

## Determinarea coeficientului de vâscozitate dinamică a aerului

### Scopul lucrării:

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

### I. Considerații teoretice

*Dinamica fluidelor (hidrodinamica)* reprezintă un capitol al fizicii care se ocupă cu studiul mișcării fluidelor, în general. Spre deosebire de solide, la lichidele în mișcare, pe lângă densitate, trebuie să ținem cont și de deplasarea relativă a unor "straturi" de fluid față de altele. Aceasta implică forțe de frecare interne, respectiv viteze de curgere diferite. Acest comportament al fluidelor se numește *vâscozitate*.

Experimental s-a constatat că forța de frecare internă care se exercită între două straturi vecine de lichid este direct proporțională cu:

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

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

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

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 și pentru gaze. Câteva din aceste metode sunt:

- amortizarea oscilațiilor 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. Așadar, vom considera o curgere în care viteza nu este prea mare și care poartă denumirea de *curgere laminară*. Astfel, viteza este maximă în centrul tubului și minimă la pereți.

Cea mai importantă relație care guvernează curgerea laminară este *legea lui Poiseuille*. Curgerea poate fi comparată cu deplasarea unor tuburi coaxiale care alunecă unele față de altele, astfel încât tubul central alunecă cel mai rapid, în timp ce tubul exterior rămâne pe loc.

Asupra stratului (tubului cilindric) de rază  $r$ , având suprafața laterală  $S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$ , se exercită forța de frecare:

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

unde, deoarece  $\frac{dv}{dr} < 0$  apare semnul minus în relația forței.

O altă forță care intervine este cea de presiune, care se exercită asupra bazelor cilindrului:

$$F = (p_1 - p_2) \cdot \pi \cdot r^2 = \Delta p \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

Rezultanta forțelor (de frecare și presiune) care intervin în dinamica stratului de fluid este nulă, deoarece deplasarea stratului de fluid se face cu viteză constantă în timp. Astfel:

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

de unde rezultă:

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

Adică:

$$-\int_0^v dv = \frac{\Delta p}{2l\eta} \int_r^R r dr \quad (6)$$

În urma integrării obținem distribuția de viteze în secțiunea tubului:

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

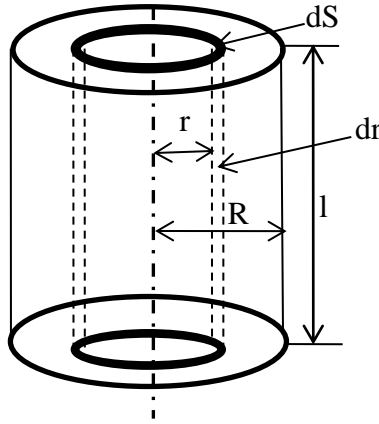


Fig. 1.

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

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

Dar:

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

Atunci rezultă:

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

Așadar, volumul de fluid care traversează întreaga secțiune a tubului în intervalul de timp  $dt$  este:

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

iar debitul volumic este:

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

relație numită legea lui Poiseuille (deoarece a fost formulată pentru prima dată, pe baza experimentelor, de către acest medic).

Legea lui Poiseuille permite, în urma unor măsurări comparative, determinarea coeficienților de vâscozitate ai unor fluide necunoscute.

În scopul determinării coeficientului de vâscozitate dinamică a aerului, vom aplica relația:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot \Delta t \cdot R^4}{8Vl} \quad (13)$$

toate mărimile de care depinde  $\eta$  fiind ușor de măsurat în laborator.

## 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  $\Delta p$  o vom obține cunoscând denivelarea  $\Delta h$  la manometrul cu apă.

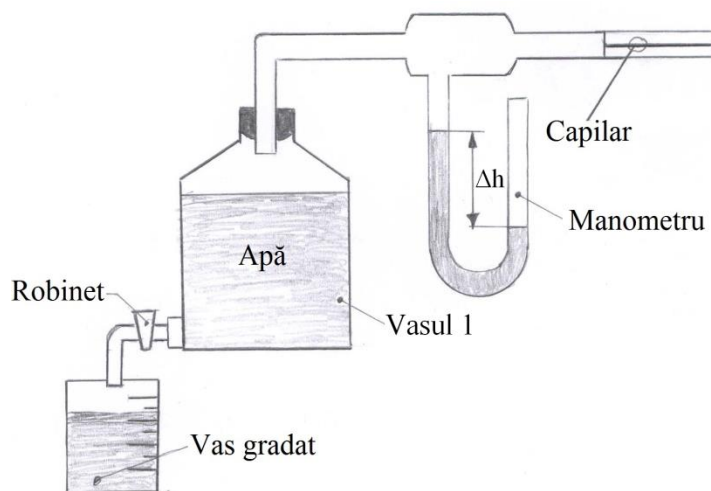


Fig. 2.

### 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 citește și denivelarea  $\Delta h$  a lichidului din manometru;
- v. Se închide robinetul și se repetă determinările pentru alte volume.

Tabelul 1.

R (m)	l (m)	V (ml)	V (m <sup>3</sup> )	Δt (s)	Δh (m)	η (N·s/m <sup>2</sup> )	$\bar{\eta}$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\frac{\Delta\eta}{\eta}$ (%)

### II.3. Prelucrarea datelor experimentale

- i. Cunoscând denivelarea Δh se calculează variația presiunii datorată vâscozității din capilar:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (11)$$

- ii. Coeficientul de vâscozitate dinamică η se determină cu relația:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot \Delta t \cdot R^4}{8Vl} \quad (12)$$

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

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = 4 \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} + \frac{\Delta(\Delta h)}{\Delta h} \quad (13)$$