

WYZNACZANIE GĘSTOŚCI CIECZY ZA POMOCĄ WAGI HYDROSTATYCZNEJ, WAGI MOHRA I AREOMETRU

Wstęp teoretyczny

Gęstość ρ (masa właściwa) - masa jednostki objętości substancji.

Dla ciał jednorodnych wyraża się zależnością:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdzie: m oznacza masę ciała,

V jego objętość.

Jednostką gęstości w układzie SI jest kg/m^3

Ciężar właściwy γ - ciężar jednostki objętości substancji.

$$\gamma = \frac{Q}{V}$$

gdzie: $Q = m g$ oznacza **ciężar ciała**,

V - objętość ciała,

g - przyspieszenie ziemskie.

Jednostką ciężaru właściwego w układzie SI jest 1N/m^3

Gęstość można powiązać z ciężarem właściwym ciała zależnością:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Dla ciał jednorodnych w każdym punkcie gęstość jest jednakowa. W przypadku ciał niejednorodnych należy mówić o rozkładzie gęstości w danej objętości ciała.

Ponieważ objętość ciała zmienia się z temperaturą następująco:

$$V_t = V_0(1 + \beta t)$$

zatem gęstość zależy od temperatury:

$$\rho_t = \frac{m}{V_0(1 + \beta t)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta t}$$

Ze względu na małą wartość współczynnika rozszerzalności objętościowej możemy zastosować wzór przybliżony:

$$\rho_t = \rho_0(1 - \beta t)$$

gdzie: V_0 , ρ_0 - objętość i gęstość w temperaturze 0°C

V_t , ρ_t - objętość i gęstość w temperaturze $t^\circ\text{C}$

β - **współczynnik rozszerzalności objętościowej** wyraża względny przyrost objętości przypadający na jednostkowy przyrost temperatury:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

Współczynnik β informuje o jaką część pierwotnej objętości zwiększy się objętość danego ciała pod wpływem ogrzania o 1 stopień.

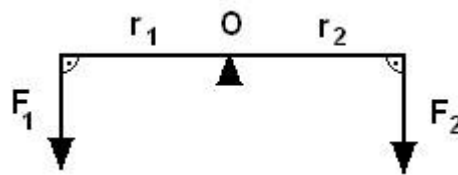
Znając gęstość można określić rodzaj materiału, jakość produktów, stężenie roztworów. Z tego powodu opracowano kilka metod pozwalających określić gęstość ciał:

- wyznaczenie gęstości cieczy lub ciał stałych przy użyciu wagi hydrostatycznej,
- wyznaczenie gęstości cieczy lub ciał stałych za pomocą piknometru, □
wyznaczenie gęstości cieczy za pomocą wagi Mohra.
- wyznaczenie gęstości cieczy za pomocą rurek Harrego.
- wyznaczenie gęstości cieczy za pomocą areometru.

Warunek równowagi sił na wadze technicznej (dźwigni dwustronnej).

Dźwignia dwustronna jest w równowadze, gdy suma wektorów momentów sił względem osi obrotu O jest równa zero:

$$\vec{r}_1 \times \vec{F}_1 + \vec{r}_2 \times \vec{F}_2 = 0$$



Rys. Waga - dźwignia dwustronna.

Waga jest w równowadze, gdy wartości momentów sił, przyłożonych do obu ramion, są równe: $r_1 F_1 = r_2 F_2$

Dla $r_1 = r_2$ równowaga następuje, gdy $F_1 = F_2$ (ciężar odważników F_2 jest równy działającej sile F_1).

Prawo Archimedesesa

Ciało w całości lub częściowo zanurzone w płynie wypierane jest ku górze siłą równą ciężarowi płynu wypartego przez to ciało.

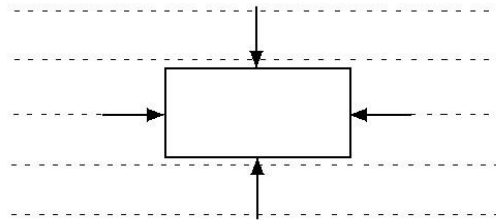
$$F_w = Q_{\text{płynu}}$$

$$F_w = \rho_{\text{płynu}} \cdot g \cdot V$$

$$[F_w] = \left[\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m^3 \right] = \left[\frac{kg \cdot m}{s^2} \right] = [N]$$

Prawo Pascala.

Ciśnienie w cieczy jednorodnej (zewnętrzne, hydrostatyczne) rozchodzi się równomiernie we wszystkie strony, działając prostopadle na każdą powierzchnię.



Zatem ciśnienie w dowolnym miejscu cieczy na głębokości h , jest sumą ciśnienia zewnętrznego p_z , wywieranego na ciecz, i ciśnienia hydrostatycznego.

$$p = p_z + pgh$$

Zagadnienia:

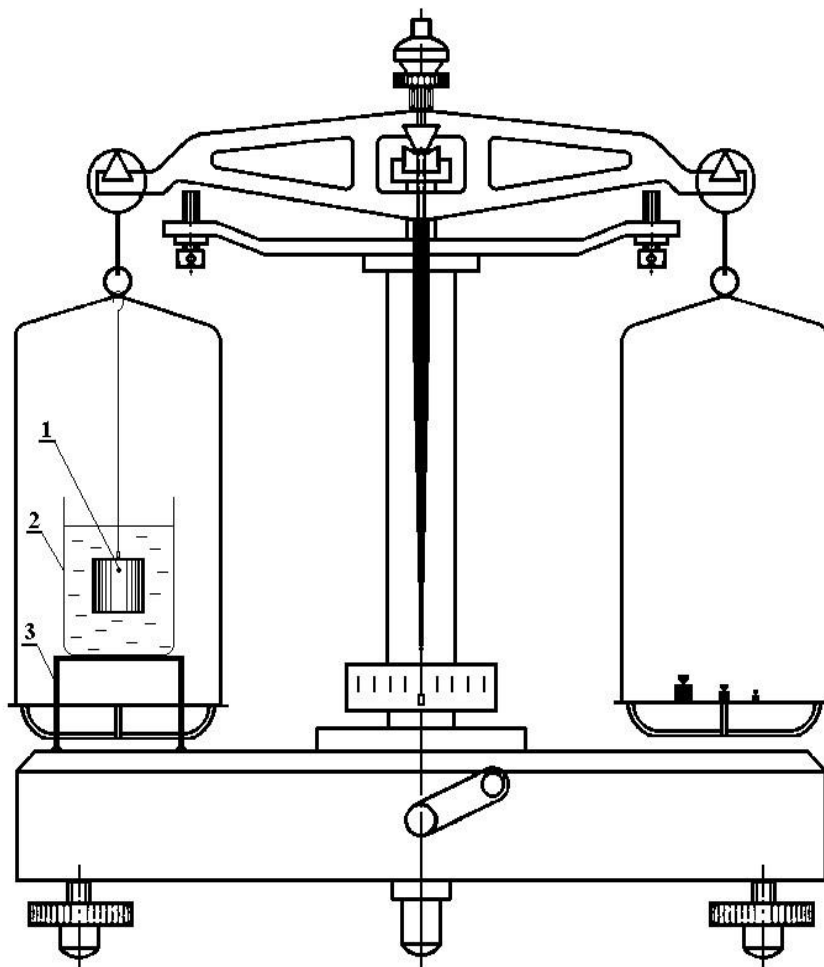
1. Ciężar, masa, ciężar właściwy i gęstość ciał.
2. Wpływ temperatury na gęstość.
3. Metody wyznaczania gęstości.
4. Warunek równowagi sił na dźwigni dwustronnej.
5. Prawo Archimedesesa.
6. Technika ważenia za pomocą wagi technicznej.
7. Przebieg ćwiczenia i sposób opracowania wyników.

Wyznaczenie gęstości cieczy za pomocą wagi hydrostatycznej

Spis przyrządów: waga techniczna (szalkowa), komplet odważników, obciążnik, łąweczka.

Wykonanie ćwiczenia:

1. Wyznaczyć przy pomocy wagi szalkowej masę obciążnika (próbniaka) w powietrzu – m_1 .
2. Wyznaczyć masę m_2 obciążnika zanurzonego w cieczy wzorcowej, wodzie destylowanej, o gęstości ρ_0 . W tym celu ustawić nad lewą szalką wagi technicznej łąweczkę, umieścić na niej zlewkę z wodą destylowaną, zawiesić obciążnik (rys.1).
3. Wyznaczyć masę obciążnika, zanurzonego w badanej cieczy – m_3 .



1 - obciążnik, 2 - zlewka, 3 - łąweczka.

Rys. 1. Waga hydrostatyczna

Obliczyć gęstość badanej cieczy ρ .
Masa wypartej przez obciążnik cieczy: wzorcowej wynosi $m_1 - m_2$
badanej wynosi $m_1 - m_3$.
Objętość zanurzonego obciążnika obliczamy z zależności

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_0}$$

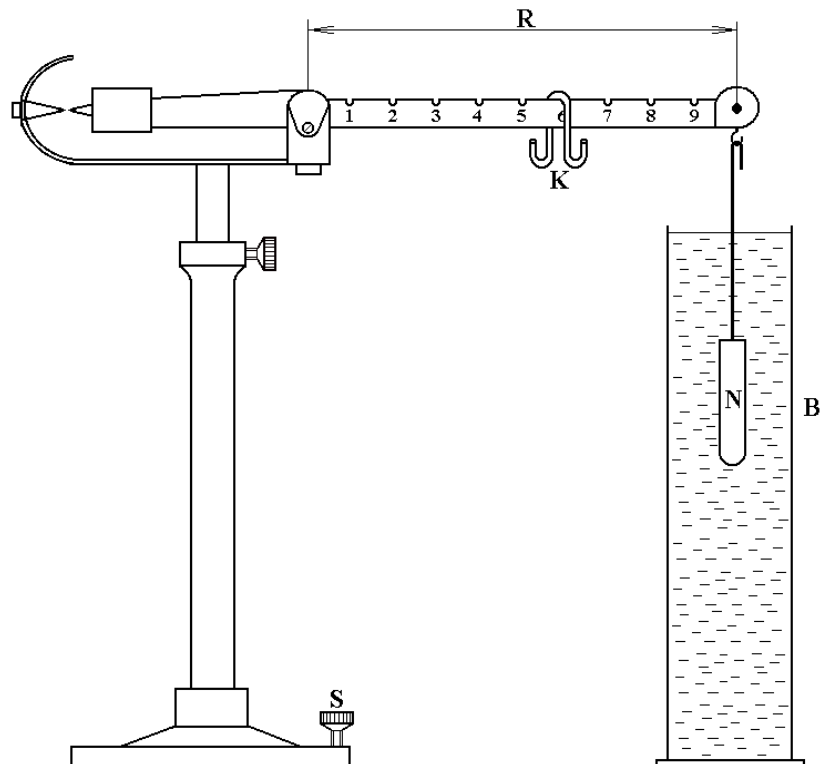
Korzystając z definicji gęstości, otrzymujemy następujący wzór na gęstość badanej cieczy:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \rho_0$$

Używany obciążnik nie może być wykonany z materiału, który się rozpuszcza w wykorzystywanych cieczach a jego gęstość musi być większa od gęstości cieczy wzorcowej ρ_0 i gęstości cieczy badanej.

Waga Mohra

W ćwiczeniu tym wykorzystujemy warunek równowagi dla dźwigni dwustronnej i prawo Archimedesesa.



Rys. Waga Mohra (K – konik; N – nurek; B – naczynie z cieczą; S – śruba regulacyjna)

Warunek równowagi dla wagi z nurkiem zawieszonym w powietrzu:

$$M_b = M_n.$$

M_b – wypadkowy moment siły belki, M_n – moment siły nurka

Po całkowitym zanurzeniu nurka w wodzie o temperaturze t , powstaje dodatkowy moment siły wyporu M_w , który kompensujemy momentem siły M_k dowieszonych koników.

$$M_w = \rho_{w,t} \cdot g \cdot V \cdot R$$

$$M_k = a \cdot g \cdot R \cdot n_w$$

gdzie:

$\rho_{w,t}$ – gęstość wody w temperaturze t ,

V – objętość nurka,

R – ramię ciężaru nurka równe ramieniu, odpowiadającemu pozycji 10 konika

a – umowny ciężar największego konika, pozostałe $0,1a$, $0,01a$,

n – suma pozycji koników pomnożonych przez ich względny ciężar w stosunku do największego konika – $0,1$, $0,01$.

Porównując ostatnie równania otrzymujemy:

$$\rho_{w,t} \cdot g \cdot V \cdot R = a \cdot g \cdot R \cdot n_w$$

Analogicznie po zanurzeniu w badanej cieczy i skompensowaniu konikami:

$$M_w = \rho_c \cdot g \cdot V \cdot R$$

$$M_k = a \cdot g \cdot R \cdot n_c$$

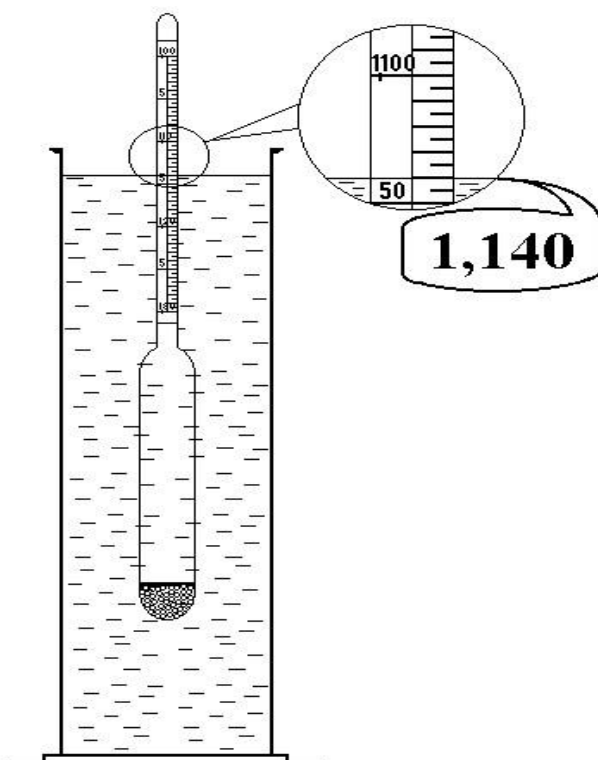
$$\rho_c \cdot g \cdot V \cdot R = a \cdot g \cdot R \cdot n_c$$

Dzieląc stronami odpowiednie równania otrzymujemy:

$$\rho_c = \frac{n_c}{n_w} \rho_{w,t}$$

Areometr

Areometr to wąska szklana rurka zakończona kulistym zbiornikiem wypełnionym śrutem. Wewnątrz rurki umieszczona jest podziałka podająca wartość gęstości badanej cieczy.



Rys. Areometr

Głębokość zanurzenia areometru jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości cieczy.

Literatura

1. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki* PWN, Warszawa 1978
2. A. Zawadzki, H. Hofmoki, *Laboratorium fizyczne*, PWN, Warszawa 1964
3. Szydłowski H., *Pomiary fizyczne, podręcznik dla nauczycieli*.
4. *I Pracownia Fizyczna*. pod red. Cz. Kajtocha, Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków 2007
5. Sawieliew I., *Wykłady z fizyki*, PWN, Warszawa, 1994
6. David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.