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 Archimedesa - doświadczalne wyznaczenie gęstości kilku ciał stałych i cieczy.*

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

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

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:

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

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

1/ <u>Aby znaleźć nieznaną gęstość ciała stałego</u> (większą, niż posiada woda) zawieszamy badaną próbkę na cienkim druciku (o masie zaniedbywalnie 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 Archimedesa***, które mówi, że:

c*iało zanurzone w cieczy traci pozornie na ciężarze tyle, ile wynosi ciężar wypart*ej *cieczy*.

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

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

gdzie V – oznacza objętość ciała zanurzonego (równą objętości wypartej cieczy), ρ_c – gęstość cieczy, g – przyśpieszenie 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:

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

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:

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

a gęstość badanego ciała stałego znajdujemy wówczas ze wzoru:

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

2/ Podobnie można wyznaczyć <u>nieznaną gęstość cieczy ρ_x</u>.

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 nieznanej 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:

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

Nieznaną gęstość cieczy wyliczamy wówczas ze wzoru :

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

<u>Literatura uzupełniająca:</u>

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

<u>Zobacz też</u>:

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, cienka nitka.

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 zanurzaniem 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 np. 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 = ...[^{o}C] ρ_c = ... [kg/m^3]

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

$\Delta m = \Delta m_1$=……. [kg]

Opracowanie wyników

1. Na podstawie zależności : $A = \dfrac{m}{m - m_1}$ 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:

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

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

II. <u>Wyznaczanie gęstości cieczy</u>

1. Wybrane ciało stałe (tzw. ciało pomocnicze) ważymy w powietrzu (*m*).
2. Ważymy dane ciało w wodzie destylowanej (m_1).
3. Ważymy dane ciało w cieczy badanej o nieznanej gęstości (m_2).
4. Analogiczne pomiary jak w pkt. 1-3 wykonujemy dla kilku innych ciał pomocniczych.
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* .