e aktivační energie nutná k přeskocení molekuly z jedné rovnovážné polohy do polohy sousední

k Boltzmannova konstanta

T termodynamická teplota

Po zlogaritmování (8) dostaneme:

$$\ln \eta \approx \frac{e}{kT} \quad (9)$$

Dále ze vztahů (2) a (8) odvodíme:

$$\ln \nu \approx \frac{e}{kT} \quad (10)$$

III. Výsledky měření

A. Kapilární viskozimetr – Mariotteova láhev

Délka kapiláry $l = (147,4 \pm 0,1) \text{ mm}$.

Poloměr kapiláry $r = (0,65 \pm 0,02) \text{ mm}$.

Výšková odlehlost $h = (5,9 \pm 0,1) \text{ cm}$.

Teplota kapaliny $T = (295 \pm 1) \text{ K}$.

Objem vyteklé kapaliny $V = (40 \pm 1) \text{ ml}$.

tab. 1 – doba výtoku kapaliny daného objemu

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t [s]	150,39	150,63	152,62	150,75	150,90	150,00	149,20	150,50	151,05	150,84
č. m.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t [s]	149,91	150,79	149,47	150,23	149,02	149,95	151,09	150,10	150,27	150,25

Doba výtoku kapaliny $t = (150,4 \pm 0,8) \text{ s}$, což je relativní chyba 0,5%.

Hustota destilované vody při pokojové teplotě je 997 kgm^{-3} .

Dynamická viskozita destilované vody při 22°C $\eta = (9,5 \pm 1,2) \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s}$.

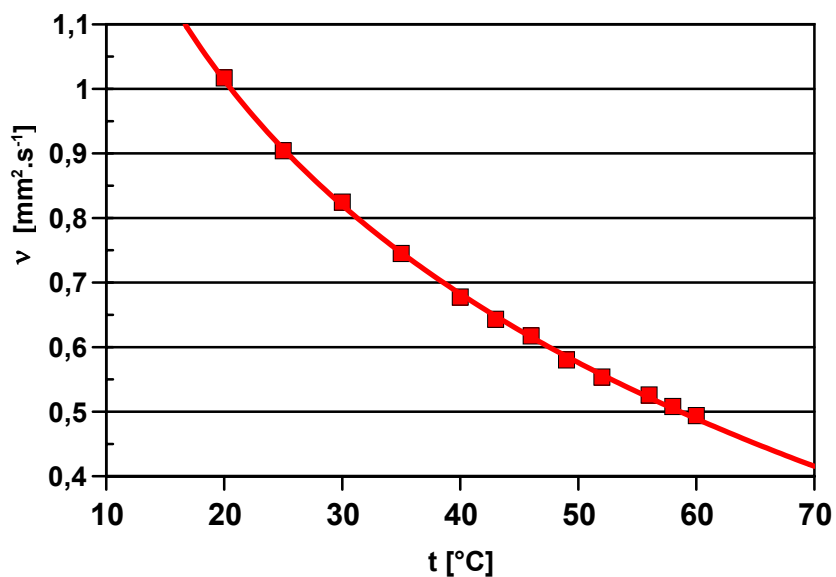
B. Ubbelohdeův viskozimetr

Kalibrační konstanta přístroje $K = 2,997 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

tab. 2 – doba průtoku kapaliny mezi ryskami v závislosti na teplotě

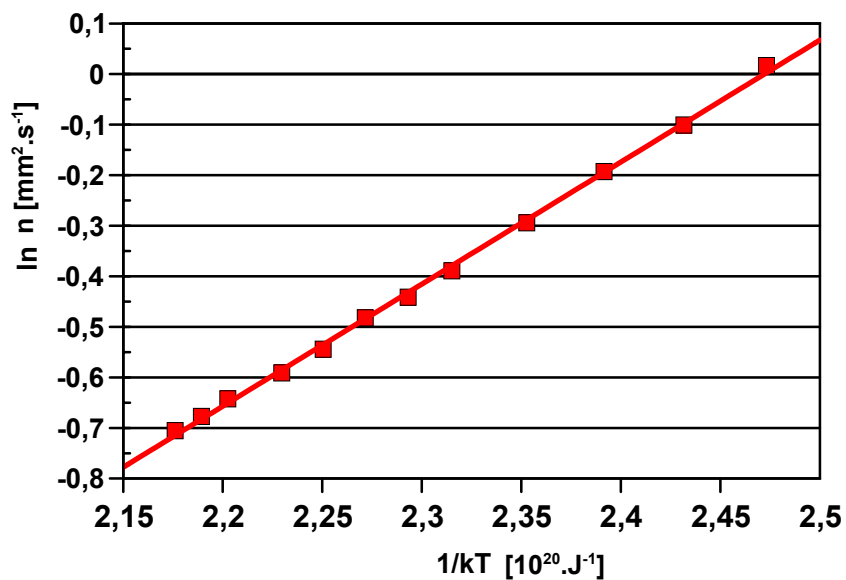
t [°C]	20	25	30	35	40	43	46	49	52	56	58	60
τ [s]	339,35	301,75	275,17	248,66	226,13	214,61	206,07	193,65	184,77	175,53	169,55	164,85
ν [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,017	0,904	0,825	0,745	0,678	0,643	0,618	0,580	0,554	0,526	0,508	0,494

Závislost kinematické viskozity na teplotě



graf 1

Logaritmovaná teplotní závislost kin. viskozity



graf 2

Aktivační energie $\varepsilon = (2,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-20} \text{ J.}$

IV. Diskuse

A. Kapilární viskozimetr – Mariotteova láhev

Tabulková hodnota dynamické viskozity je $\eta = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$ [3], námi zjištěná hodnota se s touto hodnotou shoduje v mezích chyb. Největší chybu dostaneme z poloměru kapiláry (protože se tento poloměr ve výpočtu vyskytuje ve čtvrté mocnině). Další chyby našeho měření byly způsobeny nepřesným odečítáním objemů a reakční dobou při měření času. Navíc kapilára nabyla zcela ve vodorovné poloze, takže tato skutečnost mohla přinést do našeho měření další chyby.

B. Ubbelohdeův viskozimetr

Při měření Ubbelohdeovým viskozimetrem máme chybu patrně při měření času, za který destilovaná voda proteče mezi ryskami (reakční doba měření), a chybu měření teploty destilované vody v přístroji. Závislost kinematické viskozity nám vyšla exponenciální.

Aktivační energie nám vyšla $\varepsilon = (2,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-20} \text{ J}$.

V. Závěr

Dynamická viskozita vody při teplotě 22°C $\eta = (9,5 \pm 1,2) \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s}$.

Závislost kinematické viskozity vod y na teplotě je exponenciální, viz graf 1.

Aktivační energie $\varepsilon = (2,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-20} \text{ J}$.

VI. Použitá literatura

[1] Úvod do teorie fyzikálních měření, Boris Sprušil, Pavla Zieleniecová, SPN, Praha, 1986

[2] Fyzikální praktikum I., D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý, SPN, Praha, 1989

[3] Fyzikální a matematické tabulky, J. Brož a kol., SNTL, Praha, 1980