zajęcia otwarte z fizyki

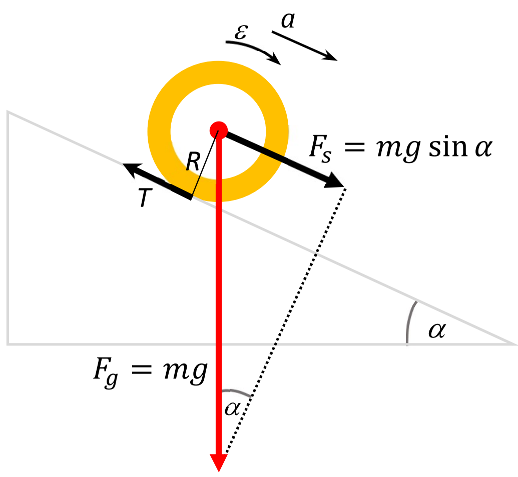
STACZANIE WALCA Z RÓWNI POCHYŁEJ

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem doświadczenia jest badanie ruchu obrotowego podczas staczania się walca lub walca wydrążonego z równi pochyłej oraz wyznaczenie momentu bezwładności walca i walca wydrążonego.

Można przyjąć, że w przypadku walca (lub walca wydrążonego) na równi pochyłej działają na niego dwie siły powodujące jego ruch po równi. Jedną z nich jest siła ciężkości, której rzut na kierunek ruchu wynosi $F_s = mg \sin \alpha$, a drugą siła tarcia T.

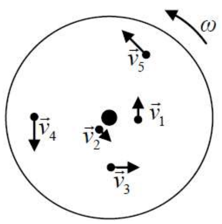


Siła ciężkości jest zaczepiona w środku ciężkości walca, natomiast siła tarcia w miejscu styku walca z równią pochyłą. Te dwie siły zaczepione w różnych punktach powodują, że walec po równi pochyłej się stacza, a nie zsuwa. Ruch ten można rozważać jako złożenie dwóch ruchów: ruchu postępowego wzdłuż równi oraz ruchu obrotowego. Ruch postępowy jest opisywany przez prędkość liniową v i przyspieszenie liniowe a.

Z drugiej zasady dynamiki Newtona dla ruchu postępowego wynika, że

$$ma = mg \sin \alpha - T. \tag{1}$$

W przypadku braku siły tarcia ($T = 0$) walec ześlizgnął by się z równi ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem równym $a = g \sin \alpha$.



W przypadku ruchu obrotowego prędkość liniowa i przyspieszenie ma różny zwrot i wielkość w zależności od tego gdzie konkretnie dany punkt się znajduje w danym ciele. Dlatego w takim przypadku dobrze jest wprowadzić prędkość kątową (ω), mówiącą o jaki kąt dany punkt się obraca w jednostce czasu i przyspieszenie kątowe (ε) mówiące jak zmienia się prędkość kątowa w czasie.

Oczywiście ruch postępowy jest powiązany z ruchem obrotowym i $\omega = \frac{v}{R}$ oraz $\varepsilon = \frac{a}{R}$ (im szybciej walec się obraca tym szybciej stacza się po równi).

Ruch obrotowy powoduje nie tyle sama siła, ale fakt, że jest ona zaczepiona w odległości R od środka ciężkości. Dlatego w opisie ruchu należy zastąpić siłę – momentem siły (iloczynem siły i odległości od osi obrotu danego punktu). Zależy on również od tego w jaki sposób masa jest rozłożona wokół osi obrotu, dlatego masę należy zastąpić momentem bezwładności (I) (sumą iloczynu masy i kwadratu odległości od osi obrotu wszystkich punktów danego ciała).
Druga zasada dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego wyraża się więc wzorem:

$$I\varepsilon = TR. \tag{2}$$

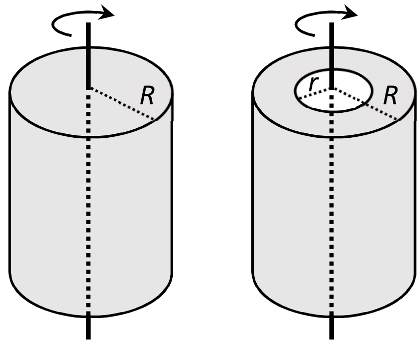
WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Projekt współfinansuje m.st. Warszawa

Można pokazać, że w przypadku walca pełnego obracającego się wzdłuż swojej osi symetrii moment obrotowy wynosi

$$I = \frac{mR^2}{2}, \qquad (3)$$

zaś w przypadku walca wydrążonego

$$I = \frac{m(R^2+r^2)}{2}. \qquad (4)$$



Łącząc równanie (1) i (2) ze sobą oraz wstawiając zależność między przyspieszeniem kątowym a liniowym, łatwo pokazać że:

$$ma = mg\sin\alpha - \frac{Ia}{R^2}, \qquad (5)$$

stąd

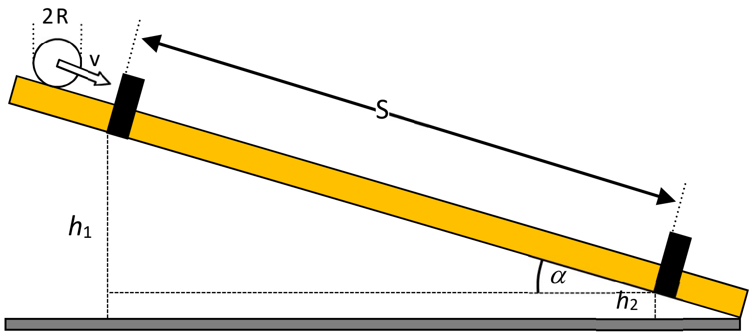
$$a = \frac{g\sin}{1+\frac{I}{mR^2}} \qquad (6)$$

Jak widać poprawka związana z ruchem obrotowym wynosi $\frac{I}{mR^2}$ i im większa wartość tego członu tym mniejsze przyspieszenie walca. W przypadku walca pełnego poprawka ta wynosi 1/2, zaś w przypadku walca wydrążonego o nieskończenie cienkiej ściance będzie ona dążyć do 1.

POMIARY

Układ pomiarowy składa się z:

- równi pochyłej,
- walca pełnego i wydrążonego,
- taśmy mierniczej,
- wagi elektronicznej.



Ruch postępowy ciała na równi jest ruchem jednostajnie przyspieszonym, więc można powiązać przyspieszenie ciała z drogą:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2. \qquad (7)$$

Aby wyznaczyć przyspieszenie i prędkość początkową ciała dzielimy obie strony równania przez czas.

$$\frac{s}{t} = v_0 + \frac{1}{2}at. \qquad (8)$$

Otrzymujemy wówczas zależność liniową $\frac{s}{t}(t)$, której wyraz wolny jest równy prędkości początkowej walca, a współczynnik kierunkowy jest równy połowie przyspieszenia ciała.

Jak myślisz, dlaczego łatwiej jest wyznaczyć przyspieszenie z zależności $\frac{s}{t}(t)$ a nie $s(t)$?

Doświadczenie będzie polegało na kilkukrotnym puszczeniu swobodnym walca z górnej części równi pochyłej. Początek i koniec analizowanej drogi wyznaczać będą fotokomórki ustawione na torze, których odległość można regulować. Fotokomórki połączone są z zegarem, który startuje, gdy przecięta zostaje wiązka lasera emitowana przez górną fotokomórkę, a zatrzymuje się, gdy przetnie się wiązkę dolną.

POMIARY WSTĘPNE

Zmierz wymiary równi potrzebne do wyznaczenia sinusa jej kąta nachylenia (patrz rysunek).

h_1 [cm]	h_2 [cm]	S [cm]	$\sin\alpha = \frac{h_1 - h_2}{S}$

Zmierz promienie walca pełnego i wydrążonego i wpisz do tabeli poniżej. Następnie zgodnie ze wzorami (3) i (4) oblicz $\frac{I}{mR^2}$ walców oraz przyspieszenie ze wzoru (6).

	walec pełny	walec wydrążony
promień zewnętrzny R [cm]		
promień wewnętrzny r [cm]	0	
$\frac{I}{mR^2} = \frac{(R^2 + r^2)}{2R^2}$	$\frac{1}{2}$	
przyspieszenie $a = \frac{g\sin\alpha}{1+\frac{I}{mR^2}}$ [m/s^2]		

POMIARY PRZYSPIESZENIA LINIOWEGO WALCÓW

Zmierz czas w jakim walec przebywa drogę określoną przez fotokomórki umieszczone na równi. Jakie są niepewności tak przeprowadzonego pomiaru i od czego one zależą? Zmierz czas kilkukrotnie, czy za każdym razem otrzymasz taki sam wynik?

Zmieniając kolejno drogę jaką przebywa walec na równi pochyłej zmierz sześciokrotnie czas potrzebny do jej przebycia, a następnie wyznacz średni czas przelotu. Pomiary wykonaj dla walca pełnego i wydrążonego.

Otrzymane wyniki przedstaw na wykresie na papierze milimetrowym w postaci zależności $\frac{S}{t_{śr}}(t_{śr})$ i do zgromadzonych danych za pomocą linijki dopasuj prostą. Wyznacz wyraz wolny oraz współczynnik kierunkowy narysowanej prostej, a następnie korzystając ze wzoru (8) wyznacz prędkość początkową i przyspieszenie liniowe walca. Porównaj otrzymane wartości z wartością oczekiwaną obliczoną ze wzoru (6). Skąd mogą pochodzić ewentualne rozbieżności?

Tabela 1. Pomiary dla walca pełnego

S [m]	t [s]			$t_{śr}$ [s]	$\frac{S}{t_{śr}}$ [m/s]

Tabela 2. Pomiary dla walca wydrążonego

S [m]	t [s]			$t_{śr}$ [s]	$\frac{S}{t_{śr}}$ [m/s]

Tabela 3. Prędkość początkowa i przyspieszenie liniowe obu walców

	pomiary		obliczenia	Względna różnica [%]
	v_0 [m/s]	a [m/s^2]	a [m/s^2]	
walec pełny				
walec wydrążony				

Opracowanie:
A. Spyra, A. Drabińska