

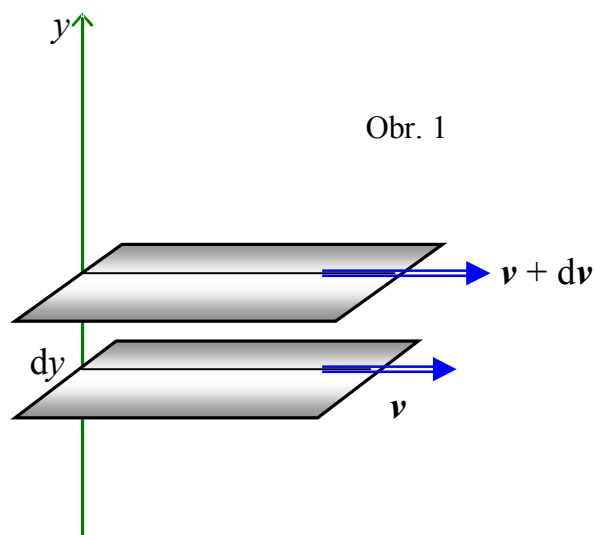
Viskozita Newtonských kapalin

Úkol: Změřit dynamickou viskozitu destilované vody absolutní metodou a její závislost na teplotě relativní metodou.

Potřeby: Viz seznam v deskách u úlohy na pracovním stole.

Obecná část:

Na rozdíl od ideální kapaliny nejsou reálné kapaliny dokonale tekuté. Při laminárním proudění reálné kapaliny trubicí se zvyšuje její rychlost směrem ke středu trubice. Vrstva kapaliny mající vyšší rychlost se snaží zrychlovat vrstvu pomalejší a naopak pomalejší brzdí rychlejší. Mezi vrstvami kapaliny, jež se pohybují různou rychlostí, tak vzniká tečné napětí t - dochází k vnitřnímu tření v reálné kapalině.



Veličinou, jež charakterizuje míru tohoto tření, je **dynamická viskozita** h . Je vlastně konstantou úměrnosti ve vztahu vyjadřujícím přímou úměrnost mezi velikostí tečného napětí t a rychlostním spádem dv/dy (tj. poměrem přírůstku velikosti rychlosti dv ve vrstvách vzdálených o dy kolmo na směr proudění - viz obr. 1 - ku této vzdálenosti). Platí

$$t = h \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

V soustavě SI je jednotkou dynamické viskozity jeden $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, používá se také ekvivalentní Pa.s.

Podíl dynamické viskozity h a hustoty r dané kapaliny pak definuje další charakteristickou veličinu reálných kapalin **kinematickou viskozitu**

$$\nu = \frac{h}{r} \quad (2)$$

Její jednotkou v soustavě SI je jeden $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Proudí-li kapalina laminárně úzkou trubicí, je její rychlost u stěny nulová a lze odvodit, že nárůst rychlosti ve směru kolmém na směr proudění roste se čtvercem vzdálenosti od stěny. Na základě této skutečnosti odvodil francouzský lékař a fyzik Jean-Louis Marie Poiseuille [poazej] (1799 – 1869) vztah pro objem V kapaliny proteklé trubicí za dobu T ve tvaru

$$V = \frac{p \cdot r^4}{8h} \cdot \frac{\Delta p}{\ell} \cdot T \quad (3)$$

kde r je poloměr trubice, ℓ její délka, h dynamická viskozita kapaliny a Δp tlakový rozdíl mezi konci trubice.

Je-li tlakový rozdíl Δp způsoben hydrostatickým tlakem kapaliny samotné (např. při výtoku kapaliny z nádoby opatřené na boku trubici či kapilárou), platí

$$\Delta p = h \cdot r \cdot g \quad ,$$

kde h je výška hladiny kapaliny nad výtokovým otvorem, r její hustota a g tíhové zrychlení. V takovém případě lze ze vztahu (3) vyjádřit dynamickou viskozitu výrazem

$$h = \frac{\rho r^4 h r g T}{8 \ell V} \quad (4)$$

Známe-li nebo změříme-li hodnoty r , ℓ , h , r , V a T , můžeme pak dynamickou viskozitu dané kapaliny snadno vypočítat.

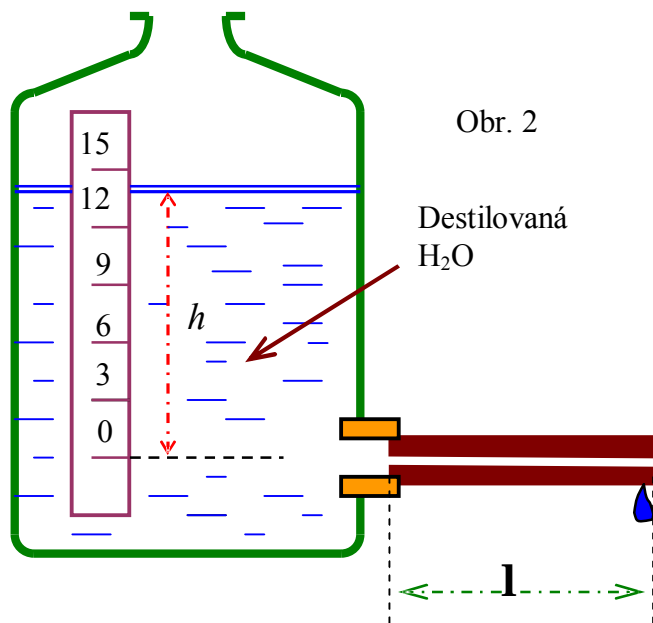
Postup měření :

I. Absolutní metoda měření dynamické viskozity při pokojové teplotě

K měření koeficientu viskozity použijeme nádobu dostatečného průměru s bočním otvorem, v němž je připevněna trubice s kapilárou (viz obr. 2). Průtok kapaliny právě touto kapilárou umožní získat potřebné údaje do vztahu (4) pro výpočet dynamické viskozity kapaliny. Tou bude v našem případě destilovaná voda.

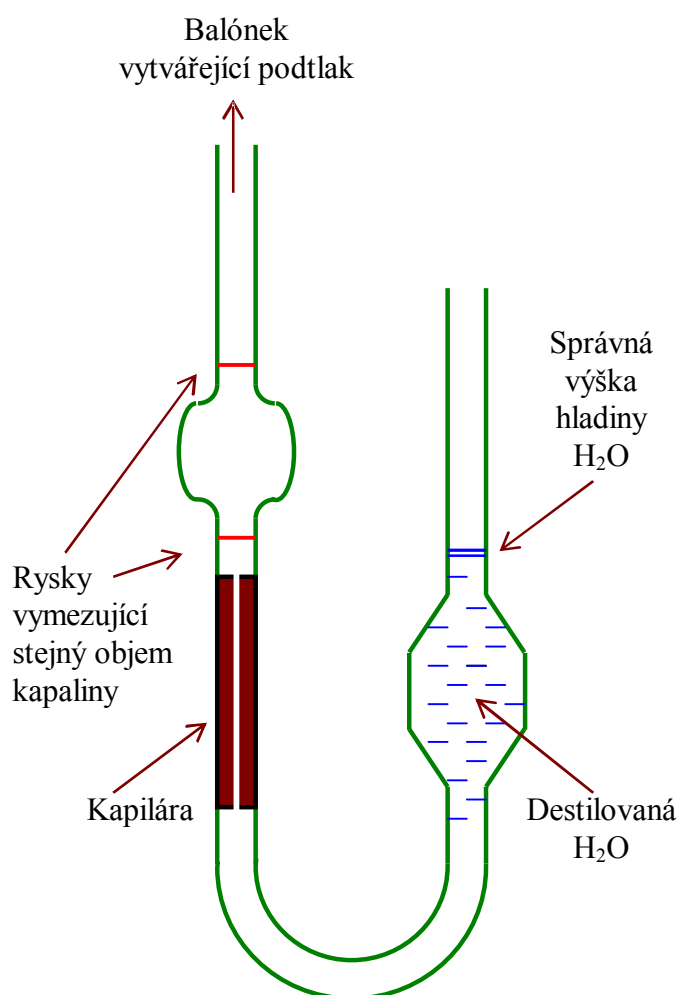
Tlakový rozdíl mezi konci kapiláry Δp je způsoben právě hydrostatickým tlakem kapaliny v nádobě, jejíž výšku h lze měřit na milimetrovém měřítku. Je-li průměr nádoby dostatečně velký a je-li objem V vyteklé kapaliny naopak malý, zůstane výška hladiny h vzhledem k ose kapiláry během měření konstantní.

Poloměr r kapiláry bude zadán, její délku ℓ změříte posuvným měřítkem, dobu výtoku T stopkami, objem V vyteklé kapaliny odměrným válcem, hustotu kapaliny r při příslušné teplotě t odečtete v tabulkách. Dynamickou viskozitu h pak vypočítáte pomocí vztahu (4).



II. Relativní měření Ostwaldovým viskozimetrem – závislost dynamické viskozity na teplotě

Dynamická viskozita h je veličinou, jež **silně závisí na teplotě kapaliny**. Tuto závislost lze změřit např. pomocí Ostwaldova viskozimetru, jenž je schématicky naznačen na obr. 3. Po nasátí měřené kapaliny do levého ramene viskozimetru se měří čas T , jenž potřebuje k průtoku kapilárou kapalina o objemu obsaženém v horní baňce. Tento objem je přesně definován dvěma ryskami (jedna je nad a druhá pod touto baňkou). Přetlak Δp , pod nímž kapalina protéká Ostwaldovým viskozimetrem, je časově proměnný (hladina kapaliny klesá) a navíc závisí i na hustotě měřené kapaliny, jež se s teplotou také mění! Aby bylo měření prováděno správně a pokaždé za stejných podmínek, je nutné aby viskozimetr zaujímal stále přesně svislou polohu.



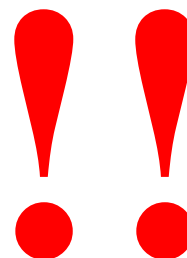
Obr. 3

Teplotní závislost dynamické viskozity

$$h = f(t)$$

destilované vody vyšetřujeme tak, že Ostwaldův viskozimetr ponoříme do vodní lázně, jejíž teplotu t regulujeme pomocí termostatu. Protože se u tohoto měření jedná o relativní metodu, **musíme nutně znát počáteční hodnotu dynamické viskozity h_0** námi měřené kapaliny při výchozí teplotě t_0 . K této hodnotě h_0 je pak nutné všechny další výpočty z měření při vyšších teplotách t vztahovat!

Ve vašem případě bude touto známou výchozí hodnotou dynamická viskozita h_0 zjištěná absolutní metodou při pokojové teplotě t_0 předchozím měřením.



První měření relativní metody s Ostwaldovým viskozimetrem proto provádíme vždy při stejné teplotě jako metodu první (tj. absolutní). Změříme dobu průtoku kapaliny T_0 , a pak postupně zvyšujeme teplotu a stejným způsobem v měření pokračujeme. Tlakový rozdíl mezi na konci kapiláry není v tomto případě konstantní (výška h hladiny vody postupně klesá!), a proto nelze vycházet při výpočtu přímo ze vztahu (4). Je-li však viskozimetr stále ve stejné svislé poloze, probíhá pokles výšky při všech měřeních stejně, a pak lze psát, že pro dynamické viskozity platí

$$h_0 = \textit{konst.} \cdot r_0 \cdot T_0 \quad \text{pro výchozí teplotu } t_0, \text{ resp.}$$

$$h_n = \textit{konst.} \cdot r_n \cdot T_n \quad \text{pro libovolnou teplotu } t_n,$$

kde *konst.* je jistá konstanta charakterizující daný viskozimetr, r_0 a r_n hustoty měřené kapaliny při teplotách t_0 a t_n a T_0 a T_n pak příslušné doby průtoků kapaliny viskozimetrem při těchto teplotách.

Dáme-li poslední dva vztahy do poměru, dostáváme hledaný výraz pro dynamickou viskozitu kapaliny h_n při teplotě t_n

$$h_n = h_0 \cdot \frac{r_n}{r_0} \cdot \frac{T_n}{T_0} \quad (5)$$

Úkoly:

1) Stanovte dynamickou viskozitu h_0 destilované vody **absolutní metodou** při pokojové teplotě t_0 .

Při tomto měření proveďte postupně pět měření při různých výškách hladiny h kapaliny v nádobě. Výšku volte alespoň 10 cm! Objem V kapaliny proteklé kapilárou určujte odměrným 10 ml válcem, délku kapiláry změřte posuvným měřítkem, čas stopkami. Poloměr r kapiláry je znám, ten neměříte – je uveden přímo na kapiláře.

Výsledky měření uvádějte v následující tabulce I:

Tabulka I: Absolutní metoda měření dynamické viskozity

$$r_0 = \dots\dots\dots \text{ kg.m}^{-3}$$

$$l = \dots\dots\dots \text{ m}$$

$$V = 10 \text{ ml}$$

$$r = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

$$t_0 = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$$

n	h (cm)	T (s)	h_0 ($\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$)
1			
5			

$$\bar{h}_0 = \dots\dots\dots \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

Výpočet provádějte pomocí vztahu (4). Ze získaných výsledků jednotlivých měření pak určete **průměrnou hodnotu dynamické viskozity** \bar{h}_0 při teplotě t_0 , **pravděpodobnou chybu** tohoto průměru a **relativní chybu** měření.

2) Proveďte **měření teplotní závislosti** dynamické viskozity destilované vody.

Viskozitu měříte relativní metodou pomocí Ostwaldova viskozimetru. Měření začnete při stejné teplotě t_0 , při níž jste prováděli metodu absolutní. Pak postupně zvyšujte teplotu zhruba po pěti stupních (**maximálně však do 60 °C !!!**). Před každým měřením ale vyčkejte několik minut, aby se ustálila teplota v celém objemu aparatury. Dobu průtoku T_0 , resp. T_n daného objemu destilované vody viskozimetrem měřte při každé teplotě **vždy třikrát** (zvýšíte tím přesnost metody) !

Hodnoty dynamické viskozity h_n vypočítáte ze vztahu (5), do něhož dosazujete vždy průměrnou hodnotu času ze tří provedených měření při každé teplotě. Hustotu vody při příslušné teplotě t_n odečtete z tabulek.

Naměřené hodnoty a výsledky zapisujte do následující **tabulky II**:

n	T_n (°C)	r_n (kg.m ⁻³)	T_n (s)	\overline{T}_n (s)	h_n (kg.m ⁻¹ .s ⁻¹)
1	t_0	r_0	...	\overline{T}_0	\overline{h}_0 (známe)
2
3
4
5
6

3) Výsledky relativní metody **zpracujte graficky**. Na vodorovnou osu nanášejte teplotu t , na osu svislou pak dynamickou viskozitu h . Do stejného grafu rovněž zakreslete závislost $h = f(t)$ vynesenu z tabulkových hodnot, **obě křivky porovnejte a rozdíly vysvětlete!**