

A1. Wyznaczanie gęstości ciał stałych i cieczy za pomocą wagi hydrostatycznej

Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych praw hydrostatyki, pojęcia gęstości ciała i jej zależności od temperatury oraz - korzystając z prawa Archimedesesa - doświadczalne wyznaczenie gęstości kilku ciał stałych i cieczy.

Gęstość ciała (inaczej **masa właściwa**) – zgodnie ze wzorem:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1).$$

wyraża liczbowo masę zawartą w jednostce objętości tego ciała. Gęstość ciała wyrażamy w kg/m^3 .

Ze względu na **rozszerzalność termiczną ciał**, ich objętość zmienia się ze wzrostem temperatury (na ogół rośnie), zgodnie ze wzorem: $V = V_o(1 + \gamma \cdot \Delta t)$, gdzie γ oznacza współczynnik rozszerzalności objętościowej ciała. W konsekwencji, **gęstość ciała** również **zależy od temperatury** (na ogół maleje z jej wzrostem) zgodnie ze wzorem:

$$\rho = \frac{\rho_o}{1 + \gamma \cdot \Delta t} \quad (2).$$

Waga hydrostatyczna – umożliwia pomiar gęstości ciała (szczególnie o nieregularnych kształtach) w oparciu o prawo Archimedesesa. Stanowić ją może zwykła waga analityczna umieszczona na specjalnym statywie tak, aby móc zawiesić ważone ciało od dołu szalki wagi.

1/ **Aby znaleźć nieznaną gęstość ciała stałego (większą, niż posiada woda)** zawieszamy badaną próbkę na cienkim druciku (o masie zanedbywalnie małej) i dwukrotnie ją ważymy: raz w powietrzu, drugi raz w cieczy wzorcowej, najczęściej wodzie destylowanej. Wskazania wagi w drugim przypadku są mniejsze (pomniejszone o siłę wyporu, skierowaną przeciwnie do siły ciężkości), zgodnie z **prawem Archimedesesa**, które mówi, że:

ciało zanurzone w cieczy traci pozornie na ciężarze tyle, ile wynosi ciężar wypartej cieczy.

A więc, **siła wyporu** jest równa ciężarowi wypartej cieczy:

$$F_w = V \cdot \rho_c \cdot g \quad (3),$$

gdzie V – oznacza objętość ciała zanurzonego (równą objętości wypartej cieczy), ρ_c – gęstość cieczy, g – przyspieszenie ziemskie.

Stosunek **ciężaru ciała** w powietrzu ($Q = mg = V\rho g$, gdzie ρ jest gęstością ciała), do **siły wyporu** F_w (wzór 3) pozwala znaleźć bezwymiarową wielkość A , która określa stosunek gęstości badanego ciała ρ do gęstości cieczy (tzw. wzorcowej) ρ_c , w której to ciało jest zanurzone:

$$\frac{Q}{F_w} = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{V \cdot \rho_c \cdot g} = \frac{\rho}{\rho_c} = A \quad (4).$$

Siłę wyporu F_w znajdujemy, jako różnicę ciężaru ciała w powietrzu Q i w cieczy wzorcowej Q_1 , czyli $F_w = Q - Q_1$. Stąd:

$$A = \frac{\rho}{\rho_c} = \frac{Q}{Q - Q_1} = \frac{mg}{mg - m_1g} = \frac{m}{m - m_1} \quad (5),$$

a gęstość badanego ciała stałego znajdujemy wówczas ze wzoru:

$$\rho = A \cdot \rho_c \quad (6).$$

2/ Podobnie można wyznaczyć nieznaną gęstość cieczy ρ_x .

Otóż, jeżeli badaną próbkę ciała stałego zważoną uprzednio w powietrzu (m) i w cieczy wzorcowej o gęstości ρ_c (m_1), zważymy w innej cieczy o nieznannej gęstości ρ_x (m_2), to możemy wówczas znaleźć bezwymiarową wielkość B , jako stosunek sił wyporu $Q - Q_2$ oraz $Q - Q_1$ działających na tę próbkę zanurzoną w cieczy badanej i wzorcowej:

$$B = \frac{Q - Q_2}{Q - Q_1} = \frac{m - m_2}{m - m_1} = \frac{\rho_x}{\rho_c} \quad (7).$$

Nieznana gęstość cieczy wyliczamy wówczas ze wzoru :

$$\rho_x = B \cdot \rho_c \quad (8)$$

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz. 15.7
2. Cz. Bobrowski – Fizyka –krótki kurs – rozdz. 1.10
3. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz.12

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(<https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/>) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

A1. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary:	Imię i nazwisko studenta	Kierunek studiów:
		Grupa:
Data:	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie:

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy i materiały: waga, podstawka, zlewka, woda destylowana, alkohol, wodny roztwór siarczanu miedzi, próbki różnych metali.

Uwaga: Przy wykonywaniu pomiarów należy zwracać uwagę na całkowite zanurzenie ciała w badanej cieczy oraz na jego swobodne zawieszenie. Ważone ciało nie może dotykać dna naczynia, ocierać się o ściany boczne i wynurzać z cieczy podczas ważenia.

Przed kolejnym zanurzeniem ciała stałego w różnych cieczach należy je każdorazowo opłukać w wodzie destylowanej i osuszyć ściereczką.

I. Wyznaczanie gęstości ciała stałego

1. Ważymy dane ciało w powietrzu (m).
2. Ważymy dane ciało całkowicie zanurzone w wodzie (m_1).
3. Analogiczne pomiary jak w pkt. 1-2 wykonujemy dla kilku innych ciał stałych.
4. Wyniki wszystkich pomiarów zapisujemy w tabeli 1.

Tabela 1

t =[°C] $\rho_c = \dots\dots\dots$ [kg/m³]

rodzaj ciała stałego	masa ciała w powietrzu m [g]	masa ciała w wodzie m_1 [g]	A	ΔA	gęstość ciała ρ [kg/m ³]	$\Delta\rho$ [kg/m ³]

$\Delta m = \Delta m_1 = \dots\dots\dots$ [g]

Opracowanie wyników

1. Na podstawie zależności : $A = \frac{m}{m - m_1}$ obliczamy wielkość A dla każdego badanego ciała stałego.
2. Korzystając ze wzoru: $\rho = A \cdot \rho_c$ obliczamy gęstość ciała ρ w temperaturze pomiaru. Gęstość wody ρ_c w tej temperaturze znajdujemy w tablicach fizycznych.

3. Błąd bezwzględny dla wielkości A obliczamy metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta A = \left| \frac{-m_1}{(m-m_1)^2} \right| \Delta m + \left| \frac{-m}{(m-m_1)^2} \right| \Delta m_1$$

A dla gęstości ρ – metodą logarytmiczną:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \left| \frac{\Delta A}{A} \right|. \quad \text{stąd: } \Delta \rho = \rho \cdot \left| \frac{\Delta A}{A} \right|.$$

4. Zestawiamy otrzymane wyniki gęstości w postaci: $(\rho \pm \Delta \rho)$ jedn.SI

II. Wyznaczanie gęstości cieczy

1. Wybrane ciało stałe (tzw. ciało pomocnicze) ważymy w powietrzu (m).
2. Ważymy wybrane ciało stałe całkowicie zanurzone w wodzie destylowanej (m_1).
3. Ważymy wybrane ciało stałe całkowicie zanurzone w cieczy badanej o nieznannej gęstości (m_2).
4. Analogiczne pomiary jak w pkt. 1-3 wykonujemy dla kilku innych ciał pomocniczych, ale dla tej samej wybranej cieczy badanej.
5. Wyniki wszystkich pomiarów zapisujemy w tabeli 2.

Tabela 2

Rodzaj badanej cieczy:

nr ciała pomocniczego	masa ciała w powietrzu m	masa pozorna ciała w wodzie m_1	masa pozorna ciała w badanej cieczy m_2	B	Gęstość cieczy ρ_x [kg/m ³]
1					
2					
3					
Wartość średnia $\bar{\rho}_x =$					
Błąd wartości średniej $\Delta \bar{\rho}_x =$					
Zestawienie $(\bar{\rho}_x \pm \Delta \bar{\rho}_x) =$					

Opracowanie wyników

1. Na podstawie zależności $B = \frac{m-m_2}{m-m_1}$ obliczamy wartości B dla każdego ciała pomocniczego.
2. Korzystając ze wzoru: $\rho_x = B \cdot \rho_c$ obliczamy gęstość badanej cieczy ρ_x w danej temperaturze. Gęstość wody ρ_c w temperaturze pomiaru znajdujemy w tablicach fizycznych. Wartości otrzymane dla kilku ciał pomocniczych uśredniamy ($\bar{\rho}_x$).
3. Wielkość błędu pomiarowego dla średniej wartości gęstości cieczy obliczamy

metodą odchylenia standardowego:
$$\Delta \bar{\rho}_x = 3 \cdot SD = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\rho}_x - \rho_{xi})^2}{n(n-1)}}.$$

4. Zestawiamy wynik, czyli średnią wartość gęstości cieczy ($\bar{\rho}_x$) z – odpowiednio zaokrąglonym - błędem bezwzględnym tej wielkości $\Delta \bar{\rho}_x$ w postaci: $(\bar{\rho}_x \pm \Delta \bar{\rho}_x)$ jedn.SI.