

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.:XII.....

Název:.....Meranie viskozity

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 14. 4. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: **Hájek**.....dne výsledek klasifikace**1**.....

Připomínky:

V tabuľke 2 v 5. stĺpci chcel radšej hodnoty v tvare násobku 10^n .
V diskusii chcel namiesto slova "významnejšie" miernejšiu formuláciu.

Pracovné úlohy:

1. Zmerajte dynamickú viskozitu destilovanej vody pri izbovej teplote metódou výtoku kvapaliny kapilárou z Mariottovej nádoby.
2. Určite teplotnú závislosť kinematickej viskozity destilovanej vody v rozsahu teplôt od 20°C do 60°C metódou Ubbelohdeovho viskozimetra.
3. Zostrojte graf teplotnej závislosti kinematickej viskozity. Určite aktivačnú energiu deja.

Teoretická časť:

Dynamická viskozita η je veličina, ktorá vyjadruje úmernosť medzi dotyčnicovým napätím vznikajúcim medzi vrstvami prúdiacej tekutiny a zmenou rýchlosti v smere kolmom k prúdu. Kinematickou viskozitou ν nazývame podiel dynamickej viskozity a hustoty ρ

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (1)$$

Viskozita patrí medzi transportné javy. Ide o prenos hybnosti medzi dvoma susedným vrstvami kvapaliny prostredníctvom molekúl. Tento proces je procesom tepelne aktivovaným. Zmenu viskozity s teplotou môžeme charakterizovať vzťahom

$$h(T) = h_0 \exp\left(\frac{e_A}{kT}\right), \quad (2)$$

kde e_A je aktivačná energia, k je Boltzmannova konštanta a T je termodynamická teplota. Ak chceme určiť aktivačnú energiu, môžeme rovnicu (2) zlogaritovať

$$\ln h = \ln h_0 + \frac{e_A}{k} \frac{1}{T}, \quad (3)$$

t.j. dostaneme rovnicu priamky s premennými $\ln h$ a $\frac{1}{T}$. Pre smernicu tejto priamky platí

$$s = \frac{e_A}{k}. \quad (4)$$

Kapilárny viskozimeter

Meranie viskozity kapilárnym viskozimetrom je založené na Piosseuillovom vzťahu

$$V = \frac{pr^4 pt}{8hl}, \quad (5)$$

kde V je objem kvapaliny, ktorá pretečie pri laminárnom prúdení trubicou kruhového prierezu polomeru r dĺžky l za čas t pri pretlaku p .

Metóda výtoku kvapaliny z Mariottovej nádoby

Touto metódou môžeme určiť dynamickú viskozitu destilovanej vody pri izbovej teplote. Konštrukcia Mariottovej nádoby je taká, že kvapalina vyteká kapilárou pod stálym pretlakom p , ktorý môžeme určiť podľa

$$p = hrg, \quad (6)$$

kde h je výšková odľahlosť medzi spodným koncom trubice, ktorou vniká vzduch do nádoby a osou kapiláry.

Z (5) a (6) pre dynamickú viskozitu vyplýva

$$h = \frac{pd^4 hrgt}{128Vl}, \quad (7)$$

kde d je priemer kapiláry.

Aby prúdenie bolo laminárne, musí byť Reynoldsovo číslo definované vzťahom

$$Re = \frac{rRv}{h} \quad (8)$$

menšie ako 10^3 .

Rýchlosť prúdenia kvapaliny odhadneme ako

$$v = \frac{V}{pr^2t}. \quad (9)$$

Pre väčšie rýchlostí prúdenia sa musí rovnica (7) doplniť Hagenovou opravou, t.j. dostaneme

$$h = \frac{pr^4pt}{8vl} - n \frac{rv}{8plt}. \quad (10)$$

Metóda Ubbelohdeovho viskozimetru

Touto metódou môžeme určiť závislosť kinematickej viskozity na teplote, a preto Ubbelohdeov viskozimeter bol ponorený do vodného kúpeľa, ktorý sme postupne zohrievali.

Ak určíme čas, za ktorý pretečie kapilárou určité množstvo kvapaliny, tak pre kinematickú viskozitu platí

$$n = At, \quad (11)$$

kde A je kalibračná konštanta určená meraním kvapaliny známej viskozity a hustoty (je uvedená v skúšobnom liste viskozimetru).

Podmienky merania:

Podmienky merania boli určené pomocou digitálneho meracieho prístroja:

- teplota: $t = (24,6 \pm 0,1)^\circ C$
- atmosféricky tlak: $p = (9,806 \pm 0,005) \cdot 10^4 Pa$
- vlhkosť vzduchu: $(39,5 \pm 0,5)\%$

Výsledky merania:

Metóda výtoku kvapaliny z Mariottovej nádoby

Podľa [5] je pri teplote $t = (24,6 \pm 0,1)^\circ C$ hustota destilovanej vody

- $r = (997,1 \pm 0,3) kg.m^{-3}$

Pretože teplota destilovanej vody v Mariottovej nádobe sa môže od teploty vzduchu mierne líšiť, chybu jej hustoty určíme ako odchýlku hustoty pri zmene teploty o $1^\circ C$.

Vzdialenosť h oboch trubíc určíme ako rozdiel výšok h_1 a h_2 , ktoré zodpovedajú výške trubíc nad zvolenou hodnotou. Chybu určenia výšok h_1 a h_2 odhadneme na $0,1 cm$. Chybu h vzhľadom k závislosti týchto veličín určíme z lineárneho zákona prenosu chýb, vid' [3].

- $h_1 = (87,01 \pm 0,10) cm$
- $h_2 = (92,85 \pm 0,10) cm$
- $h = (5,84 \pm 0,20) cm$ $d_h = 3,4 \cdot 10^{-2}$,

kde d_h označuje relatívnu chybu h .

Pri tejto metóde určujeme dobu t , za ktorú do kadičky natieklo $V = (50,0 \pm 0,5) ml$ destilovanej vody. Chyba určenia objemu mohla vzniknúť tým, že v kadičke zostalo niekoľko kvapiek vody z predchádzajúceho merania. Dobu t som meral pomocou digitálnych stopiek riadených sieťovou frekvenciou. Meranie doby t som previedol 16-krát.

Tabuľka 1 – Dynamická viskozita η destilovanej vody

číslo merania n	doba t [s]	číslo merania n	doba t [s]
1	156,24	9	157,23
2	156,41	10	158,43
3	157,36	11	157,24
4	157,71	12	157,35
5	156,01	13	156,88
6	157,40	14	157,80
7	158,54	15	136,90
8	157,13	16	136,56
<i>priemer</i>	157,20		
σ_{stat}	0,18		

σ_{stat} je smerodajnou odchýlkou aritmetického priemeru hodnôt, vid' [3]. Systematickú chybu, t.j. chybu experimentátora σ_{exp} vzhľadom k subjektívnemu určeniu začiatku a konca odhadneme na 0,2 s. Výslednú absolútnu chybu doby t určíme ako kvadratický priemer σ_{stat} a σ_{exp} .

- $t = (157,20 \pm 0,27) s$ $d_t = 1,7 \cdot 10^{-3}$

Priemer a dĺžka kapiláry sú zadané

- $d = (1,29 \pm 0,03) mm$ $d_d = 2,3 \cdot 10^{-2}$

- $l = (147,4 \pm 0,1) mm$ $d_l = 6,8 \cdot 10^{-4}$

Hodnotu tiažového zrýchlenia určíme podľa [3]

- $g = 9,80665 m \cdot s^{-2}$

Dynamickú viskozitu destilovanej vody určíme podľa (7), jej chybu určíme z kvadratického zákona hromadenia chýb, vid' napr. [3].

- $h = (0,828 \pm 0,082) \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ $d_h = 9,9 \cdot 10^{-2}$

Zo vzťahov (8) a (9) dostávame pre Reynoldsovo číslo vzťah

- $$Re = \frac{r V}{h \rho \nu} = \frac{2 r V}{\rho d t h} \tag{12}$$

Po dosadení do (12) dostaneme hodnotu $Re \approx 190$, čo je menšie ako 10^3 , t.j. prúdenie môžeme považovať za laminárne.

Metóda Ubbelohdeovho viskozimetru

Touto metódou sme určovali závislosť kinematickej viskozity vody na teplote (podrobnosti o metóde v [2]). Teplotu prúdiacej vody sme určovali podľa teploty okolitého vodného kúpeľa. Vzhľadom k tomu, že teplota vody v kapiláre sa môže od tejto hodnoty líšiť a že teplota vodného kúpeľa môže byť na rôznych miestach rôzna, odhadneme chybu zistenej teploty na 1 °C. Merali sme dobu τ , za ktorú pretiekla voda medzi dvoma ryskami. Dobu τ sme určovali pomocou digitálnych stopiek riadených sieťovou frekvenciou. Reakčnú chybu experimentátora σ_{exp} odhadneme na 0,2 s.

Kalibračná konštanta prístroja A je uvedená v jeho skúšobnom liste

- $A = 0,002997 mm^2 s^{-2}$

Chybu A vzhľadom k ostatným chybám zanedbávame.

Kinematickú viskozitu určíme podľa (11) pre 9 rôznych teplôt. Za jej relatívnu chybu berieme relatívnu chybu merania doby τ ; na základe tejto relatívnej chyby určíme absolútnu chybu kinematickej viskozity.

Tabuľka 2 – Závislosť kinematickej v viskozity na teplote T

$t [^{\circ}\text{C}]$	$T [K]$	$\tau [s]$	$\nu \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$	$\sigma_{\nu} \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$	$\delta_{\nu} [\%]$
20,0	293,15	339,06	1,0162	0,0006	0,06
25,5	298,65	297,58	0,8918	0,0006	0,07
30,0	303,15	273,21	0,8188	0,0006	0,07
35,5	308,65	245,92	0,7370	0,0006	0,08
40,0	313,15	226,43	0,6786	0,0006	0,09
45,0	318,15	206,13	0,6178	0,0006	0,10
50,0	323,15	190,59	0,5712	0,0006	0,10
55,0	328,15	178,09	0,5337	0,0006	0,11
60,0	333,15	166,14	0,4979	0,0006	0,12

σ_{ν} označuje absolútnu chybu kinematickej viskozity a δ_{ν} relatívnu chybu kinematickej viskozity. Namerané hodnoty viskozity ν v závislosti na teplote T spracujeme v premenných $\ln \nu$ a $1/T$ metódou lineárnej regresie pomocou programu *Origin* (v týchto premenných je závislosť podľa teórie lineárna). Túto závislosť znázorňuje priložený graf 1. Chyba merania je zanedbateľná, význam má uvažovať iba štatistickú chybu danú rozptylom nameraných hodnôt od regresnej priamky. Pre koeficienty lineárnej funkcie podľa vzťahu (3) platí

- $\ln n_0 = (-19,8 \pm 0,1)$ $d_{n_0} = 5,1 \cdot 10^{-3}$
- $s = \frac{e_A}{k} = (1740 \pm 30) K$ $d_s = 1,7 \cdot 10^{-2}$

Hodnotu Boltzmannovej konštanty uvažujeme podľa [4]

- $1,380658 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$,

chybu Boltzmannovej konštanty uvedenú v [4] považujeme za zanedbateľnú voči chybe s . Hodnotu aktivačnej energie určíme podľa (4), pričom jej relatívna chyba bude rovnaká ako relatívna chyba smernice s (na základe tejto relatívnej chyby určíme absolútnu chybu aktivačnej energie)

- $e_A = (24,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-21} J = (0,150 \pm 0,003) eV$ $d_{e_A} = 1,7 \cdot 10^{-2}$

Závislosť kinematickej viskozity ν na teplote T znázorňuje priložený graf 2. Preloženú exponenciálnu krivku dostaneme spracovaním podľa programu *Origin*.

Diskusia výsledkov:

Metóda výtoku kvapaliny z Mariottovej nádoby

Táto metóda na určenie dynamickej viskozity destilovanej vody sa ukázala ako nie príliš presná. Stredná hodnota nameranej dynamickej viskozity $h = (0,828 \pm 0,082) \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ sa od tabuľkovej hodnoty pri 25°C uvedenej v [6] $h_{tab} = 0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ mierne odlišuje, no v rámci chyby sa obe hodnoty zhodujú. Na chybe viskozity sa najviac podieľa chyba určenia polomeru kapiláry, pretože vo vzťahu (7) sa táto chyba vyskytuje vo štvrtej mocnine. Ďalej k chybe viskozity významnejšie prispieva nepresnosť určenia h (pri ústí trubičky sa vytvárali bubliny, a tým mierne menili h) a objemu V . Presnosť merania objemu by sa dala zlepšiť tým, že pred každým meraním by sme kadičku vytreli dosucha, aby v nej nezostali žiadne kvapky. Chybu hustoty vody v nádobe môžeme vzhľadom k veľkostiam ostatných chýb zanedbať.

Na výpočet viskozity som použil vzťah (7), ten môžeme použiť len, ak Reynoldsovo číslo (12) je menšie ako 10^3 . Pre náš experiment vychádza $Re \approx 190$, t.j. vzťah (7) je splnený.

Metóda Ubbelohdeovho viskozimetru

Meranie viskozity touto metódou sa ukázalo ako presnejšie. Pri meraní bolo potrebné dávať pozor, aby sa ustálila teplotná rovnováha medzi vodným kúpeľom a kvapalinou vo viskozimetre a nevznikla veľká chyba tým, že meriame teplotu vo vodnom kúpeli a nie priamo teplotu vody vo viskozimetre. Na výsledok má najväčší vplyv rozptyl nameraných hodnôt spôsobených náhodnými chybami; väčším počtom meraní by sme dostali presnejšie výsledky. Graf 2, ktorý znázorňuje závislosť kinematickej viskozity na teplote, zodpovedá teoretickým predpokladom. Transformovaná závislosť znázornená v premenných $\ln n$ a $1/T$ je lineárna; na základe tejto závislosti sme určili aktivačnú energiu transportného deja.

Z grafu 2 môžeme určiť hodnotu kinematickej viskozity vody pri teplote $25\text{ }^\circ\text{C}$, $n = 0,892 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, tomu zodpovedá podľa (1) dynamická viskozita $h = 0,889 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, ktorá dobre zodpovedá tabuľkovej hodnote uvedenej v [5] $h = 0,8937 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Vypočítaná aktivačná energia $e_A = (24,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-21} \text{ J} = (0,150 \pm 0,003) \text{ eV}$ je v zhode s hodnotou uvedenou v [7].

Záver:

Zmeral som dynamickú viskozitu destilovanej vody pri teplote $t = (24,6 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ metódou výtoku z Mariottovej nádoby

$$h = (0,828 \pm 0,082) \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad d_h = 9,9 \cdot 10^{-2}.$$

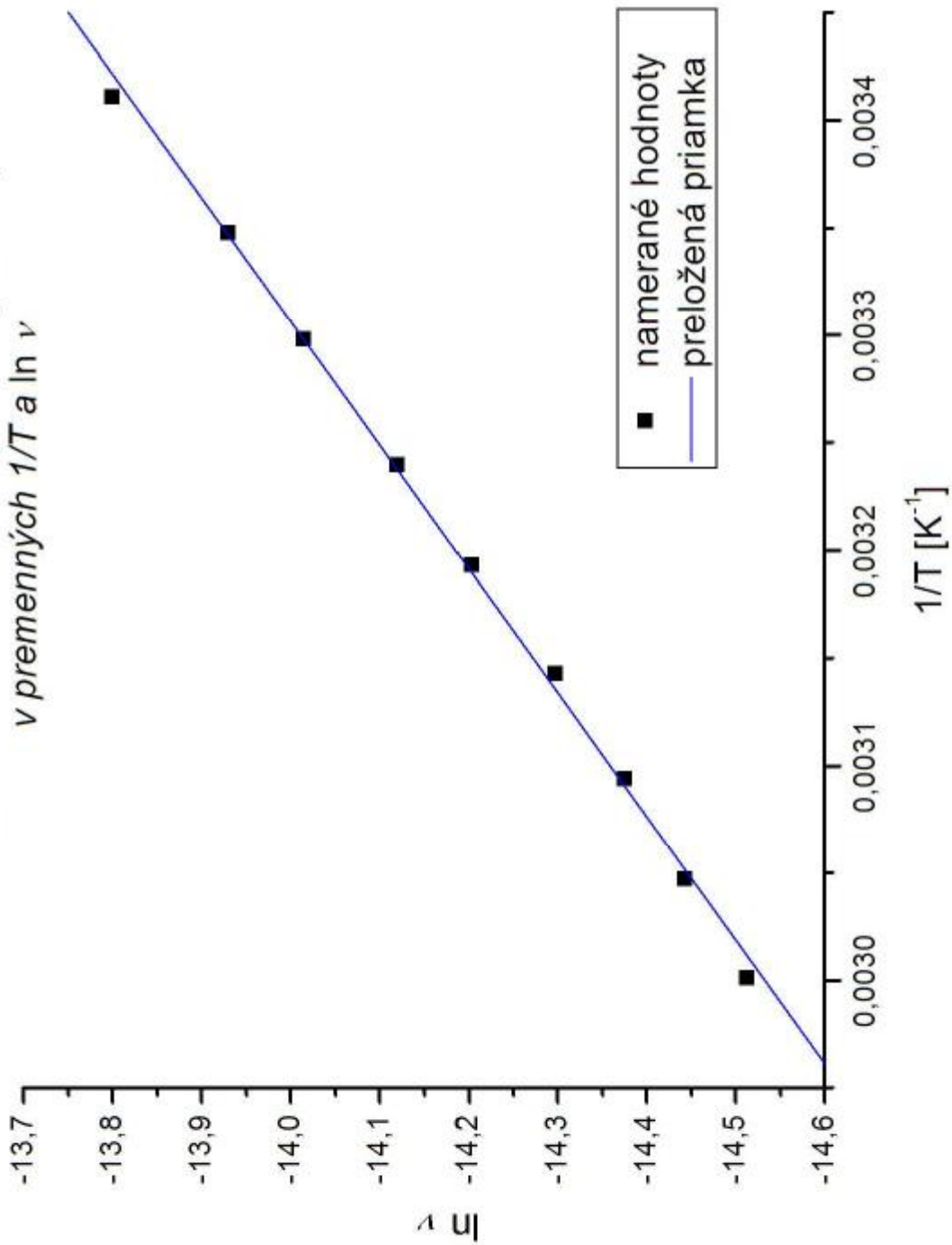
Metódou Ubbelohdeovho viskozimetru sme určili závislosť kinematickej viskozity vody v rozmedzí od $20\text{ }^\circ\text{C}$ do $60\text{ }^\circ\text{C}$. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 2 a vynesené v grafoch 1 (v premenných $\ln n$ a $1/T$) a 2 (v premenných v a T). Z grafu 1 som učil metódou lineárnej regresie pomocou programu *Origin* aktivačnú energiu transportného deja

$$e_A = (24,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-21} \text{ J} = (0,150 \pm 0,003) \text{ eV} \quad d_{e_A} = 1,7 \cdot 10^{-2}.$$

Literatúra:

- [1] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálných měření I; SPN; Praha 1967
- [2] Študijný text z www stránky fyzikálneho praktika MFF UK
- [3] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000
- [4] Mikulčák, J. a kol.; Matematické, fyzikálne a chemické tabuľky pre SŠ; SPN; Bratislava 2002
- [5] http://www.simetric.co.uk/si_water.htm#tenth
- [6] <http://www.converter.cz/tabulky>
- [7] Bakule, R., Brož, J.; Molekulová fyzika; Univerzita Karlova; Praha 1989

Graf 1 - Závislosť kinematickej viskozity ν na teplote T
 v premenných $1/T$ a $\ln \nu$



Graf 2 - Závislosť kinematickej viskozity ν
v závislosti na teplote T

