

## DETERMINAREA TENSIUNII SUPERFICIALE A UNUI LICHID PRIN METODA PRESIUNII MAXIME ÎN BULĂ ȘI VARIAȚIA EI CU TEMPERATURA

### Considerații teoretice

Între moleculele unui fluid, în intervalul dintre două ciocniri, se exercită forțe de atracție. Aceste forțe se echilibrează reciproc pentru fiecare moleculă care se află în interiorul lichidului la o distanță de suprafața liberă mai mare decât raza de acțiune a acestor forțe (egală aproximativ cu câteva distanțe intermoleculare, adică  $10^{-9}$  m). Pentru moleculele de la suprafața fluidului (mai precis dintr-un strat superficial de grosime  $10^{-9}$  m), forțele de atracție nu se mai echilibrează reciproc și ca urmare va apărea tendința micșorării suprafeței acestuia. Din acest punct de vedere, suprafața lichidului se aseamănă cu o membrană elastică întinsă. O astfel de membrană elastică întinsă pe un cadru metalic ABCD (fig. 1) ce are o latură mobilă AB, rămâne în echilibru dacă se aplică o forță  $F$  tangentă la suprafața ABCD și perpendiculară pe latura AB. Dacă se notează cu  $\sigma$  forța aplicată normal pe unitatea de lungime a lui AB, atunci :

$$\sigma = F / \ell \quad (1)$$

unde  $\ell$  este lungimea lui AB.

În cazul membranelor de lichid, raportul dintre forța superficială  $F$  și lungimea  $\ell$  asupra căreia acționează se numește tensiune superficială și se măsoară în sistemul SI în N/m.

Pentru măsurarea tensiunii superficiale a lichidelor, care este o mărime fizică de mare importanță pentru știință și tehnică, s-au imaginat o serie întregă de metode. Alegerea uneia sau alteia dintre metode depinde de natura lichidului, temperatura și presiunea la care se efectuează măsurătorile, de precizia necesară măsurătorilor ca și de alți factori, ca: simplitatea metodei, accesibilitatea aparaturii și durata determinării. Măsurătorile de tensiune superficială se împart în două categorii distincte: *măsurători dinamice* unde straturile superficiale asupra cărora se fac determinările se reîmprospătează continuu și *măsurători statice* în care se determină tensiunea superficială a unui lichid în stare de echilibru. Pe lângă acestea există un număr suficient de mare de metode care nu sunt nici pur statice și nici pur dinamice. În aceste metode, la fiecare măsurătoare are loc o reîmprospătare a suprafeței urmată de atingerea unei stări de

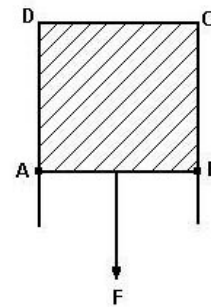


Fig. 1

echilibru aproximativ. Din această cauză, metodele de acest tip se înglobează într-o categorie aparte: metode *cvasistatice*.

Măsurătorile din prima categorie se realizează cu ajutorul unor metode, ca :metoda undelor capilare, a picăturilor pulsatorii, a jeturilor oscilante și altele. Măsurătorile statice de tensiune superficială și cele cvasistatice se realizează în principal prin 5 categorii de metode. Acestea sunt :

1. Metode bazate pe măsurarea înălțimii de ascensiune în tuburi capilare. Acestea se numără printre metodele riguros statice și cele mai precise de măsură, cu condițiile ca lichidul să umecteze perfect pereții capilarului. Ele sunt indicate numai pentru măsurători asupra unor lichide cu vâscozitate mică.

2. Metode bazate pe măsurarea dimensiunilor unei picături așezate pe o suprafață sau atârnată. Avantajele acestui grup de metode constau în faptul că măsurătorile nu depind de unghiul limită a lichidului în raport cu suportul, ca și faptul că se adaptează ușor pentru măsurători ale tensiunii superficiale, la diverse presiuni ale gazelor în contact cu lichidul, pentru lichide volatile etc. Acestea sunt, de asemenea, metode riguros statice.

3. Metode bazate pe măsurarea presiunii necesare pentru formarea sau ruperea unei bule de gaz în lichidul de studiat sau a unei picături dintr-un lichid în alt lichid. Acestea se numără printre metodele relative de măsură ale tensiunii superficiale și cvasistatice. Ele au avantajul că sunt simple și precise. În plus măsurătorile nu depind de condițiile de umectare ale capilarului de către lichidul studiat.

4. Metode bazate pe compararea forțelor superficiale cu forțele gravitaționale (cântărirea picăturilor). Acestea se bazează pe determinarea greutății unei picături careia I se dă drumul dintr-un capilar vertical. Ele sunt metode relative și cvasistatice. Aceste metode nu depind de unghiul limită al lichidului în raport cu materialul capilarului și pot fi folosite și pentru lichide vâscoase, ducând la rezultate precise.

5. Metode bazate pe determinarea forței necesare smulgerii de pe suprafața lichidului a unui corp de formă geometrică cunoscută (inel, cilindru, placă etc.). Aceste metode fac parte din categoria celor cvasistatice, absolute și pot atinge o precizie foarte mare având în vedere că au la bază o măsurătoare de forță, cu condiția însă ca lichidul să aibă o vâscozitate mică și să umecteze perfect corpul geometric.

În lucrarea de față se va descrie una dintre metodele bazate pe măsurarea presiunii necesare ruperii unei bule de aer ce se formează la extremitatea unui capilar în lichidul a cărui tensiune superficială se studiază.

*Deoarece pentru a face determinarea cât mai precisă se tinde a mări cât mai mult timpul de formare a picăturilor, metodele de acest gen tind să devină cvasistatice din dinamice. Astfel, de exemplu, la aplicarea metodei pentru determinarea tensiunii superficiale a unor uleiuri, formarea unor picături necesită intervale de timp de ordinul orelor.*

Pentru determinarea tensiunii superficiale prin metoda presiunii maxime în bulă se așează extremitatea unui tub capilar pe suprafața lichidului de studiat (fig. 2). În interiorul tubului capilar, presiunea serului este egală cu cea atmosferică  $H_0$ , în timp ce la suprafața lichidului în exteriorul capilarului, se creează printr-un montaj adecvat o presiune  $p$ , inferioară celei atmosferice.

Datorită acestui fapt, în lichidul de studiat se va “împinge” o bulă de aer. Datorită existenței unei presiuni la

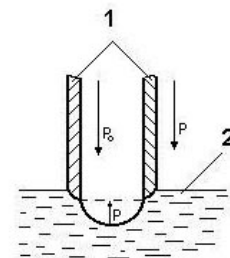


Fig. 2

suprafața lichidului, după cum se va vedea mai departe, lichidul va exercita o presiune  $p_1$  asupra gazului din tubul capilar opusă celei atmosferice. Bula va fi în echilibru atunci când:

$$p + p_1 = H_0 \quad (2)$$

(se neglijează presiunea hidrostatică având în vedere că tubul capilar se așează cât mai aproape de suprafața lichidului). Vom calcula în cele ce urmează presiunea  $p_1$ , exercitată de lichid datorită tensiunii superficiale. Considerăm o bulă semisferică de rază  $r_1$  (fig. 3) și o secțiune orizontală circulară, de rază  $r_2$ , unde va fi în interiorul ei. Fie  $d\vec{F}$  forța elementară tangentă la suprafață, care se exercită de-a lungul elementului de lungime  $d\ell$  a cercului de rază  $r_2$ . Conform relației (1):

$$dF = \sigma d\ell \quad (1)$$

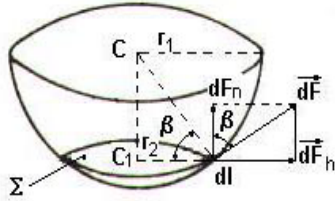


Fig. 3

Vom descompune  $d\vec{F}$  în două componente: o componentă verticală  $d\vec{F}_n$  (normală la suprafața  $\Sigma$ ) și o alta orizontală,  $d\vec{F}_h$ . Din figura 3 se vede că:

$$dF_n = dF \cos \beta = dF \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

Ținând seama de (1):

$$dF_n = \frac{r_2}{r_1} \sigma d\ell \quad (4)$$

Fie  $F_n$  forța care acționează de-a lungul întregului contur:

$$F_n = \int_0^{2\pi r_2} dF_n = \int_0^{2\pi r_2} r_2 / r_1 \cdot \sigma d\ell = \frac{2\pi r_2^2}{r_1} \sigma \quad (5)$$

Pe de altă parte, însumând forțele  $dF_h$  de-a lungul conturului  $\Sigma$  se obține în total zero, astfel că forța totală exercitată de-a lungul conturului este dată de relația (5).

Presiunea exercitată de forța  $F_n$  asupra suprafeței  $\Sigma$  este:

$$\frac{F_n}{\pi r_2^2} = \frac{2\sigma}{r_1} \quad (6)$$

Se observă că rezultatul nu depinde de  $r_2$  și este deci valabil pentru orice secțiune în bulă. Atunci pentru orice punct de pe bulă:

$$p_1 = \frac{2\sigma}{r} \quad (7)$$

Combinând relațiile (2) și (7) și făcând notația  $\Delta p = H_0 - p$  se obține:

$$\Delta p = \frac{2}{r} \sigma \quad (8)$$

de unde:

$$\sigma = \frac{r}{2} \Delta p \quad (9)$$

Din relația (7) se observă că pe măsură ce  $r$  scade  $p_1$  crește.

El va fi maxim când  $r$  devine egal cu raza capilarului ( $r = r_1$ ). Notăm  $\Delta p$  corespunzător acestui moment cu  $(\Delta p)_{\max}$ . Măsurând  $(\Delta p)_{\max}$  și  $r_1$  determinăm  $\sigma$  din relația următoare:

$$\sigma = \frac{r_1}{2} (\Delta p)_{\max} \quad (9')$$

### Observație

În tot timpul creșterii bulei până în acest moment și în acest moment, presiunea aerului din interiorul bulei a fost echilibrată de presiunea din partea pereților acesteia. Când  $\Delta p$  crește mai departe, deoarece raza de curbură a bulei se mărește, presiunea  $p_1$  scade bula trece printr-o scurtă stare de neechilibru urmată de o extindere rapidă și o desprindere de capilar. Durata de existență a bulei în stare de neechilibru este încă mică în raport cu cea de existență în stare de echilibru, astfel că creșterea lui  $\Delta p$  necesară desprinderii bulei este mică. Întregul proces periodic de formare a bulei este dat calitativ în figura 4 în care sunt rezumate grafic și suprapuse modurile de variație în timp ale lui  $p_1$  și  $r$ .

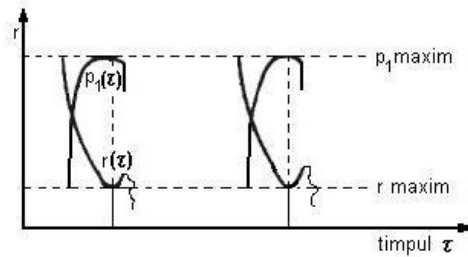


Fig. 4

### Descrierea aparatului

Schema principală a instalației este redată în figura 5. În eprubeta cu lichidul de studiat 1, se introduce capilarul 2. Cu ajutorul unor tuburi de legătură, eprubeta 1 este legată cu aspiratorul 12. Dacă robinetii 7 și 4 sunt deschiși, iar robinetii 8 și 3 închiși, atunci curgerea apei din aspirator va duce la micșorarea presiunii aerului din interiorul eprubetei 1 care va deveni mică decât cea atmosferică. Diferența de presiune  $H_0 - p$  este măsurată de manometrul metalic 13 gradat în mm apă. Pentru a determina pe  $\sigma$  ca funcție de temperatură, eprubeta 1 este introdusă în vasul 14, legat la un termostat.

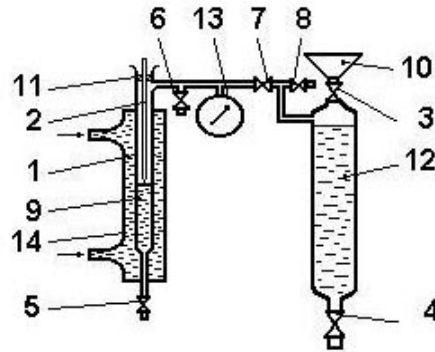


Fig. 5

### Modul de lucru

1. Se umple tubul aspiratorului 12 cu apă de la robinet până la nivelul maxim însemnat pe acesta. Pentru aceasta se închid robinetii 8 și 3 și se toarnă apă în pâlnia 10. După umplere închidem robinetul 3. La închiderea și deschiderea robinetilor aceștia se vor ține cu mâna stângă, iar la învârtirea cu mâna dreaptă a părții mobile se va apăsa foarte ușor.
2. Dacă se observă o denivelare la manometrul 13 se va deschide și robinetul 7.
3. Închidem robinetul 8.
4. Se pornește termostatul. Se începe termostatarea de la temperatura de 20°C. Se așteaptă 10 minute până când lichidul din eprubeta 1 ia temperatura termostatului.

5. Se deschide *încet și foarte puțin* robinetul 4. În acest mod trebuie să obținem o variație încetă a presiunii în eprubeta 1. Acest lucru se observă la manometru. În tot timpul măsurărilor robinetii 5,6 rămân închiși, evitându-se a se umbla la ei.

6. Când procesul de formare a bulelor devine staționar frecvența de formare a bulelor este constantă și de circa 5-6 bule pe minut, nu mai mare – se determină  $(\Delta_p)_{\max}$  pentru circa 10 bule, făcându-se citirile la manometrul atașat instalației. Se află valoare medie  $(\overline{\Delta_p})_{\max}$ .

7. Cunoscând pe  $r$ , constantă a aparatului notată pe acesta, și determinând pe  $(\overline{\Delta_p})_{\max}$  în  $\text{N/m}^2$ , se calculează conform formulei (9)  $\overline{\sigma}$   $20^\circ\text{C}$  în  $\text{N/m}$ .

8. Variind temperatura termostatului din  $10^\circ$  în  $10^\circ\text{C}$  se repetă operațiile de la punctele 5, 6, 7 pentru a obține valorile lui  $\overline{\sigma}$  între  $20^\circ$  și  $50^\circ\text{C}$ .

9. Se calculează valoarea lui  $\overline{\sigma}$  la fiecare din temperaturile la care s-au făcut determinările și se reprezintă grafic  $\overline{\sigma}$  ca funcție de temperatură.

10. Se oprește termostatul.

Rezultatele se vor trece în tabela următoare :

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	$(\Delta_p)_{\max}$ (mm col. apă)	$(\Delta_p)_{\max}$ ( $\text{N/m}^2$ )	$(\overline{\Delta_p})_{\max}$ ( $\text{N/m}^2$ )	$\overline{\sigma}$ ( $\text{N/m}$ )	$\varepsilon_\sigma$	$\sigma_{\Delta p}$

11. Folosind datele experimentale din tabela precedentă să se traseze curba :tensiune superficială în funcție de temperatură ( $\overline{\sigma} = f(\text{temperatură})$ ).

### Calculul erorilor

Calculul erorilor se va aplica pentru *una* dintre temperaturi. Deoarece valoarea lui  $(\Delta_p)_{\max}$  se obține ca o medie a valorilor citite pentru circa 10 bule, se va calcula eroarea statistică de care este afectat rezultatul. În acest scop :

- se deduce expresia matematică a erorii relative statistice asupra expresiei lui  $\sigma$  :

$$\varepsilon_\sigma = \sqrt{\varepsilon_\rho^2 + \varepsilon_g^2 + \varepsilon_r^2 + \varepsilon_{\Delta p}^2} = \sqrt{\left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta p)}{\Delta p}\right)^2}$$

- se calculează  $\sigma(\overline{\Delta_p})$  luând în considerare numărul de măsurători făcute asupra lui  $\Delta_p$ , cu formula :

$$\sigma(\overline{\Delta p}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\overline{\Delta p} - \Delta p_i)^2}$$

- se iau în calcule densitatea apei și accelerația gravitației cu precizie suficientă astfel că  $\delta\rho$  și  $\delta g$  să fie neglijabile pe lângă celelalte erori. Valoarea lui  $\delta r$  este specificată pe aparat lângă cea a lui  $r$ .

Calculul erorilor se trece în următorul tabel :

$\bar{\sigma}$ (N/m)	$\sigma(\bar{\Delta p})_{\max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\delta r$ (m)	$\varepsilon_{\sigma}$	$\bar{\sigma} \cdot \varepsilon_{\sigma}$ (N/m)

Rezultatul final pentru temperatura aleasă se va scrie sub forma :

$$\sigma = \bar{\sigma} \pm \bar{\sigma} \cdot \varepsilon_{\sigma}$$

În rezultat se vor păstra toate cifrele exacte, precum și prima cifră inexactă.