

MĂSURAREA DENSITĂȚII

NOȚIUNI TEORETICE

Caracteristica principală a unui fluid este densitatea sau masa sa volumică – notată cu ρ . Ea este definită ca și concentrația de masă dintr-un volum.

Astfel: $\rho = \frac{m}{V}$, unitatea de măsură – în sistem internațional a densității este kg/m^3 .

Determinarea densității unui lichid se bazează pe legea fundamentală a hidrostaticii.

Pentru fluide grele (lichide) ea este dată de relația: $p = p_0 + \rho gh$ unde:

p_0 – presiunea la suprafața liberă, de exemplu presiunea atmosferică;

p - presiunea la adâncimea h în lichidul de densitate ρ .

Densitatea relativă a unui fluid, este o mărime adimensională și este raportul dintre densitatea fluidului și densitatea unui fluid de referință, numit fluid etalon:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$$

Ca fluid etalon, pentru lichide se consideră apa cu $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, iar pentru gaze - aerul, în condiții normale de presiune și temperatură cu $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$.

În general densitatea variază în funcție de temperatură și presiune, fiind direct proporțională cu presiunea și invers proporțională cu temperatura.

DESCRIEREA APARATULUI ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Aparatul este destinat măsurării densității ρ a unui lichid (sau a greutatei specifice $\gamma = \rho g$) prin comparație cu densitatea lichidului etalon.

În lichide grele incompresibile, presiunea variază după relația $p = p_0 + \rho gh$ (repartiția hidrostatică) și este constantă în punctele unui plan orizontal situat în același lichid (planele orizontale sunt suprafețe echipotențiale și izobare).

Într-un tub în formă de U (figura 1) care conține două lichide nemiscibile, la nivelul planului de referință 1-1' avem $p_1 = p_{1'}$. În coloana (1) $p_1 = p_{\text{atm}} + \rho_1 gh_1$, iar în coloana (2) $p_{1'} = p_{\text{atm}} + \rho_2 gh_2$.

Prin egalarea presiunilor rezultă

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 \quad \text{adică} \quad \gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2 \quad \text{sau} \quad \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2. \quad (1)$$

Una din densități se poate exprima în funcție de cealaltă și de raportul înălțimilor coloanelor:

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{h_1}{h_2}$$

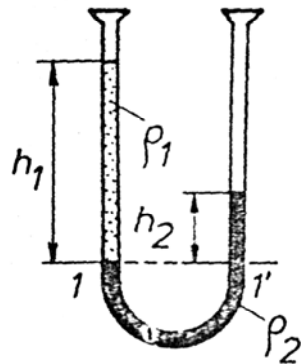


Figura 1

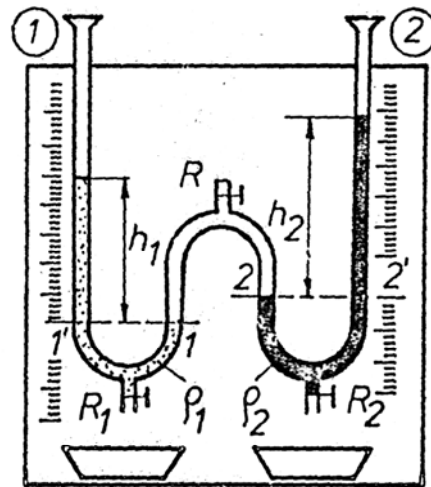


Figura 2

Pentru lichide miscibile, sau în general pentru a se evita contactul celor două lichide, se construiește un aparat din două tuburi în forma de U racordate printr-un alt tub prevăzut cu robinetul R (figura 2). Coloanele deschise sunt terminate cu pâlnii.

Sistemul de tuburi comunicante este montat pe un panou vertical. Robinetele R_1 și R_2 sunt destinate golirii tuburilor.

Cu toate robinetele închise se toarnă fluid în coloana liberă.

Fluidele rămân separate de o pernă de aer de presiunea p_0 , presiune ce poate fi reglată din robinetul R.

În perna de aer $p_1 = p_2$.

Prin egalarea celor două presiuni ale lichidelor din coloanele (1) și (2), se găsește tot relația (1), ca și în cazul când lichidele sunt în contact direct (figura 1).

MODUL DE LUCRU ȘI PRELUCRAREA REZULTATELOR

Se alege apa ca lichid de referință și se toarnă de exemplu în coloana (1).

În cealaltă coloană se toarnă încet din lichidul de densitate necunoscută pentru a nu se amesteca între ele (a se păstra perna de aer). Se citesc înălțimile coloanelor $h_1^{(1)}$ și $h_2^{(1)}$ și se calculează din relația (1) densitatea $\rho_2^{(1)} = \rho_1 \frac{h_1^{(1)}}{h_2^{(1)}}$.

Se modifică înălțimile coloanelor (se toarnă lichid sau de scot prin robinetul R_j), se citesc înălțimile $h_1^{(2)}$ și $h_2^{(2)}$, și se calculează $\rho_2^{(2)}$. O a treia determinare conduce

la densitatea $\rho_2^{(3)}$. Se adoptă ca densitate a lichidului valoarea mediei aritmetice a celor trei determinări

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_2^{(1)} + \rho_2^{(2)} + \rho_2^{(3)}}{3} \quad (2)$$

Se calculează eroarea densității medii determinată anterior, față de densitatea exactă a fluidului respectiv, cunoscută și dată în tabel:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{exact}} - \bar{\rho}_2}{\rho_{\text{exact}}} \cdot 100 \quad \% \quad (3)$$

Rezultatele se înscriu în tabel:

Lichidul	θ (°C)	ρ (kg/m ³)	Nr exp.	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$\rho_2^{(i)}$ (kg/m ³)	$\bar{\rho}_2$ (kg/m ³)	$\varepsilon^{(i)}$ %	Obs.
Mercur $\rho_{\text{exact}} = 13590 \text{ kg/m}^3$			1						
			2						
			3						
Toluen $\rho_{\text{exact}} = 865 \text{ kg/m}^3$			1						
			2						
			3						
Glicerină $\rho_{\text{exact}} = 1260 \text{ kg/m}^3$			1						
			2						
			3						

Se vor face măsurători pentru mercur și alte două lichide puse la dispoziție în laborator.

Se consideră temperatura lichidelor temperatura aerului din laborator. Pentru apă dau $\rho_{10^0} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{15^0} = 999 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{20^0} = 998 \text{ kg/m}^3$

EXEMPLU DE CALCUL

Considerăm ca fluid a cărui densitate trebuie să o determinăm, benzenul

Mărimi măsurate:

- h_1 – diferența înălțimilor din tubul U, ce conține apă a cărei densitate este cunoscută;
- h_2 - diferența înălțimilor din tubul U, ce conține benzen a cărei densitate trebuie să o determinăm;

Apă (h_1) mm	Benzen (h_2) mm
107	120
140	160
160	180

Mărimi calculate:

- densitatea $\rho_2^{(1)}$ pentru prima măsurătoare, cu formula

$$\rho_2^{(1)} = \rho_1 \frac{h_1^{(1)}}{h_2^{(1)}} = 1000 \frac{107 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 10^{-3}} = 891 \text{ kg/m}^3, \text{ în care } \rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3, \text{ densitatea apei;}$$

- se repetă calculele pentru celelalte două determinări, obținându-se:

$$\rho_2^{(2)} = \rho_1 \frac{h_1^{(2)}}{h_2^{(2)}} = 1000 \frac{140 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} = 875 \text{ kg/m}^3 \quad \text{și}$$

$$\rho_2^{(3)} = \rho_1 \frac{h_1^{(3)}}{h_2^{(3)}} = 1000 \frac{160 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-3}} = 888 \text{ kg/m}^3;$$

- se calculează media aritmetică a celor trei determinări, astfel:

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_2^{(1)} + \rho_2^{(2)} + \rho_2^{(3)}}{3} = \frac{891 + 875 + 888}{3} = 884 \text{ kg/m}^3$$

- se calculează eroarea valorii medii calculat anterior, față de valoarea exactă:

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{\rho_{\text{exact}} - \bar{\rho}_2}{\rho_{\text{exact}}} \right| 100 = \left| \frac{868 - 884}{868} \right| 100 = 1,80\%$$