

XII. Měření viskozity

Veličiny charakterizující viskozitu

Dynamickou viskozitou η kapaliny rozumíme veličinu vyjadřující úměrnost mezi tečným napětím τ , které vzniká mezi vrstvami proudící reálné kapaliny a změnou rychlosti du/dy ve směru kolmém k proudu

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

Kinematickou viskozitou ν kapaliny nazýváme podíl dynamické viskozity η a hustoty ρ

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

Viskozita patří mezi transportní jevy. Jde v podstatě o přenos hybnosti mezi dvěma sousedními vrstvami kapaliny realizovaný prostřednictvím molekul. Tento proces je procesem tepelně aktivovaným. Změnu viskozity s teplotou můžeme charakterizovat vztahem

$$\eta(T) = \eta_0 \exp\left(\frac{\varepsilon_A}{k_B T}\right) , \quad (3)$$

kde ε_A je aktivační energie, k_B Boltzmanova konstanta, T termodynamická teplota a η_0 konstanta.

Chceme-li určit aktivační energii, lze rovnici (3) zlogaritmovat,

$$\ln(\eta) = \ln(\eta_0) + \frac{\varepsilon_A}{k_B} \cdot \frac{1}{T} , \quad (4)$$

dostaneme tedy rovnici přímky v proměnných $\ln(\eta)$ a $1/T$.

Kapilární viskoskozimetry

Měření viskozity kapilárními viskozimetry je založeno na Poisseuillově vztahu

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

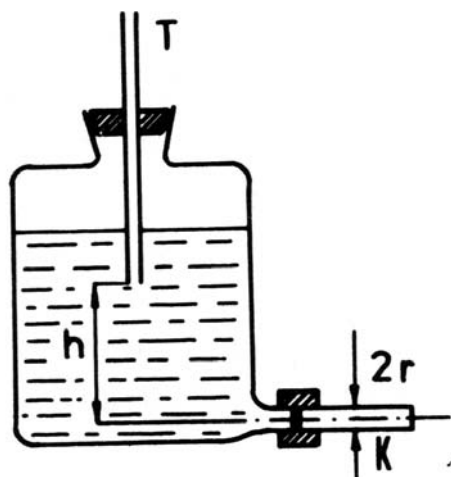
kde V je objem kapaliny, která proteče při laminárním proudění trubicí kruhového průřezu poloměru r délky l za dobu t při přetlaku p .

Aby proudění bylo laminární, musí být Reynoldsovo číslo Re definované vztahem

$$Re = \frac{2r\rho u}{\eta} \quad (6)$$

menší než 2×10^3 , kde u je střední rychlost proudění v trubici. Pro větší rychlosti proudění je třeba rovnici (5) doplnit Hagenovou opravou a vycházet tak ze vztahu

$$\eta = \frac{\pi r^4 p t}{8 V l} - n \frac{\rho V}{8 \pi l t}, \quad (7)$$



Obr. 1

kde n je číselný koeficient zpravidla blízký hodnotě 1,1.

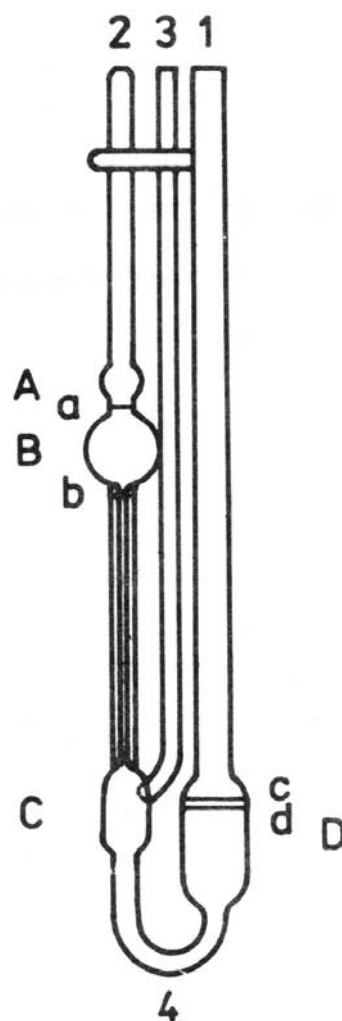
Měření dynamické viskozity lze provést způsobem naznačeným na obr. 1. Z *Mariotteovy lahve* se nechá vytékat kapilárou délky l a poloměru r po dobu t kapalina. Konstrukce lahve zaručuje, že kapalina vytéká kapilárou pod stálým přetlakem

$$p = h \rho g, \quad (8)$$

kde h je výšková odlehlost mezi spodním koncem trubice T a osou kapiláry K , ρ je hustota kapaliny a g tíhové zrychlení.

Poloměr kapiláry je zadán nebo se měří pomocí mikroskopu s okulárním mikrometrem, výška h se měří katetometrem, objem vyteklé kapaliny V lze stanovit odměrným válcem. Pro měření doby t jsou připraveny stopky, pro měření délky l pásové a dotykové měřítko nebo je délka zadána. ($r \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $l \approx 1 \cdot 10^{-1} \text{ m}$, $h \approx 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ jsou orientační hodnoty pro odhad chyb dílčích měření.)

Pro poměrná měření kinematické viskozity lze užít *Ubbelohdeova viskozimetru*, který je znázorněn na obr. 2. Jeho hlavní součástí je svislá měrná kapilára, která spojuje baňku B s baňkou C . Kapilárou se nechá protékat vždy stejný objem kapaliny, vymezený značkami a , b . Pro rychlejší manipulaci je viskozimetr opatřen ještě nádobkou D , plnicí trubicí 1 a zavzdušňovací trubicí 3. Do viskozimetru se trubicí 1 nalije tolik vzorku, aby hladina v nádobě D byla mezi značkami plnění, tj. mezi značkami c , d . Po zahřátí vzorku na požadovanou teplotu se nasadí na konec trubice 2 hadice s balónkem. Balónek se stiskne a uzavře se přívod vzduchu do trubice 3. Uvolněním stisku balónku se nasává měřená kapalina nad značku a , nejvýše však do poloviny objemu baňky A . Potom se odpojí balónek a uvolní zavzdušňovací otvor trubice 3. Vzorek se nechá volně stékat kapilárou a měří se doba průchodu hladiny kapaliny mezi značkami a , b . Kromě balónku je k dispozici i pístová pumpička.



Obr. 2

Pro výpočet kinematické viskozity se užívá vztah

$$\nu = k t, \quad (9)$$

kde k je kalibrační konstanta přístroje určená měřením kapaliny známé viskozity η a známé hustoty ρ , t je doba průtoku kapaliny mezi ryskami a , b . Konstanta k je udána ve *zkušebním listu* používaného viskozimetru

Literatura:

- [1] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1967, st. 2.5.2, st. 2.5.3, čl. 2.5.3.1.
- [2] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1983, st. 2.4.2, st. 2.4.3, čl. 2.4.3.1, st. 2.4.5.
- [3] R. Bakule, J. Brož: Molekulová fyzika (skriptum) UK, Praha 1982, kap. 6.1.4.
- [4] Z. Horák, F. Krupka: Fyzika, SNTL, Praha 1981, kap. 2.8.10
- [5] Š. Veis, J. Maďar, V. Martišovitéš: Mechanika a molekulová fyzika, ALFA, Bratislava, 1981