

MĂSURAREA VISCOZITĂȚII LICHIDELOR

(metoda corpului căzător)

1. SCOPUL LUCRĂRII

Determinarea viscozității unui lichid (glicerină) la diferite temperaturi.

2. NOȚIUNI TEORETICE

În cazul lichidelor foarte viscoase, metodele de determinare a viscozității bazate pe curgerea prin tuburi capilare (viscozimetrul Ostwald) devin neaplicabile și se recomandă metoda corpului căzător. În această metodă se determină viteza mișcării uniforme de cădere a unui corp solid rigid într-un mediu format din lichidul considerat. Teoria mișcării unui solid rigid într-un mediu fluid a fost elaborată de Stokes. În timp ce căderea corpurilor în vid este o mișcare uniform accelerată, la căderea printr-un mediu viscos, mișcarea este amortizată prin apariția unei forțe de frecare, ceea ce duce la stabilirea rapidă a unui regim de mișcare uniformă. În timpul deplasării uniforme se stabilește un echilibru între greutatea aparentă G_a a corpului căzător și forța de frecare F_f dintre corp și mediu:

$$G_a = F_f \quad (1)$$

Greutatea aparentă este diferența dintre greutatea reală G_r a corpului și forța arhimedică F_A , care reprezintă greutatea volumului de lichid dezlocuit. Notând cu V volumul corpului căzător, cu g accelerația gravitațională și cu ρ și ρ_1 densitățile solidului și respectiv fluidului, se obține

$$G_r = V g \rho, \quad F_A = V g \rho_1$$

de unde

$$G_a = k_1(\rho - \rho_1) \quad (2)$$

în care $k_1 = Vg$ este o constantă ce depinde numai de greutatea corpului.

Stokes a arătat că în cazul regimului laminar de deplasare a corpului căzător, forța de frecare

este proporțională cu viteza de cădere a acestuia (v) și cu viscozitatea η a fluidului:

$$F_f = k_2 v \eta \quad (3)$$

unde k_2 este o constantă dependentă de geometria sistemului (de exemplu, la căderea unei sfere de diametru d într-un mediu fluid infinit, $k_2 = 3\pi d$).

Condiția curgerii laminare este:

$Re < 2100$, cu Re - criteriul adimensional al lui Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_l \cdot v \cdot d}{\eta} \quad (4)$$

Înlocuind G_a și F_f în condiția deplasării uniforme (1) se obține

$$k_1(\rho - \rho_1) = k_2 \eta v$$

și luând $v = l/\tau$, unde t este timpul necesar pentru deplasarea corpului între două repere situate la distanța l , se obține

$$k_1(\rho - \rho_1) = k_2 \eta l / \tau, \text{ de unde}$$

$$\eta = k(\rho - \rho_1) \bar{\tau} \quad (5)$$

unde $k = k_1/(k_2 l)$ este o constantă cu dimensiunile pătratului vitezei depinzând de geometria sistemului.

3. PARTEA EXPERIMENTALĂ

3.1. APARATURĂ ȘI SUBSTANȚE



-Viscozimetru Höppler

-Baie termostată

-Glicerină

Fig. 1. Instalația experimentală

Viscozimetru Höppler

Este un aparat de măsurare a viscozității fluidelor folosind căderea unei bile printr-un mediu fluid limitat, într-un spațiu având forma unui cilindru de lungime finită dispus sub un unghi ascuțit față de verticală. Cilindrul este menținut la o temperatură constantă cu ajutorul unui lichid de

încălzire vehiculat prin mantaua viscozimetrlui și a cărei temperatură se reglează într-un termostat. Acesta este alcătuit dintr-un tub de cădere din sticlă (5), o serie de bile (3), un manșon (6) din sticlă care înconjoară tubul de cădere și un stativ metalic (4). Seria de bile este formată din mai multe bile metalice sau din sticlă, fiecare bilă fiind destinată determinărilor într-un anumit domeniu de viscozitate. Tubul de cădere (5) are două repere de nivel (*a* și *b*) și este prevăzut cu două dopuri de cauciuc la capete, dopul de la capătul superior având un orificiu capilar și un alt dop mai mic care acoperă acest orificiu. Manșonul baie (6) este prevăzut cu două tuburi de racordare (7) cu termostatul. Stativul metalic al viscozimetrlui este prevăzut cu șuruburi de calaj pentru orizontalitate, un șurub de fixare a manșonului de baie, o nivelă sferică și un lagăr de rotire în care intră o bucă laterală a armăturii metalice în jurul căreia se poate învârti armătura. Lucrarea practică constă în determinarea viscozității și a energiei de activare a curgerii viscoase a glicerinei cu ajutorul viscozimetrlui Höppler de laborator (fig. 1).

3.2. MOD DE LUCRU

Se determină viscozitatea glicerinei la diverse temperaturi: începând cu temperatura camerei, se crește valoarea acesteia cu incremente de 5 grade până la valoarea de 50 °C. Temperatura se măsoară în termostat. Practic, determinarea viscozității constă în următoarele etape:

3.2.1. Se verifică dacă apa în termostat este la temperatura camerei. Dacă este caldă, se schimbă cu apă proaspătă.

3.2.2. Se declanșează pompa termostatului pentru a recircula apa din termostat prin manșonul baie al viscozimetrlui. Se verifică dacă apa circulă prin manșonul baie al viscozimetrlui, dacă nu, se verifică ca legăturile cu baia să nu fie strangulate.

3.2.3. Pentru temperatura camerei se continuă fără a porni sistemul de încălzire a apei. Pentru următoarele temperaturi se reglează termometrul Vertex al termostatului la temperatura dorită.

3.2.4. Se așteaptă până la stabilirea regimului termic fixat. Regimul termic este considerat stabil atunci când două citiri ale temperaturii pe termometrul din termostat nu variază cu mai mult de 1 °C timp de 5 minute.

3.2.5. Se controlează orizontalitatea viscozimetrlui cu ajutorul șuruburilor de calaj și a nivelei sferice;

3.2.6. Se rotește manșonul baie cu 180° în jurul axului de fixare la stativ; se așteaptă ca bila să cadă până la capătul tubului după care se readuce manșonul baie în poziția inițială;

3.2.7. Se urmărește căderea bilei, declanșând cronometrul atunci când partea inferioară a bilei este tangentă la planul orizontal al reperului superior *a* și oprind cronometrul în momentul în care aceeași parte a bilei devine tangentă la planul reperului inferior, *b*. Se notează timpul și temperatura

exactă citită pe termometru. Se repetă operațiile 3.2.6. și 3.2.7. de 3 ori, determinând un timp mediu aritmetic pentru fiecare dintre temperaturi.

4. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

4.1. Rezultatele experimentale se trec într-un tabel de forma:

$t, ^\circ\text{C}$	τ, s	$\bar{\tau}, \text{s}$	$\rho_b, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta, \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	$v, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Re	$\frac{1}{T}, \text{K}^{-1}$	$\ln \eta$
15								
20								
25								
30								
35								
40								

4.2. Se calculează viscozitatea la temperaturile experimentale cu relația (5). Constanta k depinde atât de geometria spațiului umplut cu fluid cât și de mărimea bilei. Bila folosită este din oțel, de densitate $\rho = 7860 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (practic independentă de temperatură), iar constanta $k = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$. Densitatea glicerinei este dependentă de temperatură conform relației: $\rho_l = 1269 - 0,4 \cdot t \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$, unde t este temperatura în $^\circ\text{C}$;

4.3. Se verifică regimul de curgere cu relația (4), calculând valorile Re . Diametrul bilei este $d = 14 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, iar viteza $v_i = \frac{l}{\tau}$, unde distanța l este 0,12 m;

4.4. Determinarea grafică a energiei de activare a curgerii viscoase E_a se face pe baza relației lui Guzman de variație a viscozității lichidelor cu temperatura absolută:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (6)$$

unde R este $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), iar η_0 și E_a sunt constante independente de temperatură. Logaritmarea relației (8) duce la o dependență liniară:

$$\ln \eta = A + B \cdot \frac{1}{T} \quad (7)$$

deci reprezentarea $\ln \eta = f(1/T)$ va fi o dreaptă din a cărei pantă se poate calcula E_a cu relația:

$$E_{a,gr} = B_{gr} \cdot R$$

Observații

Poise este unitatea de măsură a viscozității dinamice în sistemul de unități centimetru-gram-secundă:

$$1 \text{ P} = 0.100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$$

Date din literatură

(glicerină pură)

Nr. crt.	$t, ^\circ\text{C}$	η, cP
1	10	3900
2	20	1410
3	30	612
4	40	284
5	50	142

5. ÎNTREBĂRI

5.1. Ce este viscozitatea dinamică?

5.2. Ce este viscozitatea cinematică?

5.3. Cum variază viscozitatea glicerinei cu temperatura?

5.4. Comparați rezultatele obținute cu datele din literatură furnizate. Explicați.

5.5. Aranjați în ordine crescătoare a viscozității dinamice următoarele lichide: apă, acetonă, glicerină, metanol.