

Nazwisko .....

Data .....

Nr na liście .....

Imię .....

Wydział .....

Dzień tyg. ....

Godzina .....

## Ćwiczenie 402

## Wyznaczanie siły wyporu i gęstości ciał

| WIELKOŚCI FIZYCZNE  | JEDNOSTKI            | WALEC                   | PROSTOPADŁOŚCIAN    |
|---|----------------------|-------------------------|---------------------|
|   |                      | (wpisz numer z wieczka) | (wpisz nazwę ciała) |
| $V_p$<br>Objętość początkowa  | [cm <sup>3</sup> ]   |                         |                     |
|   | [m <sup>3</sup> ]    |                         |                     |
| $V_k$<br>Objętość końcowa   | [cm <sup>3</sup> ]   |                         |                     |
|   | [m <sup>3</sup> ]    |                         |                     |
| $V = V_k - V_p$<br>Objętość ciała   | [m <sup>3</sup> ]    |                         |                     |
| $m$<br>Masa ciała   | [g]                  |                         |                     |
|   | [kg]                 |                         |                     |
| $F_m = m \cdot g$<br>Ciężar ciała   | [N]                  |                         |                     |
| $M$<br>Masa ciała zanurzonego   | [g]                  |                         |                     |
|   | [kg]                 |                         |                     |
| $F_M = M \cdot g$<br>Ciężar ciała zanurzonego                             | [N]                  |                         |                     |
| $F_w = F_m - F_M$<br>Siła wyporu  | [N]                  |                         |                     |
| $\rho_m = m/V$<br>Gęstość ciała   | [kg/m <sup>3</sup> ] |                         |                     |
| $\rho_{H_2O} = F_w / (V \cdot g)$<br>Gęstość wody obliczona z siły wyporu | [kg/m <sup>3</sup> ] |                         |                     |
| $F_T = V \cdot \rho_{Tw} \cdot g$<br>Siła wyporu - Teoretyczna            | [N]                  |                         |                     |

## Ćwiczenie 402. Wyznaczanie siły wyporu i gęstości ciała.

---

### CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest doświadczalne wyznaczenie siły wyporu oraz gęstości ciał stałych wykorzystując ich masę i siłę ciężkości bryły w powietrzu oraz cieczy.

### WSTĘP TEORETYCZNY

Ciała o jednakowych objętościach, ale zbudowane z różnych materiałów charakteryzują się innymi masami i ciężarami.

**Masa ( $m$ )** jest to ilość materii, z której zbudowane jest dane ciało. Jest to wartość stała, która nie zmienia się nawet po umieszczeniu ciała na innej planecie. Jednostką masy w układzie SI jest **kilogram [kg]** a przyrządem wykorzystywanym do mierzenia masy jest **waga**.

**Ciężar ciała (siła ciężkości,  $F_m$ )** jest to siła z jaką Ziemia lub inne ciało niebieskie przyciąga dane ciało i wyraża się wzorem:

$$F_m = m \cdot g \quad (1)$$

gdzie:  $F_m$  = ciężar (siła ciężkości), [N]  
 $m$  = masa ciała, [kg]  
 $g$  = przyspieszenie ziemskie ( $g = 9,81$ ), [ $\frac{m}{s^2}$ ]

Jest to wypadkowa sił przyciągania grawitacyjnego i siły odśrodkowej wynikającej z ruchu obrotowego określonego ciała niebieskiego. Jednostką ciężaru jest **niuton [N]**.

Przy stałym przyspieszeniu grawitacyjnym, ciężar ciała jest proporcjonalny do jego masy.

**Gęstość ciała (masa właściwa,  $\rho$ )** jest to wielkość fizyczna określająca masę substancji zawartej w jednostkowej objętości i wyrażana jest jako stosunek masy ciała ( $m$ ) do jego objętości ( $V$ ).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

gdzie:  $\rho$  = gęstość ciała [ $\frac{kg}{m^3}$ ]  
 $m$  = masa ciała, [kg]  
 $V$  = objętość ciała, [ $m^3$ ]

**Ciężar właściwy ciała ( $\gamma$ )** jest to natomiast stosunek ciężaru ciała do jego objętości

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} \quad (3)$$

gdzie:  $\gamma$  = ciężar właściwy, [ $\frac{N}{m^3}$ ]  
 $m$  = masa ciała, [kg]  
 $g$  = przyspieszenie ziemskie, [ $\frac{m}{s^2}$ ]  
 $V$  = objętość ciała, [ $m^3$ ]

Ciężar właściwy jest więc wielkością zależną od położenia geograficznego ciała i jego wysokości nad powierzchnią Ziemi.

Łącząc wzory (2) i (3) otrzymamy **zależność pomiędzy gęstością ciała a jego ciężarem właściwym**.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (4)$$

gdzie:  $\gamma$  = ciężar właściwy,  $[\frac{N}{m^3}]$

$\rho$  = gęstość ciała,  $[\frac{kg}{m^3}]$

$g$  = przyspieszenie ziemskie,  $[\frac{m}{s^2}]$

Po zanurzeniu ciała w płynie (cieczy lub gazie), zaczyna działać na nie **siła wyporu**, która skierowana jest pionowo do góry. Siła wyporu jest związana ze zjawiskiem ciśnienia hydro- lub aerostatycznego i powoduje wypychanie ciała ku górze (Rys.1). Określana jest następującym wzorem:

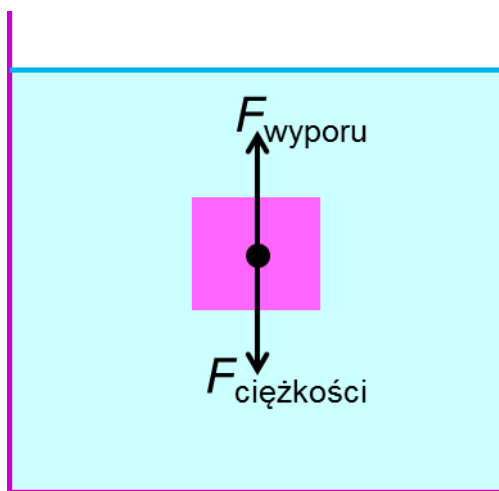
$$F_w = g \cdot \rho_w \cdot V \quad (5)$$

gdzie:  $F_w$  = siła wyporu [N]

$g$  = przyspieszenie ziemskie  $[\frac{m}{s^2}]$

$\rho_w$  = gęstość wody  $[\frac{kg}{m^3}]$

$V$  = objętość wypartej cieczy  $[m^3]$



**Rys.1.** Siły działające na ciało zanurzone w płynie.

Zachowanie ciała zanurzonego w cieczy zależy od jego gęstości  $\rho$  i gęstości cieczy  $\rho_c$ , w której jest zanurzone.

Jeżeli gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy, w której ciało jest zanurzone  $\rho > \rho_c$ , to siła ciężkości jest większa od siły wyporu  $F_c > F_w$  i ciało tonie.

Jeżeli gęstość ciała jest równa gęstości cieczy  $\rho = \rho_c$ , to siła ciężkości jest równa sile wyporu  $F_c = F_w$  i ciało pływa całkowicie zanurzone w cieczy.

Jeżeli gęstość ciała jest mniejsza od gęstości cieczy  $\rho < \rho_c$ , to siła ciężkości jest mniejsza od siły wyporu  $F_c < F_w$  i ciało pływa częściowo zanurzone w cieczy.

Gęstość ciała możemy zmierzyć wykorzystując **prawo Archimedes**a. Jest ono podstawowym prawem hydrostatyki i mówi, że: *Na ciało zanurzone w płynie (cieczy lub gazie) działa siła*

wyporu, skierowana przeciwnie do siły ciężkości i równa co do wartości ciężarowi płynu wypartego przez to ciało.

Nazwa prawa wywodzi się od jego odkrywcy - Archimedes z Syrakuz, greckiego matematyka i fizyka, autora wielu dzieł dotyczących zagadnień matematycznych (m.in. *O kuli i walca*, *O liczbie Pi*). Według legendy, Archimedes został poproszony przez króla Hierona II, o sprawdzenie czy wykonana przez jednego złotnika korona jest zrobiona z czystego złota. Archimedes wpadł na rozwiązanie zagadki podczas kąpieli i z okrzykiem „Eureka!” (z greckiego „Znalazłem!”) wybiegł nago na ulicę. U króla, przeprowadził doświadczenie, w którym włożył do naczynia z wodą koronę a potem bryłę czystego złota (taką samą jaką złotnik dostał od króla). Porównując wyparte ilości cieczy udowodnił, że złotnik okazał się oszustem.

Okazało się bowiem, że korona wyparła więcej cieczy, niż równa jej co do wagi bryła złota, co oznacza, że miała większą objętość, a więc mniejszą gęstość – nie była wykonana w całości ze złota

## WYKONANIE ĆWICZENIA

**Wyznaczanie objętość badanej bryły (walec, prostopadłościan). Prowadzący ćwiczenia wyznacza metody pomiaru objętości brył.**

### I METODA

- Wlej do cylindra miarowego (menzurki) wodę, na skali odczytaj jej objętość i zapisz w tabeli jako objętość początkową  $V_p$ , [m<sup>3</sup>]. Pamiętaj o przeliczaniu jednostek z cm<sup>3</sup> na m<sup>3</sup>. *Wlej taką ilość wody by po zanurzeniu ciała poziom nie przekroczył skali cylindra miarowego.*
- Zanurz bryłę (walec, prostopadłościan) w wodzie, ponownie odczytaj poziom wody w cylindrze i zapisz w tabeli jako objętość końcową  $V_k$ , [m<sup>3</sup>].  
*Uwaga! Bryłę wkładaj do cylindra pomiarowego po ścianie naczynia tak aby nie „wychłapać” początkowej objętości wody.*
- Oblicz objętość bryły (walec, prostopadłościan) z następującego wzoru, [m<sup>3</sup>]:

$$V = V_k - V_p$$

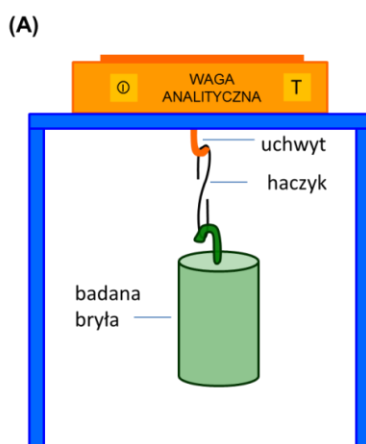
Wynik zapisz w tabeli. Przelicz jednostki.

### II METODA

- Zmierz suwmiarką potrzebne wymiary badanej bryły (walec – średnicę i wysokość, prostopadłościan – wszystkie boki) a następnie oblicz ich objętość ze wzoru na objętość walca lub prostopadłościanu, odpowiednio. Wpisz do tabeli otrzymane objętości  $V$ .
- W przypadku tej metody w rubrykach tabeli **objętość początkowa** i **objętość końcowa** wstaw kreski.

**Wyznaczanie masy i ciężaru badanej bryły w powietrzu.**

1. Włącz wagę elektroniczną przyciskiem ①. Przestrzegaj zasad opisanych poniżej. Nie wciskaj innych przycisków niż te opisane tutaj. W przypadku problemów z wagą skontaktuj się z prowadzącym ćwiczenia.
2. Powieś haczyk na uchwycie przymocowanym do spodu wagi i wytaruj wagę naciskając przycisk T (ten po prawej stronie). Waga powinna wskazywać wartość 0.000 g.
3. Powieś badaną bryłę na haczyku (*Schemat 1A*). Zważ bryłę w powietrzu i wpisz otrzymaną masę ciała  $m$  do tabeli, [kg]. Pamiętaj o przeliczeniu jednostek.

**Schemat A doświadczenia.**

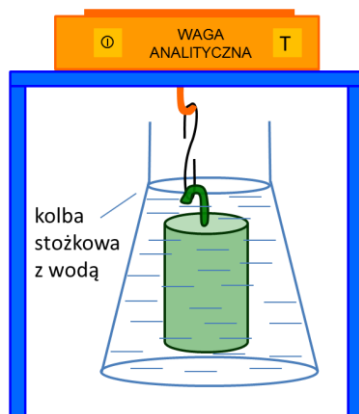
4. Oblicz ciężar ciała  $F_m$  z następującego wzoru, [N]:

$$F_m = m \cdot g$$

**Wyznaczanie masy i ciężaru badanej bryły w wodzie.**

1. Wlej ok. 450 ml (do szyki) wody do kolby stożkowej (kolby Erlenmeyera, erlenmajerki) i zmierz termometrem jej temperaturę. Następnie zanurz w wodzie badaną bryłę (*Schemat 1 B*), zważ bryłę i wpisz otrzymaną masę ciała zanurzonego  $M$  do tabeli, [kg]. Pamiętaj o przeliczeniu jednostek.

(B)



Schemat B doświadczenia.

2. Oblicz ciężar ciała zanurzonego  $F_M$  z następującego wzoru, [N]:

$$F_M = M \cdot g$$

### Wyznaczanie siły wyporu i gęstości.

1. Oblicz siłę wyporu  $F_w$  z następującego wzoru, [N]:

$$F_w = F_m - F_M$$

2. Oblicz gęstość badanych brył  $\rho_m$  z następującego wzoru,  $\frac{kg}{m^3}$ :

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

3. W tablicach fizyczno-astronomicznych odszukaj substancję o gęstości zbliżonej do obliczonej i podaj nazwę materiału, z którego wykonany jest badany prostopadłościan. *Walec jest przygotowany specjalnie do tego ćwiczenia i nie został wykonany z jednorodnego materiału. Nie szukaj nazwy materiału dla walca!*

### Wyznaczanie gęstości wody oraz teoretycznej wartości siły wyporu.

1. Z obliczonej siły wyporu oblicz gęstość wody  $\rho_{H_2O}$  według wzoru i dyskusji porównaj ją z wartością teoretyczną odczytaną z Tablic fizyczno-astronomicznych,  $\frac{kg}{m^3}$ . Zwróć uwagę na temperaturę!

$$\rho_{H_2O} = F_w / (V \cdot g)$$

2. Oblicz teoretyczną siłę wyporu  $F_T$  według następującego wzoru, [N]:

$$F_T = V \cdot \rho_{Tw} \cdot g$$

W tym wzorze za  $\rho_{Tw}$  wstaw wartość teoretycznej gęstości wody odczytanej wcześniej z Tablic fizyczno-astronomicznych.

## RACHUNEK BŁĘDÓW

Względny błąd pomiaru **gęstości** w przypadku **walca i prostopadłościanu** obliczamy ze wzoru:

$$\frac{\Delta\rho_m}{\rho_m} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}$$

gdzie: za  $\Delta V$  przyjmij  $2 \text{ cm}^3$  dla metody I, a za  $\frac{\Delta V}{V}$  przyjmij 2 % dla II metody, a  $\Delta m$  to dokładność ważenia. Jeśli nie wiesz jak ocenić dokładność ważenia, to zapytaj prowadzącego jeszcze podczas zajęć. Bez tej informacji nie wykonasz poprawnie rachunku błędów.

We wnioskach zapisz wynik z błędem dla gęstości walca i prostopadłościanu.

Np. gęstość walca wynosi  $(\rho_m \pm \Delta\rho_m) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Względny błąd pomiaru **siły wyporu obliczamy ze wzoru:**

$$\frac{\Delta F_w}{F_w} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta M}{M}$$

gdzie: podobnie jak wcześniej za  $\Delta m$  i  $\Delta M$  przyjmij dokładność ważenia.

We wnioskach zapisz błędy procentowe siły wyporu dla walca i prostopadłościanu.

Np. Błąd procentowy siły wyporu dla prostopadłościanu wynosi  $\frac{\Delta F_w}{F_w} \cdot 100\%$ . W skrócie można to zapisać jako  $B_{\%} = \frac{\Delta F_w}{F_w} \cdot 100\%$ .

Względny błąd pomiaru **gęstości wody** (obliczenia wykonaj tylko dla walca) obliczamy ze wzoru:

$$\frac{\Delta\rho_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} = \frac{\Delta F_w}{F_w} + \frac{\Delta V}{V}$$

We wnioskach zapisz wynik z błędem dla gęstości wody.

Np. gęstość wody wynosi  $(\rho_{H_2O} \pm \Delta\rho_{H_2O}) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Porównaj ten wynik z teoretyczną wartością gęstości wody (w określonej temperaturze – zbliżonej do tej z Twojego doświadczenia).

Czy wynik w granicy błędu jest zbliżony do wartości teoretycznej gęstości wody?

Wyniki obliczeń błędów pomiarów powinny być zaokrąglone w górę. Ilość cyfr znaczących błędów powinna być taka sama jak zmierzonej wielkości fizycznej.

## PYTANIA

1. Jaka jest różnica między masą a ciężarem ciała?
2. Czy siła wyporu tej samej masy zmieni się, gdy zamienimy wodę cieczą o gęstości większej od gęstości wody?