Determinarea coeficientului de vâscozitate dinamică al aerului

Scopul lucrării:

În această lucrare, metoda scurgerii fluidului (aer) printr-un tub capilar este folosită în scopul determinării coeficientului de vâscozitate dinamică al aerului.

I. Consideraţii teoretice

Dinamica fluidelor (hidrodinamica) reprezintă un capitol al fizicii care se ocupă cu studiul mişcării fluidelor, în general. Spre deosebire de solide, la fluidele în mişcare, pe lângă densitate, trebuie să ţinem cont şi de deplasarea relativă a unor "straturi" de fluid faţă de altele. Adică în timpul curgerii fluidelor reale între straturile moleculare, care curg cu viteze diferite, apar forţe de frecare internă numite forţe de vâscozitate. Acest comportament al fluidelor se numeşte *vâscozitate.*

Experimental s-a constatat că forţa de frecare internă care se exercită între două straturi vecine de fluid este direct proporţională cu:

- mărimea suprafeţei de contact dintre cele două straturi, S;
- viteza relativă dintre cele două straturi (gradientul vitezei considerat pe o direcţie perpendiculară pe viteză);
- *coeficientul de vâscozitate dinamică*, η, care este o caracteristică a fluidului, fiind dependent de natura acestuia. La creşterea temperaturii, valoarea lui η scade pentru lichide şi creşte la gaze. În SI, coeficientul de vâscozitate dinamică se măsoară în $N \cdot s / m^2$.

Newton a fost cel care determinat relaţia de calcul al forţei de frecare internă dintre două straturi de fluid:

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dr} \qquad (1)$$

unde raportul $\frac{dv}{dr}$ se numeşte gradientul vitezei şi caracterizează variaţia vitezei fluidului pe o directie perpendiculară, pe direcţia de mişcare a fluidului.

Fenomenul de frecare internă apare întotdeauna în cazul curgerii unui fluid real. În prezent există mai multe metode de determinare a coeficientului de vâscozitate atât pentru lichide cât şi pentru gaze. Câteva din aceste metode sunt:

- amortizarea oscilaţiilor unui pendul de torsiune;
- căderea unei bile în lichid;
- curgerea fluidului printr-un tub capilar.

Pentru determinarea coeficientului de vâscozitate dinamică a aerului vom studia curgerea fluidului printr-un tub capilar. Aşadar, vom considera o curgere în care viteza nu este prea mare, şi care poartă denumirea de *curgere laminară.* Astfel, viteza este maximă în centrul tubului şi minimă la pereţi.

Să considerăm scurgerea unui fluid printr-un tub cilindric, de lungime l şi de rază R, caz în care apare o diferenţă de presiune, $\Delta p = p_2 - p_1$, între capetele tubului (Fig. 1). Curgerea laminară a fluidului este similară cu deplasarea unor tuburi coaxiale care alunecă unele faţă de altele, tubul central înaintează cel mai rapid, în timp ce tubul exterior, datorită adeziunii la pereţi, va rămâne în repaus.

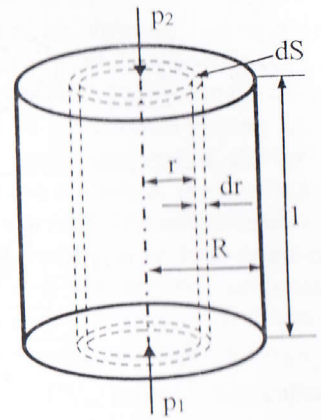

Fig. 1.

Conform relaţiei (1), forţa de frecare exercitată asupra stratului (tubului cilindric) de rază r este dată de relaţia:

$$F = -\eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dv}{dr} \qquad (2)$$

unde $S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$ este suprafaţa laterală a tubului cilindric de rază r. Semnul minus din relaţia (2) apare deoarece $\frac{dv}{dr} < 0$ (viteza fluidului scade de la axul tubului spre perete).

În cazul unei curgeri staţionare (deplasarea stratului de fluid se face cu viteză constantă în timp) această forţă de frecare va fi echilibrată de rezultanta forţelor de presiune care se exercită asupra bazelor cilindrului:

$$F_p = \Delta p \cdot \pi \cdot r^2 \qquad (3)$$

Astfel, din condiția de curgere staționară se obține:

$$\Delta p \cdot \pi \cdot r^2 = -\eta \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dv}{dr} \qquad (4)$$

de unde rezultă:

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{\Delta p \cdot r}{2l\eta} \qquad (5)$$

Deoarece pentru un r oarecare fluidul are o viteză v oarecare, iar pentru r = R (pe pereții tubului) viteza fluidului este egală cu zero, v = 0, atunci integrând relația (5):

$$-\int_v^0 dv = \frac{\Delta p}{2l\eta}\int_r^R r dr \qquad (6)$$

se obține distribuția vitezelor în secțiunea tubului:

$$v = \frac{\Delta p}{4l\eta}(R^2 - r^2) \qquad (7)$$

Considerăm un proces de curgere laminară a unui fluid oarecare. Printr-o coroană cilindrică de rază r, grosime dr și suprafață dS (Fig. 1), în intervalul de timp dt trece un volum de lichid dV, adică:

$$dV = dS \cdot v \cdot dt \qquad (8)$$

Dar:

$$dS = \pi(r + dr)^2 - \pi r^2 \approx 2\pi r \cdot dr \qquad (9)$$

Înlocuind relațiile (7) și (9) în relația (8) se obține:

$$dV = 2\pi r \cdot dr \cdot \frac{\Delta p}{4l\eta}(R^2 - r^2) \cdot dt \qquad (10)$$

Volumul de fluid care traversează întreaga secțiune a tubului în intervalul de timp dt se obține însumând (integrând) contribuțiile diferitelor straturi cilindrice de fluid de grosime infinitezimală dr pentru care viteza se consideră constantă, adică:

$$dV = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot dt}{2l\eta}\int_0^R r \cdot (R^2 - r^2) \cdot dr = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8l\eta} \cdot dt \qquad (11)$$

iar debitul volumic este:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8l\eta} \qquad (12)$$

Această relație se numește legea lui Poiseuille, deoarece a fost obținută pentru prima dată, pe baza experimentelor, de către Jean Louis Marie Poiseuille.

Cu ajutorul legii lui Poiseuille, în urma unor măsurări comparative, se pot determina coeficienții de vâscozitate ai unor fluide necunoscute.

În scopul determinării coeficientului de vâscozitate dinamică a aerului, vom cronometra timpul, t, în care un volum V de aer traversează un tub capilar. Atunci din relația (12) rezultă:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8l\eta} \qquad (13)$$

de unde se obține coeficientul de vâscozitate dinamică a aerului:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot t \cdot R^4}{8Vl} \qquad (14)$$

II. Metodica experimentală

II.1. Dispozitivul experimental

Pentru determinarea coeficientului de vâscozitate dinamică a aerului este folosit dispozitivul experimental, prezentat în Fig. 2.

Vasul 1 este umplut cu apă. La deschiderea robinetului, apa va curge din vasul 1 într-un vas gradat, iar în volumul liber din vasul 1 se absoarbe aer din atmosferă, prin tubul capilar.

Datorită forțelor de frecare internă ale aerului, presiunea la capetele capilarului nu va fi aceeași, iar diferența Δp o vom obține cunoscând denivelarea Δh la manometrul cu apă.

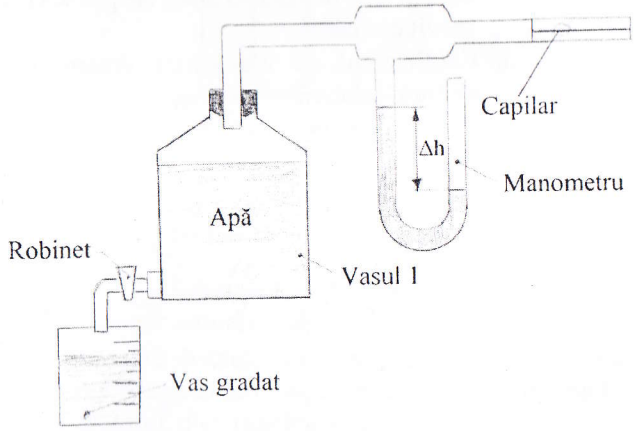

Fig. 2.

II.2. Modul de lucru

i. Se umple vasul 1 cu apă;

ii. Se deschide robinetul lăsând apa să curgă într-un vas gradat;

iii. Cu ajutorul cronometrului, se măsoară timpul necesar curgerii unui volum V;

iv. În momentul opririi cronometrului se citeşte şi denivelarea Δh a lichidului din manometru;

v. Se închide robinetul şi se repetă determinările pentru alte volume.

Tabelul 1.

R (m)	l (m)	V (ml)	V (m^3)	t (s)	Δh (m)	η ($N \cdot s/m^2$)	$\overline{\eta}$ ($N \cdot s/m^2$)	$\frac{\Delta\eta}{\eta}$ (%)

II.3. Prelucrarea datelor experimentale

i. Cunoscând denivelarea Δh, se calculează variaţia presiunii datorată vâscozităţii din capilar:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \qquad (15)$$

unde ρ este densitatea apei, iar g = 9,81 m/ s^2 este acceleraţia gravitaţională;

ii. Coeficientul de vâscozitate dinamică η se determină cu ajutorul relaţiei:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot t \cdot R^4}{8Vl} \qquad (16)$$

iii. Eroarea relativă pentru coeficientul de vâscozitate dinamică se determină cu ajutorul relaţiei:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = 4\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} + \frac{\Delta(\Delta h)}{\Delta h} \qquad (17)$$

Determinarea coeficientului de vâscozitate al lichidelor

Scopul lucrării

În această lucrare se studiază căderea unei sfere (bile) în interiorul unui lichid vâscos, aflat în repaus, cu scopul de a determina valoarea coeficientului de vâscozitate al lichidului.

II. Consideraţii teoretice

Vâscozitatea reprezintă proprietatea fluidelor de a se opune deformaţiilor (de a opune rezistenţă la schimbarea formei). Aceasta se manifestă la fluidele în mişcare, prin apariţia unor eforturi tangenţiale, fiind datorată frecării dintre straturile alăturate de fluid, care se deplasează unele faţă de altele.

Vâscozitatea se mai poate defini ca fiind o proprietate comună tuturor fluidelor, prin care, cu forţe (F) suficient de mici, se pot produce deformaţii oricât de mari, cu viteze de deformare mici:

$$F = \eta S \frac{dv}{dr} \qquad (1)$$

Aşadar, legea frecării interne a fost dată de Newton şi arată că forţa de frecare internă este direct proporţională cu aria suprafeţei straturilor fluide şi cu gradientul vitezei pe direcţia normală a vitezei.

Mărimea η caracterizează proprietatea de vâscozitate a fluidului şi se numeşte *coeficient de vâscozitate dinamică* sau *vâscozitate dinamică*. Sensul fizic al acestei mărimi este acela de tensiune tangenţială care se dezvoltă în interiorul unui fluid omogen, când gradientul vitezei este unitar. Unitatea de măsură a vâscozităţii dinamice în Sistemul Internaţional este [N·s/ m^2].

Pentru a măsura vâscozitatea unui lichid se va folosi *metoda lui Stokes*. Această metodă constă în măsurarea vitezei limită de cădere a unei sfere (bile) într-un lichid.

Astfel, considerăm o bilă ce se deplasează printr-un lichid. Lichidul din vecinătatea bilei este pus în mişcare astfel încât stratul din imediata vecinătate a bilei se mişcă cu viteza acesteia, iar cele mai îndepărtate se mişcă cu viteze din ce în ce mai mici. Între straturile vecine ia naştere o forţă de *frecare internă*, sau de *vâscozitate*. În cazul deplasării bilei cu viteze mici, adică în condiţiile unei curgeri laminare, forţa de rezistenţă ce acţionează asupra bilei din cauza vâscozităţii fluidului, este dată de legea lui Stokes: