

Měření dynamické viskozity kapalin

Úkol č. 1: Změřte dynamickou viskozitu denaturovaného lihu a stolního oleje Ubbelohdeho viskozimetrem.

Pomůcky

Ubbelohdeův viskozimetr, vodní lázeň 5000 ml, teploměr laboratorní s rozsahem 0 - 50°C, kádinka 1000 ml, skleněná nálevka, stopky, injekční stříkačka, destilovaná voda, denaturovaný líh, stolní olej.

Teorie

Pohybují-li se dvě sousední vrstvy kapaliny, vzdálené od sebe o dy , různými rychlostmi v a dv , pak mezi nimi vzniká následkem vnitřního tření tečné napětí

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

přičemž $\overline{dv} \perp \overline{dy}$. Konstanta úměrnosti η je pro různé kapaliny různá a nazývá se dynamická viskozita. Její jednotkou v SI je $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$. Podíl dynamické viskozity η a hustoty ρ dané kapaliny při téže teplotě

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

nazýváme kinematickou viskozitou a její jednotkou v SI je $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Viskozita výrazně závisí na teplotě. U kapalin s rostoucí teplotou rychle klesá, u plynů roste přímo úměrně s druhou odmocninou z absolutní teploty.

Viskozitu měříme přístroji zvanými viskozimetry. Měření viskozity kapalin kapilárním viskozimetrem je založeno na skutečnosti, že doby průtoku τ_1 a τ_2 stejných objemů dvou různých kapalin toutéž kapilárou jsou ve stejném poměru jako jejich kinematické viskozity ν_1 a ν_2 . Platí tedy $\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$, odkud po dosazení z (2) dostáváme

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\eta_1 \rho_2}{\rho_1 \eta_2}, \quad (3)$$

kde η_1 a η_2 jsou příslušné dynamické viskozity.

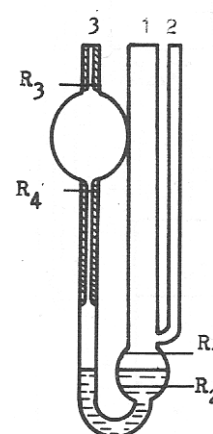
Jestliže dynamickou viskozitu druhé kapaliny η_2 známe (druhou kapalinu pak označujeme jako srovnávací), můžeme ze vztahu (3) neznámou viskozitu první kapaliny vyjádřit jako

$$\eta_1 = \frac{\tau_1 \rho_1}{\tau_2 \rho_2} \eta_2 \quad (4)$$

Při měření použijeme kapilární průtokový viskozimetr Ubbelohdeho konstrukce (obr.1). Viskozimetr musí být při měření průtoku ve svislé poloze. Aby bylo možné použít vztahu (4), musí mít zkoumaná i srovnávací kapalina stejnou teplotu. Z tohoto důvodu je viskozimetr umístěn v přesně temperované vodní lázni.

Postup měření

1. Do nejširšího ramene (1) Ubbelohdeho viskozimetru umístěného do přesně temperované vodní lázně nalijeme takový objem zkoumané kapaliny (denaturovaný líh, stolní olej), aby její hladina po nalití byla mezi ryskami R_1 a R_2 .
2. Vyčkáme 4 – 5 minut, než se kapalina zahřeje na teplotu lázně.
3. Na trubici s kapilárou (3) nasadíme hadičku s balónkem (nebo injekční stříkačkou) a jeho stlačením (nebo nasátím vzduchu do stříkačky) a ucpáním trubice (2) prstem přemístíme kapalinu do trubice (3) nad její rozšířenou horní část (nad rysku R_3).
4. Po odstranění balónku a odkrytí trubice (2) necháme zkoumanou kapalinu protékat kapilárou a přitom měříme časový interval τ_1 mezi okamžiky, v nichž klesající hladina mívá rysky R_3 , R_4 viskozimetru. Měření provedeme celkem pětkrát, naměřené hodnoty si zapíšeme do předem připravené tabulky (Tabulka 1).
5. Zkoumanou kapalinu z viskozimetru vylijeme, propláchneme ho destilovanou vodou a měření zopakujeme pro tuto srovnávací kapalinu o známé viskozitě η_2 . Před prvním měřením je opět třeba počkat 4 – 5 minut, než se voda zahřeje na příslušnou teplotu. Dobu jejího průtoku τ_2 změříme rovněž pětkrát.
6. Hustotu zkoumané kapaliny ρ_1 změříme hustoměrem. Hustotu ρ_2 a viskozitu η_2 pro změřenou teplotu srovnávací kapaliny nalezneme v tabulkách.
7. Získané hodnoty $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$, ρ_1 , ρ_2 a η_2 dosadíme do vztahu (4).



Obrázek 1: Ubbelohdeho kapilární viskozimetr.

Tabulka 1: Zpracování měření času průtoku kapaliny viskozimetrem.

n	τ_1 (s)	Δ (s)	Δ^2 (s ²)	τ_2 (s)	Δ (s)	Δ^2 (s ²)
1						
2						
3						
4						
5						
	$\bar{\tau}_1 =$	$\sum \Delta =$	$\sum \Delta^2 =$	$\bar{\tau}_2 =$	$\sum \Delta =$	$\sum \Delta^2 =$

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (4) vyplývá, že nepřímo měřená dynamická viskozita je funkcí tří přímo měřených veličin $\eta_1 = \eta_1(\tau_1, \tau_2, \rho_1)$. (η_2 a ρ_2 jsou hodnoty z tabulek, budeme je považovat za konstanty). Chybu měření proto udává vztah

$$\bar{\Delta}\eta_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta_1}{\partial\tau_1}\right)^2 |\bar{\Delta}\tau_1|^2 + \left(\frac{\partial\eta_1}{\partial\tau_2}\right)^2 |\bar{\Delta}\tau_2|^2 + \left(\frac{\partial\eta_1}{\partial\rho_1}\right)^2 |\bar{\Delta}\rho_1|^2}. \quad (5)$$

Po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\eta_1}{\partial\tau_1} = \frac{\rho_1}{\tau_2\rho_2}\eta_2, \quad \frac{\partial\eta_1}{\partial\tau_2} = -\frac{\tau_1\rho_1}{\tau_2^2\rho_2}\eta_2 \quad \text{a} \quad \frac{\partial\eta_1}{\partial\rho_1} = \frac{\tau_1}{\tau_2\rho_2}\eta_2$$

do (5) s využitím vztahu (4)

$$\bar{\Delta}\eta_1 = \bar{\eta}_1 \sqrt{\left(\frac{|\bar{\Delta}\tau_1|}{\tau_1}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta}\tau_2|}{\tau_2}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta}\rho_1|}{\rho_1}\right)^2}. \quad (6)$$

Chybu měření časových intervalů $\bar{\Delta}\tau_1$, $\bar{\Delta}\tau_2$ vypočítáme při zpracování výsledků přímého měření podle Tabulky 1, střední chybu hustoty $\bar{\Delta}\rho_1$ volíme podle použitého hustoměru (polovina nejmenšího dílku stupnice).

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 5.4.0 Měření viskozity, s. 100. 5.4.1 Měření viskozity kapalin kapilárním viskozimetrem, s. 100-102.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1967. 2.5.3.1 Kapilární (výtokové) viskozimetry, s. 136-138.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.10 Dynamická a kinematická viskozita, s. 120.

Úkol č. 2: Změřte dynamickou viskozitu denaturovaného lihu a stolního oleje pomocí tělískového viskozimetru (Stokesovou metodou).

Pomůcky:

Tělískový viskozimetr, laboratorní teploměr s rozsahem 0 - 50°C, kádinka 200 ml, skleněná nálevka, stopky, destilovaná voda, denaturovaný líh, stolní olej, tabulky, utěrka.

Teorie:

Tělískové viskozimetry jsou zařízení, u kterých se dynamická viskozita určuje z rychlosti pádu tělíska v měřené kapalině. V našem případě použijeme srovnávací metodu. Nejprve změříme čas pádu tělíska v kapalině, jejíž dynamickou viskozitu η_e známe (např. destilovaná voda) a stanovíme konstantu K , charakteristickou pro dané tělísko (kuličku)

$$K = \frac{\eta_e}{(\rho_r - \rho)\tau}, \quad (1)$$

kde ρ_r je hustota kuličky, ρ je hustota kapaliny, jejíž viskozitu známe a τ je doba pádu tělíska v této kapalině.

Pomocí zjištěné konstanty můžeme stanovit dynamické viskozity jiných kapalin podle vztahu

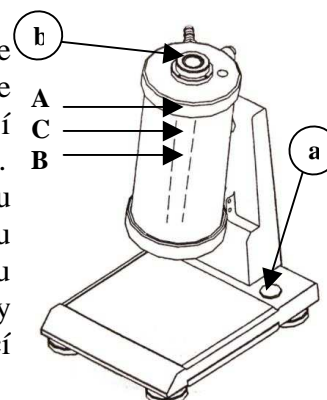
$$\eta_x = K(\rho_r - \rho_x)\tau_x, \quad (2)$$

kde η_x je neznámá viskozita zkoumané kapaliny, ρ_x její hustota, ρ_r hustota kuličky, a τ_x je doba pádu tělíska ve zkoumané kapalině. Dosazením vztahu (1) do (2) získáme výsledný vztah pro neznámou viskozitu

$$\eta_x = \frac{\eta_e \cdot (\rho_r - \rho_x) \cdot \tau_x}{(\rho_r - \rho) \cdot \tau}. \quad (3)$$

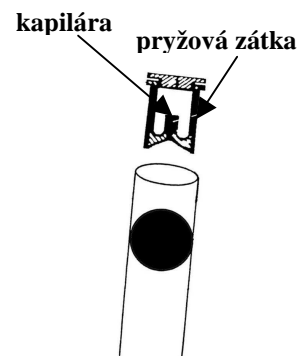
Postup měření:

1. Změříme teplotu destilované vody a v tabulkách najdeme hustoty jednotlivých kapalin (destilované vody, stolního oleje a denaturovaného lihu). U destilované vody zjistíme také její dynamickou viskozitu a všechny zjištěné hodnoty si zapíšeme.
2. Viskozimetr ustavíme do rovnovážné polohy podle obrázku (Obrázek 2), vzduchová bublinka musí být přesně ve středu terčíku a. Uvolníme šroubový uzávěr b, vytáhneme pryžovou zátku (Obrázek 3) a nalijeme destilovanou vodu tak, aby hladina kapaliny byla cca 20 mm pod horním okrajem měřící trubice.

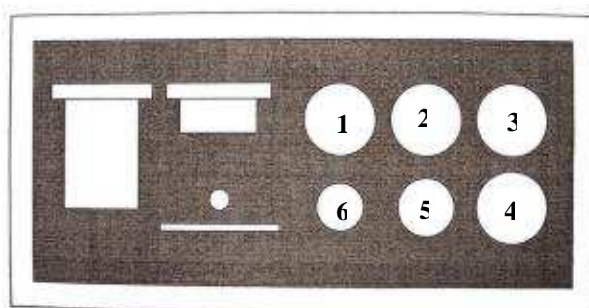


3. Vybereme kuličku¹ (Obrázek 3 a 4) a z Tabulky 1 si zapíšeme její hustotu ρ_r .
4. Kuličku vložíme do měřicí trubice (Obrázek 3), zatlačíme pryžovou zátku (část kapaliny musí vytéct kapilárou, tím se kapalina zbaví vzduchových bublin) a zašroubujeme. Pomocí otočného uložení dvakrát překlopíme měřicí trubici a necháme kuličku propadnout celým objemem měřicí trubice (tím se zajistí homogenita kapaliny). Nyní je již vše připraveno k měření.
5. Po překlopení měřicí trubice vždy měříme čas τ , za který kulička rovnoměrným pohybem urazí vzdálenost mezi kroužky A a B (Obrázek 2). Pro danou kapalinu provedeme deset měření, hodnoty zapisujeme do tabulky (Tabulka 3).
6. Vylijeme destilovanou vodu a měřicí trubici důkladně očistíme.²
7. Do měřicí trubice nalijeme denaturovaný líh a provedeme deset měření. Po skončení měření kapalinu vylijeme a důkladně vyčistíme měřicí trubici.
8. Do měřicí trubice nalijeme stolní olej a opět provedeme deset měření. Hodnoty τ_x zapisujeme do Tabulky 3.
9. Celý přístroj důkladně vyčistíme lihem.
10. Získané hodnoty dosadíme do vztahu (3) a výsledek zapíšeme ve tvaru $\bar{\eta} = (\bar{\eta} \pm \Delta\eta)$.

Obrázek 2: Popis hlavních součástí viskozimetru.



Obrázek 3: Popis hlavních součástí měřicí trubice.



Obrázek 4: Sada kuliček.

Tabulka 2: Hustoty kuliček uváděné výrobcem.

číslo kuličky	hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	poloměr (mm)	materiál
1	2200	7,91	borito-křemičité sklo
2	2200	7,8	borito-křemičité sklo
3	8100	7,8	slitina Fe - Ni
4	8100	7,6	slitina Fe - Ni
5	7900	7	ocel
6	7900	5,5	ocel

Tabulka 3: Zpracování výsledků měření doby

¹ Doporučujeme vybrat kuličku č. 3. V průběhu měření již nelze kuličku měnit.

² Můžete odšroubovat oba uzávěry a trubicí protáhnout gumové kolečko na tyčince.

průchodu kuličky mezi kroužky A a B.

n	τ_1 (s)	Δ (s)	Δ^2 (s ²)
1			
.			
.			
.			
10			
	$\bar{\tau}_1 =$	$\sum \Delta =$	$\sum \Delta^2 =$

Chyba měření:

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Pokud budeme tabelované hodnoty η_e , ρ_r , ρ a ρ_x považovat za konstanty, potom ze vztahu (3) vyplývá, že nepřímo měřená dynamická viskozita je funkcí dvou přímo měřených veličin $\eta_x = \eta_x(\tau_x, \tau)$. Chybu měření proto udává vztah

$$\bar{\Delta\eta}_x = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta_x}{\partial\tau_x}\right)^2 |\bar{\Delta\tau}_x|^2 + \left(\frac{\partial\eta_x}{\partial\tau}\right)^2 |\bar{\Delta\tau}|^2}. \quad (4)$$

Po dosazení parciálních derivací (s využitím (3))

$$\frac{\partial\eta_x}{\partial\tau_x} = \frac{\eta_x}{\tau_x} \text{ a } \frac{\partial\eta_x}{\partial\tau} = -\frac{\eta_x}{\tau}$$

do (4) a úpravách získáme vztah

$$\bar{\Delta\eta}_x = \eta_x \sqrt{\left(\frac{|\bar{\Delta\tau}_x|}{\tau_x}\right)^2 + \left(\frac{|\bar{\Delta\tau}|}{\tau}\right)^2}.$$

Chybu měření časových intervalů $\bar{\Delta\tau}_x$, $\bar{\Delta\tau}$ vypočítáme při zpracování výsledků přímého měření podle Tabulky 3.

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 5.4.1 Měření viskozity kapalin Stokesovou metodou, s. 103-105.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1967. 2.5.3.2 Tělískové viskozimetry, s. 138-139.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.10 Dynamická a kinematická viskozita, s. 120.