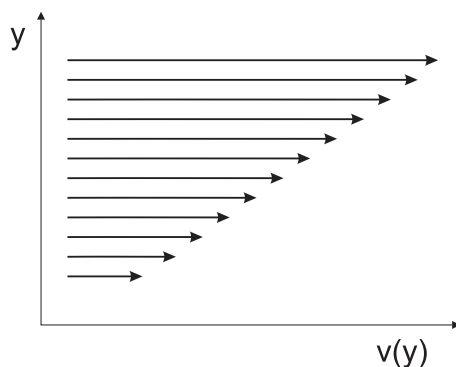


Vaja 22

Viskoznost

V idealnih, neviskoznih kapljevinah ni strižnih sil. Plasti tekočine polzijo neovirano druga po drugi. V realnih tekočinah pa ni tako, zaradi viskoznosti hitrejša plasti vlečejo počasnejše in zadržujejo še hitrejša. Tako nastane v smeri, pravokotni na plasti, gradient hitrosti (strižna hitrost). Med sosednjima plastema deluje strižna sila, ki je sorazmerna velikosti stične ploskve S in strižni hitrosti. Pri ravnih plasteh, kjer se hitrost spreminja le v prečni smeri (smer y), je strižna hitrost enaka $\Delta v / \Delta y$, to je spremembi hitrosti na enoto prečne razdalje. Torej velja

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y} S . \quad (22.1)$$



Slika 22.1: Linearna porazdelitev hitrosti po višini pri ravnih plasteh.

Sorazmernostni koeficient η imenujemo koeficient viskoznosti. Enota zanjo je $1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = \text{N s m}^{-2} = \text{Pa s}$ (pascal sekunda). Pri vseh tekočinah je viskoznost močno odvisna od temperature.

Koeficient viskoznosti lahko določimo na različne načine:

- z merjenjem pretoka kapljevine skozi kapilaro,

- z meritvijo časa padanja kroglice v viskozni tekočini, (glej dodatek!),
- z merjenjem dušenja mehanskega nihanja (piezoelektrični oscilator) v tekočini,
- z vrtenjem koaksialnih valjev v viskozni tekočini,
- i.t.d.

S koaksialnim viskozimetrom določimo viskoznost posredno preko meritve navora ali pojemka vrtenja. Sestavljen je iz dveh koncentričnih valjev. Polmer zunanega mirujočega valja bomo označili z R_2 , polmer notranjega pa z R_1 . Notranji valj se vrti v zunanjem in merimo navor, ki nastane zaradi viskoznega trenja v plasti tekočine med valjema. Plasti tekočine niso ravne in navor viskoznega trenja M_t dobimo z reševanjem enačb hidrodinamike. Ob predpostavki, da je tekočina nestisljiva

$$M_t = -4\pi\eta\omega h \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}, \quad (22.2)$$

kjer je ω kotna hitrost vrtenja valja in h višina viskozne plasti tekočine med valjema. Z meritvijo navora lahko določimo viskoznost tekočine.

Merimo lahko tudi hitrost vrtenja valja v odvisnosti od navora, ki ga ustvarja teža uteži z maso m preko vrvica na gredi notranjega valja. Enačba gibanja je

$$(J + r_g^2 m)\alpha = mgr_g - \eta k\omega, \quad (22.3)$$

kjer je $k = 4\pi \frac{h R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}$. J je vztrajnostni moment valja skupaj s kolesom ter škripcem preko katerega teče vrvica in r_g je polmer kolesa na gredi, kjer je navita vrvica.

1. Če valj sprva miruje, $\omega(0) = 0$, nam da enačba kotno hitrost v odvisnosti od časa kot

$$\omega(t) = \left(1 - e^{-\frac{k\eta}{J}t}\right) \frac{mgr_g}{k\eta}. \quad (22.4)$$

Začetno pospešeno vrtenje preide v enakomerno vrtenje in viskoznost lahko določimo iz hitrosti enakomernega vrtenja $\omega(\infty)$. Takrat velja

$$\eta = \frac{mgr_g}{k\omega(\infty)}. \quad (22.5)$$

2. Pri veliki viskoznosti je značilni čas nestacionarnega gibanja $\tau = \frac{J}{k\eta}$ kratek in zato lahko uporabljamo zgornjo metodo. Pri majhni viskoznosti je τ dolg in valj le počasi doseže enakomerno vrtenje. Tedaj rajši uporabimo postopek, kjer merimo pojemanje hitrosti prosto vrtečega se valja. Hitrost valja brez zunanega navora, ki ima sprva kotno hitrost ω_0 , pojema kot

$$\omega(t) = \omega_0 e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (22.6)$$

in viskoznost določimo kot $\eta = \frac{J}{k\tau}$.

22.1 Naloga

1. Izmeri koeficient viskoznosti dane zelo viskozne tekočine!
2. Določi navor trenja v ležajih koaksialnega viskozimetra

22.2 Potrebščine

1. Koaksialni viskozimeter (notranji valj je votel in izdelan iz aluminija),
2. neznana tekočina,
3. uteži,
4. štoparica,
5. vrvica,
6. merilnik časovnih intervalov,
7. računalnik z merilnim vmesnikom.

22.3 Navodilo

Zabeleži sobno temperaturo. Izmeri notranji polmer posode R_2 in polmer gibljivega cilindra R_1 . Določi višino plasti tekočine med valjema h in premer kolesa na gredi valja r_g .

Merilnik časovnih intervalov deluje takole: Na osi valja se vrti tudi okrogla plošča z zarezi na obodu. Obod gre skozi merilno napravo, kjer vrteča se plošča prekinja snop svetlobe z infrardeče diode in s tem osvetljenost fotocelice. Sunki padca napetosti na fotocelici se spreminjajo v intervalih $\Delta t = \frac{N}{\nu}$, kjer je N število zarez na obodu, ν pa je frekvenca vrtenja plošče. Intervale merimo s pomočjo vmesnika na računalniku. Svetlobna vrata morajo biti s kablom povezana z digitalnim vhodom (DIG/SONIC 1) merilnega vmesnika **LabPro**, **Varnier**. Električno omrežje napaja merilni vmesnik. Ko vključimo napetost, se na vmesniku prižge nekaj kontrolnih lučk, nato pa je pripravljen. Vmesnik mora biti s kablom povezan z vhodom USB na računalniku. Preverite ali so vse priprave pravilno povezane. Nato poženite program **Logger Pro 3.1**. Program načeloma sam prepozna merilni senzor. To lahko preverimo tako, da z ukazom **Experiment/Show Sensors** (LabPro) odpremo okno **Sensors**, v katerem je spisek senzorjev, vsi preklopučki merilnika in vsi sezorji, ki so priključeni na vhode vmesnika. (Isto okno odpremo, če kliknemo ikono **LabPro** (druga ikona z desne v orodni vrstici). V okencu, ki ustreza vhodu DIG/SONIC 1 mora biti ikona svetlobnih vrat (**Photogate**). Če je ni, jo poiščite v desnem oknu **Digital Sensors** in jo prenesite v pravo okence (na tisti vhod, na katerega je senzor priključen). Potem kliknite **Close** in v delovnem oknu programa boste videli na levi tabelo z dvema stolpcema: **Time (s)** in **GateState**. Na desni je graf, ki

kaže stanje vrat v odvisnosti od časa. Merilniku določite hitrost in čas zajema podatkov z ukazom **Experiment/Data Collection**. Odpre se okno **Data Collection** (isto okno odprete s klikom na ikono na kateri je narisana ura - to je tretja ikona z desne v orodni vrstici). Način zajema podatkov (**Mode**) pustite takega kot je (**Time Based**). Trajanje meritve (**Length**) nastavite tako, kot potrebujete (par sekund je običajno dovolj). Pogostost merjenja (**Sample Rate**) naj bo vsaj 1000. Pri zelo dolgih časih merjenja so pri prepogostem zajemu možne težave s spominom. Ko vnesete željene vrednosti, kliknite **Done**. Meritev poženete z ukazom **Experiment/Start Collection**, s pritiskom na tipko **F11** ali pa s klikom na ikono **Collect** (prva z desne v orodni vrstici). V tabelo se zapišejo časi, ob katerih se optična vrata zaprejo in odprejo. Podatke iz tabele lahko shranite v tekstovno datoteko z ukazom **File/Export as Text....** Podatke lahko naprej obdelujete s programom, ki vam je najbolj pri srcu, ali pa računate na roko. Merilnik omogoča neposredno merjenje hitrosti (in s pravo pretvorbo tudi kotne hitrosti). Kdor hoče lahko opravi ustrezne nastavitve in si olajša obdelavo podatkov. V pomoč so na mizi priložena navodila. Preden začneš meriti viskoznost neznane tekočine, najprej dvigni valj iz posode (tako da odvijesh vijak na osi) in določi vztrajnostni moment notranjega valja iz pospeška zaradi navora, ki ga preko vrvice povzroča teža obešene uteži. Odstrani utež in vrvico in nato izmeri navor trenja iz pojemka prosto-vrtečega se valja.

Viskoznost tekočine določi na enega od naslednjih načinov

1. Z merjenjem hitrosti vrtenja valja v stacionarnih pogojih, $\omega(\infty)$. Uporabi različne uteži tako, da bo hitrost padanja pri najtežji manjša od 5 cm s^{-1} . Iz dimenzij naprave določi k .

Upoštevaj samo časovne intervale, ko padajoča utež doseže stalno hitrost. Za vsako utež ponovi meritev nekajkrat.

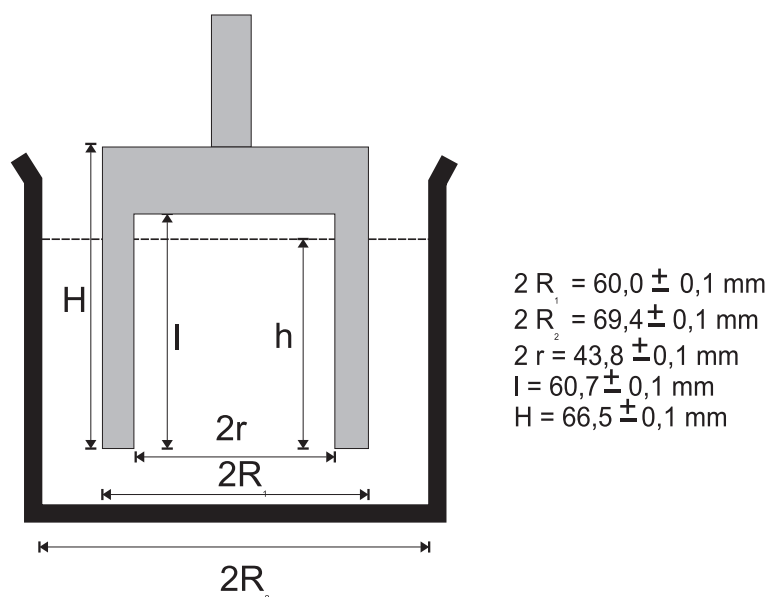
Iz hitrosti vrtenja cilindra izračunaj viskoznost in primerjaj viskoznosti pri različnih hitrostih vrtenja valja. Izračunaj napako meritev, kjer upošteváš tudi trenje v ležajih.

22.4 Dodatek: Padanje kroglice v viskozni tekočini

Viskoznost lahko določimo tudi tako, da merimo padanje kroglice v viskozni tekočini. Na padajočo kroglico delujejo naslednje sile:

1. sila upora, ki je pri dovolj počasnem enakomernem gibanju kroglice po Stokesovi enačbi enaka $6\pi\eta rv$,
2. teža ($mg = 4\pi\rho g r^3/3$),
3. vzgon ($\rho_o g V = 4\pi\rho_o g r^3/3$).

Pri tem je v hitrost kroglice, r in ρ sta radij in gostota kroglice, ρ_o pa je gostota



Slika 22.2: Skica viskozimetra z merami.

tekočine. Zaradi viskoznosti preide v začetku pospešeno gibanje kroglice prej ali slej v enakomerno. Tedaj so vse tri sile v ravnovesju, torej

$$6\pi\eta r v = 4\pi(\rho - \rho_o)gr^3/3. \quad (22.7)$$

Sledi

$$\eta = \frac{2g(\rho - \rho_o)r^2}{9v} \quad (22.8)$$

Stokesova enačba velja natančno le, če je gibanje zelo počasno in tekočina neomejena. Ker pri meritvah teh pogojev ni mogoče izpolniti, je treba η , ki ga po zgornji enačbi izračunamo iz izmerjene hitrosti v , še popraviti. S tem dobimo za η končno vrednost:

$$\eta = \frac{2g(\rho - \rho_o)r^2}{9v(1 + \frac{3}{16}Re)(1 + 2,1\frac{r}{R})(1 + 3,3\frac{r}{H})} \quad (Re < 0,5) \quad (22.9)$$

Pri tem sta $2R$ in H premer in višina valja tekočine, Re pa Reynoldsovo število:

$$Re = \frac{2r\rho_o v}{\eta} \quad (22.10)$$

Ker je Re odvisno od η , ne moremo računati takoj s popravljeno enačbo, ampak izračunamo η najprej iz poenostavljene enačbe. S to približno vrednostjo izračunamo Re , ga vstavimo v popolnejšo enačbo in izračunamo popravljeni η . S to vrednostjo η lahko račun še enkrat ponovimo.