

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 na jednu částici (jednotka J), k_B Boltzmannova konstanta, T termodynamická teplota a η_0 konstanta.

Kapilární viskozimetry

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 trubici kruhového průřezu poloměru r délky l za dobu t při přetlaku p .

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

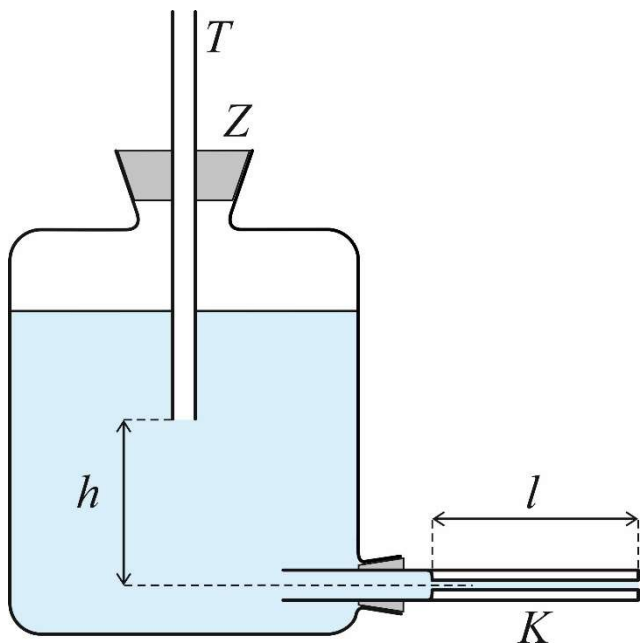
$$Re = \frac{2r\rho u}{\eta} \quad (6)$$

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

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

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

Měření dynamické viskozity lze provést způsobem naznačeným na obr. 1. Z *Mariottovy 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.)

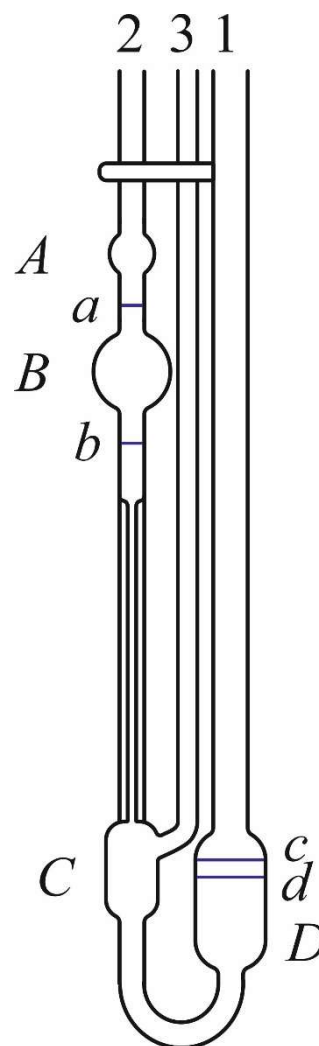
Obr. 1: Mariottova lahev

Pro poměrná měření kinematické viskozity lze užít *Ubbelohdova 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 kapaliny, aby hladina v nádobě D byla mezi značkami plnění, tj. mezi značkami c, d . Po zahřátí kapaliny 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 pumpička a elektrické čerpadlo.

Pro výpočet kinematické viskozity se užívá vztah

$$\nu = kt, \quad (9)$$

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.



Obr. 2: Ubbelohdův viskozimetr

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. Martišovitz: Mechanika a molekulová fyzika, ALFA, Bratislava, 1981