

## Wprowadzenie teoretyczne

# Doświadczenie „GĘSTOŚĆ”

**Temat:** Wyznaczanie gęstości ciała stałego metodą wyporu.

Archimedes odkrył, że siła wyporu  $F_w$  działająca na ciało zanurzone w płynie jest równa ciężarowi płynu wypartego przez to ciało:

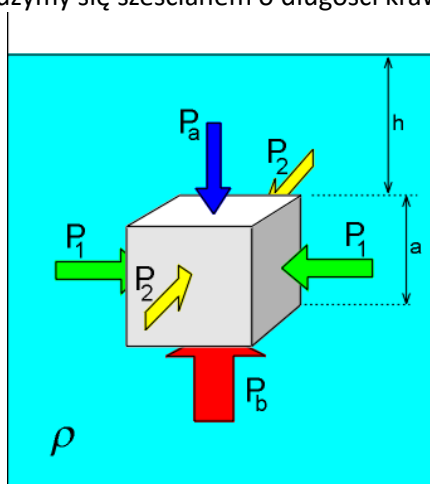
$$F_w = m_{\text{wyp. płynu}} \cdot g = \rho_{\text{płynu}} \cdot V_{\text{ciała}} \cdot g$$

gdzie:

$V_{\text{ciała}}$  - objętość zanurzonego ciała (jego zanurzonej części), jest ona równa objętości wypartego płynu,  
 $\rho_{\text{płynu}}$  - ( $\rho$  - grecka litera „ro”) gęstość płynu, z definicji  $\rho = m/V$ .

### Wyprowadzenie:

Posłużymy się sześcianem o długości krawędzi  $a$  zanurzonym w płynie o gęstości  $\rho_{\text{płynu}}$ .



Ciśnienie hydrostatyczne na głębokości  $h$  wynosi  $\rho_{\text{płynu}} \cdot g \cdot h$ .  
Rozważmy wszystkie 6 sił parcia na ścianki sześcianu.  
Suma sił parcia na powierzchnię boczną wynosi zero.  
Z tego względu różnica sił parcia  $P_b$  i  $P_a$  stanowi siłę wyporu  $F_w$ .

$$P_a = \rho_{\text{płynu}} \cdot g \cdot h \cdot a^2$$

$$P_b = \rho_{\text{płynu}} \cdot g \cdot (h + a) \cdot a^2$$

$$F_w = P_b - P_a = \rho_{\text{płynu}} \cdot a^3 \cdot g = \rho_{\text{płynu}} \cdot V_{\text{ciała}} \cdot g$$

„ $\rho_{\text{płynu}} \cdot V_{\text{ciała}} \cdot g$ ” wyraża ciężar wypartej cieczy.  
Wyrażenie to ma znak dodatni, czyli  $P_b > P_a$ , więc siła wyporu skierowana jest do góry.

### Przekształcenie:

Ciężar pozorny  $G_{\text{poz}}$  ciała zanurzonego w płynie jest mniejszy niż ciężar ciała w powietrzu  $G_0$ , a pozorna utrata ciężaru równa się sile wyporu:

$$F_w = G_0 - G_{\text{poz}}$$

Zgodnie z prawem Archimedes'a:

$$F_w = \rho_{\text{płynu}} \cdot V_{\text{ciała}} \cdot g$$

Objętość zanurzonego ciała z definicji gęstości

$$V_{\text{ciała}} = \frac{m_{\text{ciała}}}{\rho_{\text{ciała}}}$$

Po podstawieniu otrzymamy:

$$F_w = \rho_{\text{płynu}} \cdot \left( \frac{m_{\text{ciała}}}{\rho_{\text{ciała}}} \right) \cdot g$$

Ponieważ  $m_{\text{ciała}} \cdot g$  jest ciężarem ciała  $G_0$ , to możemy zapisać:

$$F_w = \frac{\rho_{\text{płynu}}}{\rho_{\text{ciała}}} \cdot G_0$$

Stąd gęstość ciała przy znanej gęstości płynu:

$$\rho_{\text{ciała}} = \frac{G_0 \cdot \rho_{\text{płynu}}}{F_w}$$



## Pytania do przygotowania:

**Temat:** Wyznaczanie gęstości ciała stałego metodą wyporu.

1. Podaj treść i zapisz wzorem prawo Archimedesesa.
2. Podaj definicję i jednostkę ciężaru oraz wyjaśnij co to jest ciężar pozorny.
3. Podaj definicję gęstości i jej jednostkę w układzie SI.
4. Podaj przybliżoną wartość gęstości wody, stali, powietrza.
5. Wyjaśnij co to jest siła wyporu i od czego zależy.
6. Narysuj rozkład sił działających na ciało zanurzone w cieczy.
7. Jakie warunki muszą być spełnione aby ciało pływało całkowicie zanurzone w cieczy, aby ciało tonęło w cieczy, aby ciało pływało częściowo zanurzone w cieczy?
8. Podaj wzór na siłę wyporu przy danych wartościach ciężaru ciała w wodzie  $G_{\text{poz}}$  oraz ciężaru ciała w powietrzu  $G_0$ .
9. Wyjaśnij różnicę między ciężarem a masą.
10. Jaka jest zależność gęstości wody od temperatury?
11. Wyjaśnij co to jest gęstość względna.
12. Podaj definicję ciśnienia i jego jednostkę w układzie SI.
13. Podaj treść prawa Pascala.
14. Wyjaśnij różnicę między ciśnieniem hydrostatycznym a aerostatycznym.
15. Podaj metody wyznaczania gęstości ciał stałych i opisz metodę zastosowaną w ćwiczeniu.

# „GĘSTOŚĆ”

**Temat:** Wyznaczanie gęstości ciała stałego metodą wyporu.

## Baza teoretyczna

Zawieszenie masy na siłomierzu pozwala wyznaczyć jej ciężar:

$$G_0 = m_{\text{ciała}} \cdot g = \rho_{\text{ciała}} \cdot V_{\text{ciała}} \cdot g.$$

Całkowite zanurzenie tej masy w wodzie pozwala odczytać ciężar pozorny  $G_{\text{poz}}$ .

Siła wyporu jest różnicą:

$$F_w = G_0 - G_{\text{poz}}$$

Siła ta równa jest ciężarowi wypartego płynu

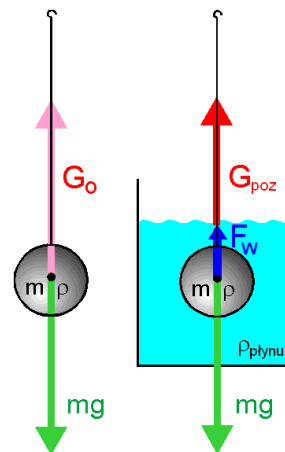
$$F_w = m_{\text{wyp. płynu}} \cdot g = \rho_{\text{płynu}} \cdot V_{\text{wyp. płynu}} \cdot g$$

Zatem, przyrównując objętość ciała do objętości wypartego płynu, można ułożyć proporcję:

$$\frac{G_0}{\rho_{\text{ciała}}} = \frac{F_w}{\rho_{\text{płynu}}},$$

którą można przekształcić do postaci:

$$\rho_{\text{ciała}} = \frac{G_0 \cdot \rho_{\text{płynu}}}{F_w}$$



Aby **wyznaczyć gęstość** ciała stałego należy:

1. Zawiesić odważnik na siłomierzu i odczytać jego ciężar  $G_0$ .
2. Zanurzyć ten odważnik w wodzie destylowanej w taki sposób, aby był całkowicie zanurzony i nie dotykał ścianek naczynia. Odczytać jego ciężar pozorny  $G_{\text{poz}}$  (mniejszy od rzeczywistego).
3. Powtarzać pomiary ciężaru rzeczywistego i pozornego ciała dokładając kolejne odważniki wykonane z tego samego materiału.
4. Obliczyć wartości sił wyporu i gęstości zanurzonego ciała stałego (patrz sprawozdanie punkt 3). W obliczeniach przyjąć gęstość wody destylowanej zgodnie z tabelą po prawej.
5. Obliczyć gęstości średnią ciała stałego.
6. Obliczyć odchylenie standardowe wyników gęstości oraz niepewność maksymalną gęstości ciała stałego jako trzykrotność tego odchylenia.

Zależność gęstości wody od temperatury  
 $\rho_{H_2O}(T)$

Temperatura [°C]	Gęstość wody [kg/m <sup>3</sup> ]
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

## Sprawozdanie

.....  
Nazwisko i Imię

.....  
Data

**Temat:** Wyznaczanie gęstości ciała stałego metodą wyporu.

### 1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G_0$	[N]										
$G_{poz}$	[N]										

### 2. Obliczenia przykładowe z jednostkami (odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$F_w = G_0 - G_{poz} =$$

$$\rho_{ciała} = \frac{G_0 \cdot \rho_{płynu}}{F_w} =$$

### 3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_w$	[N]										
$\rho_{ciała}$	$\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$										

Średnia gęstość ciała:

$$\rho_{ciała \text{ śred.}} =$$

Odchylenie standardowe:

$$\sigma_\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\rho_{ciała_i} - \rho_{ciała \text{ śred.}})^2}{N}} =$$

gdzie:  $\rho_{ciała_i}$  – wartość gęstości ciała dla kolejnego pomiaru,

$\rho_{ciała \text{ śred.}}$  – średnia wartość gęstości ciała,

$N$  – liczba pomiarów.

### 5. Podsumowanie

Wyznaczona wartość średnia gęstości ciała wynosi:  $\rho_{ciała \text{ śred.}} =$

Niepewność maksymalna wyznaczonej gęstości ciała wynosi:  $3 \cdot \sigma_\rho =$

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.