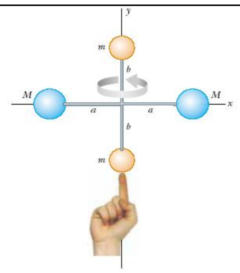
KATEDRA FIZYKI

WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

PRACOWNIA MECHANIKI



(a)

ĆWICZENIE NR M-9

OKREŚLANIE WZGLĘDNYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW OPORU OŚRODKA DLA CIAŁ O RÓŻNYCH KSZTAŁTACH

I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Siły tarcia.
2. Określanie siły oporu ośrodka.
3. Lepkość.
4. Moment siły względem osi obrotu.
5. Rachunek błędu metodą różniczki zupełnej.

II. Wprowadzenie teoretyczne

Przy ruchu ciała w ośrodku ciekłym lub gazowym powstają siły tarcia przeciwdziałające ruchowi zależne od współczynnika lepkości ośrodka η, pola przekroju poprzecznego s, kształtu ciała k i prędkości v ciała względem ośrodka. Można zależność tę zapisać wzorem:

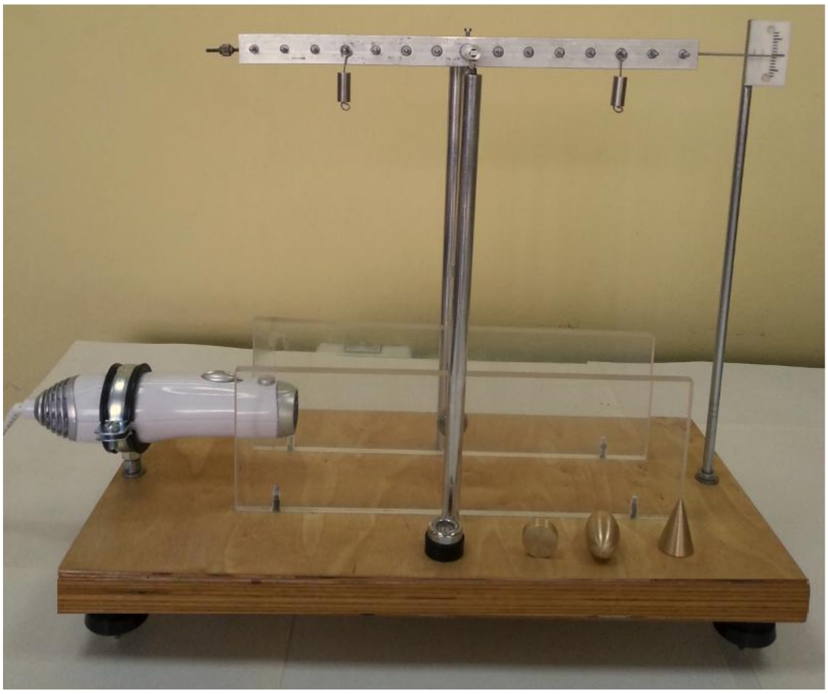
$$F_t = -\eta\ s\ k\ v \qquad (1)$$

Jeżeli ciała o różnych kształtach, jednakowym przekroju poprzecznym s płaszczyzną prostopadłą do kierunku ruchu, będą poruszać się z jednakową prędkością v w powietrzu o współczynniku lepkości η to siła działająca na każde z ciał może być zapisana jako:

$$F_t = -C\ k \qquad (2)$$

gdzie $C = \eta\ s\ v$

Przy tak określonych założeniach siła oporu ośrodka F_t będzie wprost proporcjonalna do współczynnika k zależnego od kształtu ciała, a wartość współczynnika C będzie stała. Na danym stanowisku badawczym wartość siły F_t będzie określona dla ciał o następujących kształtach: kuli, dysku, elipsoidy i stożka (rys. 2).



Rys. 2. Schemat układu

Jeżeli za referencyjny kształt ciała wybierzemy kulę, to dla ciała w kształcie kuli siłę oporu F_{tk} określimy jako:

$$F_{tk} = -C\ k_k \tag{3}$$

gdzie k_k jest współczynnikiem kształtu dla kuli.

Dla ciała x o innym kształcie niż kulisty siła ta będzie oznaczona jako:

$$F_{tx} = -C\ k_x \tag{4}$$

Jeżeli siłę oporu ośrodka działającą na ciała w kształcie dysku, elipsoidy i stożka określić względem siły działającej na ciało w kształcie kuli to:

$$\frac{F_{tx}}{F_{tk}} = \frac{k_x}{k_k} = k_w \tag{5}$$

Mierząc wartości sił F_{tx} i F_{tk} można określić k_x danego ciała względem kuli. Dla określania względnych współczynników oporu ośrodka zaprojektowano stanowisko badawcze, które przedstawiono na (rys. 1). Układ należy zrównoważyć przed uruchomieniem przepływu strumienia powietrza. Określenie siły oporu ośrodka polega na porównaniu momentów sił względem osi obrotu w trakcie przepływu strumienia powietrza. Wzorem można to zapisać jako:

$$F_t d = F_1 a - F_2 b \tag{6}$$

Znając wartości ramion a, b i d oraz mierząc wartości sił ciężkości F_1 i F_2, ze wzoru (6) można wyznaczyć siły F_t dla każdego z ciał. Współczynniki oporu ośrodka wyznaczamy ze wzoru (5).

Względny współczynnik oporu ośrodka dla elipsoidy, walca i stożka, z uwzględnieniem wzoru (6), może być wyrażony jako:

$$\frac{F_{tx}}{F_{tk}} = k_w = \frac{F_{x_1} a_x - F_{x_2} b_x}{F_{k_1} a_k - F_{k_2} b_k} \tag{7}$$

gdzie F_{x1} - siła przyłożona do ramienia a;

F_{x2} - siła przyłożona do ramienia b.

Indeks x oznacza odniesienie do ciał w kształcie elipsoidy, walca i stożka, indeks k odnosi się do ciała w kształcie kuli.

III. Zestaw pomiarowy

Ramiona a, b i d, siła oporu ośrodka F_t określana dla kuli, dysku, elipsoidy i stożka.

Rys. 3. Układ pomiarowy do określania wartości współczynników oporu ośrodka dla ciał o różnych kształtach

IV. Przebieg ćwiczenia

1. Zawiesić obciążnik w postaci kulki.
2. Sprawdzić równowagę układu poprzez ustawienie wskazówki w środkowej pozycji tarczy.
3. Włączyć dmuchawę na maksymalne obroty.
4. Zrównoważyć układ poprzez podwieszenie obciążników na ramieniu. Odczekać, aż amplituda drgań zmniejszy się do wartości umożliwiającej określenie stanu równowagi. Pomiar wykonać dla 3 różnych wartości a i b odpowiadających równowadze układu.
5. Położenie obciążników na ramionach a i b, odpowiadające stanowi równowagi, wpisać do tabeli.
6. Punkty od 1-5 powtórzyć dla każdego z obciążników.

V. Tabela pomiarowa

Lp.	*Rodzaj obciążnika*	*Położenie ciężarka na ramieniu a [m]*	*Położenie ciężarka na ramieniu b [m]*	*Moment siły M [N m]*	*Średnia wartość momentu siły [N m]*	*Wartość względna współczynnika oporu ośrodka k_w*	*Średnia wartość współczynnika oporu ośrodka k_w*
1	*kula*						
2	*walec*						
3	*elipsoida*						
4	*Stożek zwrócony ostrzem do dmuchawy*						
5	*Stożek zwrócony podstawą do dmuchawy*						

masa ciężarków równoważących układ $m_{c1=c2}$=10g; m_{c3}=2g; m_{c4}=1g;

odległość pomiędzy punktami zawieszenia ciężarków na ramieniu: 2 cm.

$m_{c1=c2}=10g$

$m_{c3}=2g$

$m_{c4}=1g$

Rys. 4. Masy poszczególnych ciężarków

VI. Opracowanie ćwiczenia

1. Obliczyć wartość momentu siły dla każdego z ciał o danym kształcie:

$$M = g\left(m_{c_a} a - m_{c_b} b\right) \tag{8}$$

Wzór (8) dotyczy przypadku, gdy równowagę układu osiągniemy przy pomocy 2 ciężarków. W przypadku większej ilości ciężarków wzór (8) będzie mieć postać:

$$M = g\left(\sum_{i=1}^{n1} m_i a_i - \sum_{j=1}^{n2} m_j b_j\right) \tag{9}$$

gdzie: n_1 jest ilością ciężarków na ramieniu *a*,

n_2 jest ilością ciężarków na ramieniu b.

2. Obliczyć stosunki współczynników oporu ośrodka k_w dla walca, elipsoidy i stożka względem kuli według wzoru:

$$k_w = \frac{m_{x_1} a_x - m_{x_2} b_x}{m_{k_1} a_k - m_{k_2} b_k} \tag{10}$$

Wzór (10) dla ogólnego przypadku przyjmuje postać:

$$k_w = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} m_i a_i - \sum_{j=1}^{n_2} m_j b_j}{\sum_{k=1}^{n_3} m_k a_k - \sum_{l=1}^{n_4} m_l b_l} \tag{11}$$

Ponieważ do osiągnięcia równowagi w układzie przedstawionym na (rys.3) wystarczą 2 ciężarki z widocznych na (rys. 4) do obliczenia momentu sił wystarczy zastosować wzór (8), a do względnego współczynnika oporu wzór (10).

VII. Rachunek błędu

1. Obliczyć błąd określenia momentu siły dla poszczególnych ciał, przyjmując dokładności określania masy ciężarków $\Delta m_c=10^{-6}$ kg, dokładności położenia punktów zawieszenia ciężarków $\Delta a = \Delta b = 10^{-3}$ m według wzoru:

$$Dla: \Delta m_{c_a} = \Delta m_{c_b} = \Delta m_c, \Delta b = \Delta a$$

$$\Delta M = g\left[(a+b)\Delta m_c + \left(m_{c_a} + m_{c_b}\right)\Delta a\right] \tag{12}$$

2. Obliczyć błąd określenia względnej wartości współczynników oporu ośrodka przyjmując dokładności Δa i Δb jak w punkcie 1 według wzoru:

$$Dla: \Delta m_{x_1} = \Delta m_{x_2} = \Delta m_{k_1} = \Delta m_{k_2} = \Delta m_c$$
$$\Delta a_x = \Delta b_x = \Delta a_k = \Delta b_k = \Delta a$$

$$\Delta k_w = \frac{(a_x + b_x)\Delta m + \left(m_{x_1} + m_{x_2}\right)\Delta a}{m_{k_1} a_k - m_{k_2} b_k} + \frac{\left(m_{x_1} a_x - m_{x_2} b_x\right)\left[(a_k + b_k)\Delta m + \left(m_{k_1} + m_{k_2}\right)\Delta a\right]}{\left(m_{k_1} a_k - m_{k_2} b_k\right)^2} \tag{13}$$

Literatura

1. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1980.
2. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
3. Massalski J., Massalska M., Fizyka dla inżynierów, Fizyka klasyczna, Tom I, WNT, Warszawa 2005.
4. Szydłowski H., Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.