

XVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1966/1967). Stopień II, zadanie doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

Tadeusz Pniewski: Olimpiady Fizyczne XV i XVI. PZWS, Warszawa 1969
(str. 86 – 89)

Nazwa zadania: Wyznaczanie gęstości ciał metodą opartą na prawie Archimedesesa

Działy: Hydrostatyka, mechanika

Słowa kluczowe: prawo Archimedesesa, siła wyporu, gęstość, ciężar właściwy, objętość, ciężar, masa, waga

Zadanie 4, doświadczalne – D, zawody II stopnia, XVI OF

Masz do dyspozycji przyrządy:

- belkę z otworkiem,
- klocek z gwoździem,
- statyw z łapą,
- dwie bryły z różnych materiałów,
- nici, szpileczkę,
- linijkę z podziałką,
- zlewkę, naczynie z wodą,
- ligninę.

Wyznacz ciężar właściwy brył.

Gęstość wody przyjmij równą 1 g/cm^3 (ciężar właściwy wody – $0,01 \text{ N/cm}^3$).

Wskaż źródła niepewności pomiarowych. Jaki jest ich wpływ na wyniki?

Rozwiązanie

Metoda, którą tu zastosujemy do wyznaczenia ciężaru właściwego bryłek, opiera się na prawie Archimedesesa. Prawo to głosi, że siła wyporu, jakiej doznaje ciało zanurzone w cieczy, równa jest ciężarowi wypartej cieczy.

Jeżeli potrafimy zmierzyć siłę wyporu, wówczas, dzieląc ciężar wypartej cieczy przez jej ciężar właściwy, znajdujemy objętość zanurzonego ciała.

Do wyznaczenia ciężaru właściwego wystarczają dwa ważenia badanego ciała: w powietrzu i w cieczy o znanym ciężarze właściwym, a więc w naszym przypadku – w wodzie. Jeżeli wyniki tych ważeń oznaczymy odpowiednio przez P_c i P'_c , wówczas siła wyporu równa jest różnicy:

$$W = P_c - P'_c,$$

a ciężar właściwy badanego ciała wynosi:

$$d_c = \frac{P_c}{P_c - P'_c} d_w, \quad (1)$$

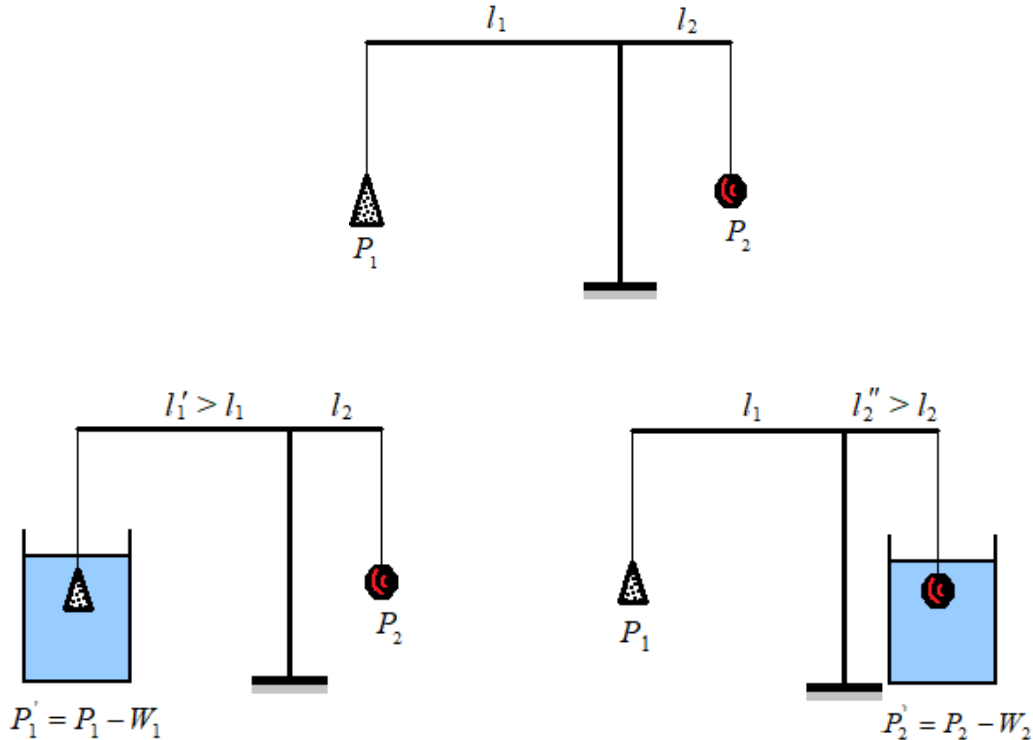
gdzie d_w jest ciężarem właściwym wody.

Wyrażenie to możemy przekształcić w następujący sposób:

$$d_c = \frac{1}{1 - \frac{P'_c}{P_c}} d_w. \quad (2)$$

Widzimy, że do wyznaczenia ciężaru właściwego badanego ciała nie jest nawet konieczna znajomość jego ciężaru w powietrzu i w wodzie z osobna, a wystarcza tylko znajomość stosunku tych ciężarów.

W zestawie przedmiotów, które uczeń ma do dyspozycji, znajduje się belka drewniana, która może być użyta jako dźwignia dwustronna. Dźwignia pozwala porównywać momenty działających na nią sił. Dźwignia znajduje się w równowadze, gdy suma momentów wszystkich działających na nią sił jest równa zero.



Rys. 1

Nasze doświadczenie ma przebieg następujący:

Badane bryłki zawieszamy za pomocą nici na ramionach dźwigni (rys. 1). Dźwignię równoważymy przez odpowiednie przesuwanie punktów zawieszenia bryłek wzdłuż ramion dźwigni.

Zachodzi wówczas równość momentów sił:

$$P_1 l_1 = P_2 l_2 \quad (3)$$

gdzie P_1 i P_2 oznaczają ciężary bryłek, a l_1 i l_2 długości ramion działających sił.

Następnie jedną z bryłek (np. bryłkę, której odpowiada wskaźnik 1) zanurzamy do wody.

Na skutek działania siły wyporu W_1 równowaga dźwigni zostaje zakłócona: zamiast siły P_1 działa teraz siła $P'_1 = P_c - W_1$. Do ponownego zrównoważenia dźwigni doprowadzamy zmieniając długość ramienia jednej z sił (np. siły P'_1).

Mamy wówczas:

$$P'_1 l'_1 = P_2 l_2 \quad (4)$$

gdzie l'_1 jest nową długością ramienia siły P'_1 .

Dzielimy stronami równania (3) i (4):

$$\frac{P'_1 l'_1}{P_1 l_1} = 1, \quad \text{czyli} \quad \frac{P'_1}{P_1} = \frac{l_2}{l'_1}. \quad (5)$$

Podstawiając uzyskany wynik do wzoru (2) otrzymujemy

$$d_1 = \frac{1}{1-l_1/l'_1} d_w. \quad (6)$$

Gdybyśmy dźwignię zrównoważyli zmieniając długość ramienia l_2 zamiast l_1 , wówczas zachodziłaby równość:

$$P'_1 l_1 = P_2 l'_2. \quad (7)$$

Dzieląc z kolei stronami równania (3) i (7) otrzymalibyśmy:

$$\frac{P'_1}{P_1} = \frac{l'_2}{l_2}, \quad (8)$$

a zatem odpowiednie wyrażenie na ciężar właściwy bryłki miałoby postać:

$$d_1 = \frac{1}{1-l'_2/l_2} d_w. \quad (9)$$

Ciężar właściwy drugiej bryłki wyznaczamy w podobny sposób. Znow dwukrotnie równoważymy dźwignię: raz gdy obie bryłki znajdują się w powietrzu, a następnie, gdy druga bryłka jest zanurzona w wodzie.

Odpowiednie wyrażenie na ciężar właściwy drugiej bryłki ma postać:

$$d_2 = \frac{1}{1-l_2/l'_2} d_w \quad \text{albo} \quad d_2 = \frac{1}{1-l'_1/l_1} d_w. \quad (10)$$

Pomiar ciężaru właściwego każdej z bryłek sprowadza się do pomiaru dwóch długości ramion działania odpowiednich sił. Do tego celu służy linijka należąca do zestawu przedmiotów, którymi dysponujemy.

Niepewności pomiarowe jakie powstają są wynikiem:

1) niedokładności linijki – jest to niepewność systematyczna wynosząca około 1 mm oraz

2) małej czułości używanej przez nas dźwigni, co jest z kolei źródłem niepewności przypadkowej: dźwignia nie reaguje na zbyt małe przesunięcia punktu zawieszenia bryłek.

Wyniki pomiarów uzyskane przez uczniów wskazują, że przypadkowe niepewności pomiarowe przekraczają kilkakrotnie niepewności systematyczne. Dlatego celowe było wykonywanie kilku lub nawet wielu pomiarów.

Ostatecznie uzyskane wartości ciężaru właściwego badanych bryłek obarczone były kilkoprocentowymi błędami.

Ze względu na stosunkowo małą dokładność pomiaru, można było nie uwzględniać innych źródeł niepewności, takich jak opór powietrza, którego doznają badane bryłki, zależność gęstości wody od temperatury itp.