

Wprowadzenie teoretyczne

Doświadczenie „M O H R”

Gęstość, oznaczana grecką literą ρ (rho) lub d (z ang. density), to stosunek masy m do objętości V danego ciała:

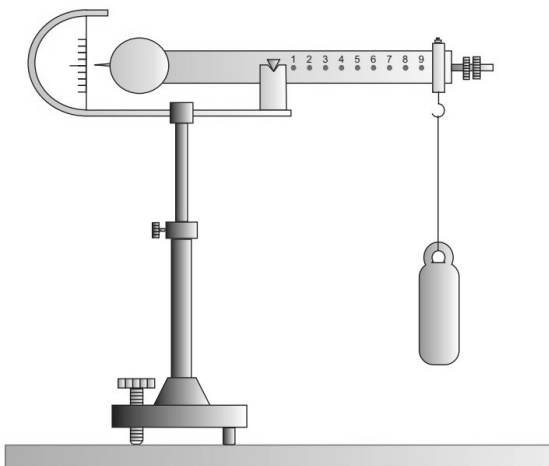
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Jest ona wyrażana w kilogramach na metr sześcienny.

Gęstość względna to stosunek gęstości jednej substancji ρ_{cieczy} odniesiona do znanej gęstości innej substancji. Jako odnośnik często używa się wody destylowanej, której gęstość to w przybliżeniu 1000 kg/m^3 . Wtedy gęstość względna cieczy dana będzie w następujący sposób:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Jest to wielkość bezwymiarowa, jednostki ulegają uproszczeniu.



Waga Mohra (Mohra-Westphala) – urządzenie służące do pomiaru gęstości względnej cieczy. To waga belkowa, która powinna być przed pomiarem zrównoważona w powietrzu. Na jednym z jej ramion znajdziemy szereg haczyków w precyzyjnie odmierzonych odległościach od osi podparcia belki. W odległości 10 cm zawieszony jest wypornik (nurek). Na drugim ramieniu umieszczony jest metalowy cylinder i wskazówka. Pod wagę podstawimy cylinder z cieczą, w taki sposób, żeby nurek był w niej całkowicie zanurzony. Wtedy na wypornik zadziała siła wyporu. Siłę tą należy zrównoważyć zawieszając na haczykach odważniki (koniki) o masach 10g, 1g, 0,1g tak, aby z powrotem zrównoważyć wagę.

Należy zapisać w tabeli odległość od osi obrotu każdego z koników.

Wartość momentu siły wyporu, działającej na nurek zawieszony w odległości 10 cm od punktu podparcia wagi to $M_{F_{\text{wyporu}}} = 10 \text{ cm} \cdot F_{\text{wyporu}}$. Wartość ta jest równoważona sumarycznym momentem sił ciężkości wszystkich trzech koników: $M_{\text{ciężaru koników}} = l_1 \cdot m_1 \cdot g + l_2 \cdot m_2 \cdot g + l_3 \cdot m_3 \cdot g$.

Z równości wartości momentów sił: $M_{F_{\text{wyporu}}} = M_{\text{ciężaru koników}}$ wynika, że siła wyporu działająca na nurek:

$$F_{\text{wyporu}} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}}$$

Zgodnie z prawem Archimedesesa siła wyporu działająca na ciało o objętości V zanurzone w cieczy jest proporcjonalna do gęstości tej cieczy: $F_{\text{wyporu}} = \rho_{\text{cieczy}} \cdot g \cdot V$.

Wyznaczenie gęstości względnej cieczy sprowadza się do wykonania pomiaru na tej samej wadze (identyczna objętość nurka V) najpierw w wodzie destylowanej o znanej temperaturze, a później w badanej cieczy.

Gęstość względna cieczy ρ_{wzgl} wyniesie:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{F_{\text{wyporu w H}_2\text{O}}}$$

Po uproszczeniu wartości g oraz odległości zawieszenia nurka otrzymamy:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{(m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)_{\text{w cieczy}}}{(m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)_{\text{w H}_2\text{O}}}$$

Gęstość bezwzględną (mianowaną) badanej cieczy otrzymamy mnożąc przez gęstość wody z tablic:

$$\rho_{\text{cieczy}} = \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}(T)$$

Pytania do przygotowania:

„M O H R”

1. Podaj definicję i jednostkę gęstości.
2. Wyjaśnij co to jest gęstość względna.
3. Podaj treść prawo Archimedesesa i zapisz wzór opisujący siłę wyporu.
4. Podaj i zapisz definicję i jednostkę ciężaru.
5. Wyjaśnij co to jest siła wyporu i od czego zależy.
6. Podaj i zapisz definicję siły i jej jednostkę.
7. Podaj i zapisz definicję momentu siły i jego jednostkę.
8. Podaj przybliżoną gęstość wody, glikolu i etanolu.
9. Wyjaśnij do czego służy waga Morha-Westphala.
10. Podaj budowę i opisz zasadę działania wagi Mohra-Westphala.
11. Jaki warunek musi być spełniony aby belka wagi Mohra-Westphala była w równowadze?
12. Zapisz wartość momentu siły wyporu działającego na nurek zawieszony w odległości l od punktu podparcia wagi Mohra-Westphala.
13. Zapisz siłę wyporu działającą na nurek wagi Mohra-Westphala i podaj warunek, który pozwala na jej wyznaczenie.
14. Podaj wzór na gęstość względną w zastosowaniu do wagi Mohra-Westphala.
15. Podaj wzór, który pozwala wyznaczyć gęstość szukanej cieczy w oparciu o pomiary z zastosowaniem wagi Mohra-Westphala.

„M O H R”

Student 1: Wyznaczanie gęstości wodnego roztworu glikolu.

Student 2: Wyznaczanie gęstości wodnego roztworu etanolu.

Baza teoretyczna

Zgodnie z prawem Archimedesesa siła wyporu działająca na ciało o objętości V zanurzone w cieczy jest proporcjonalna do gęstości tej cieczy:

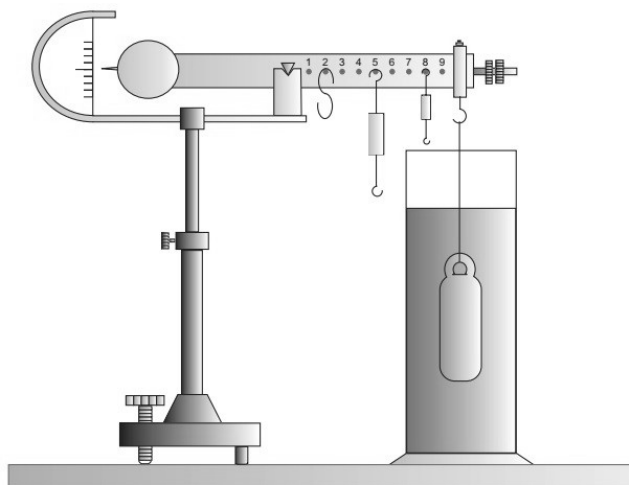
$$F_{\text{wyporu}} = \rho_{\text{cieczy}} \cdot g \cdot V,$$

gdzie g to przyspieszenie ziemskie.

Siłę tą można wyznaczyć korzystając z równowagi momentów sił na wadze Mohra.

Stosunek gęstości dwóch cieczy (gęstość względna) jest równa stosunkowi sił wyporu działających na wypornik wagi Mohra.

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{F_{\text{wyporu w H}_2\text{O}}}$$



Aby **wyznaczyć gęstość** cieczy należy:

1. Zrównoważyć wagę w powietrzu doprowadzając wskazówkę wagi do pokrycia z kreską środkową skali.
2. Pod wypornik podstawić cylinder z wodą destylowaną.
3. Zrównoważyć wagę zawieszając koniki na haczykach.
4. Zanotować odległości l_1 , l_2 i l_3 odpowiadające masom koników m_1 , m_2 i m_3 .
5. Obliczyć siłę wyporu działającą na nurek:

$$F_{\text{wyporu}} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}}$$

6. Odstawić cylinder z wodą i osuszyć wypornik
7. Pod nurek podstawić cylinder z badaną cieczą i powtórzyć czynności z punktów 3-6.
8. Wyznaczyć gęstość względną cieczy:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{F_{\text{wyporu w H}_2\text{O}}}$$

9. Korzystając z tabeli gęstości wody wyznaczyć gęstość cieczy

$$\rho_{\text{cieczy}} = \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}(T)$$

Zależność gęstości wody od temperatury

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}(T)$$

Temperatura [°C]	Gęstość wody [kg/m ³]
0	999,84
4	999,97
10	999,70
15	999,10
18	998,59
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
25	997,05
30	995,65
40	992,22

W temperaturach zbliżonych do temperatury pokojowej, tylko $T \in (15^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$, gęstość wody może być przybliżona wzorem empirycznym:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}(T) = 1000,289 - 0,003406 \cdot T - 0,00547 \cdot T^2$$

„M O H R”

Student 1: Wyznaczanie gęstości wodnego roztworu glikolu.

1. Wyniki pomiarów

	Woda destylowana		Roztwór glikolu	
	Masy koników [g]	Odległości koników [cm]	Masy koników [g]	Odległości koników [cm]
1	$m_1 =$	$l_1 =$	$m_1 =$	$l_1 =$
2	$m_2 =$	$l_2 =$	$m_2 =$	$l_2 =$
3	$m_3 =$	$l_3 =$	$m_3 =$	$l_3 =$

$$\Delta m = \dots$$

$$\Delta l = \dots$$

$$T = \dots$$

2. Obliczenia

Siła wyporu w wodzie destylowanej:

$$F_{\text{wyporu w } H_2O} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}} =$$

Niepewność tej siły związana jest z przemieszczeniem najmniejszego odważnika o najmniejszą odległość:

$$\Delta F_{\text{wyporu}} = \frac{g \cdot (0,1 \text{ gram} \cdot 1 \text{ cm})}{10 \text{ cm}} =$$

Siła wyporu w roztworze glikolu:

$$F_{\text{wyporu w cieczy}} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}} =$$

Gęstość względna roztworu glikolu:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{F_{\text{wyporu w } H_2O}} =$$

Niepewność gęstości względnej:

$$\Delta \rho_{\text{wzgl}} = \frac{1}{F_{\text{wyporu w } H_2O}} \cdot \Delta F_{\text{wyporu}} + \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{(F_{\text{wyporu w } H_2O})^2} \cdot \Delta F_{\text{wyporu}} =$$

Gęstość (mianowana) roztworu glikolu:

$$\rho_{\text{cieczy}} = \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{H_2O}(T) =$$

Niepewność tej gęstości to:

$$\Delta \rho_{\text{cieczy}} = \Delta \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{H_2O}(T) =$$

Stężenie procentowe roztworu glikolu w wodzie można oszacować według wzoru:

$$C_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}} - \rho_{H_2O}(T)}{\rho_{\text{tabl}} - \rho_{H_2O}(T)} \cdot 100 \%$$

3. Podsumowanie

Wyznaczona wartość gęstości roztworu glikolu wynosi

Tablicowa wartość gęstości glikolu wynosi:, dlatego stężenie glikolu w roztworze wodnym można szacować na%

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„M O H R”

Student 1: Wyznaczanie gęstości wodnego roztworu etanolu.

1. Wyniki pomiarów

	Woda destylowana		Roztwór etanolu	
	Masy koników [g]	Odległości koników [cm]	Masy koników [g]	Odległości koników [cm]
1	$m_1 =$	$l_1 =$	$m_1 =$	$l_1 =$
2	$m_2 =$	$l_2 =$	$m_2 =$	$l_2 =$
3	$m_3 =$	$l_3 =$	$m_3 =$	$l_3 =$

$$\Delta m = \dots$$

$$\Delta l = \dots$$

$$T_{\text{wody}} = \dots$$

2. Obliczenia

Siła wyporu w wodzie destylowanej:

$$F_{\text{wyporu w } H_2O} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}} =$$

Niepewność tej siły związana jest z przemieszczeniem najmniejszego odważnika o najmniejszą odległość:

$$\Delta F_{\text{wyporu}} = \frac{g \cdot (0,1 \text{ gram} \cdot 1 \text{ cm})}{10 \text{ cm}} =$$

Siła wyporu w roztworze etanolu:

$$F_{\text{wyporu w cieczy}} = \frac{g \cdot (m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3)}{10 \text{ cm}} =$$

Gęstość względna roztworu etanolu:

$$\rho_{\text{wzgl}} = \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{F_{\text{wyporu w } H_2O}} =$$

Niepewność gęstości względnej:

$$\Delta \rho_{\text{wzgl}} = \frac{1}{F_{\text{wyporu w } H_2O}} \cdot \Delta F_{\text{wyporu}} + \frac{F_{\text{wyporu w cieczy}}}{(F_{\text{wyporu w } H_2O})^2} \cdot \Delta F_{\text{wyporu}} =$$

Gęstość (mianowana) roztworu etanolu:

$$\rho_{\text{cieczy}} = \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{H_2O}(T) =$$

Niepewność tej gęstości to:

$$\Delta \rho_{\text{cieczy}} = \Delta \rho_{\text{wzgl}} \cdot \rho_{H_2O}(T) =$$

Stężenie procentowe roztworu etanolu w wodzie można oszacować według wzoru:

$$C_{\text{wzgl}} = \frac{\rho_{\text{cieczy}} - \rho_{H_2O}(T)}{\rho_{\text{tabl}} - \rho_{H_2O}(T)} \cdot 100 \%$$

3. Podsumowanie

Wyznaczona wartość gęstości roztworu etanolu wynosi

Tablicowa wartość gęstości etanolu wynosi:, dlatego stężenie etanolu w roztworze można szacować na%

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.