

1

RUCH OBROTOWY BRYŁY SZTYWNEJ

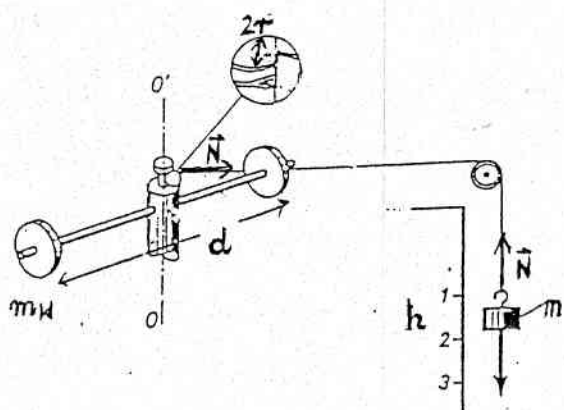
Cel ćwiczenia:

Doświadczalne sprawdzenie II zasady dynamiki dla ruchu obrotowego bryły sztywnej

Zagadnienia do przygotowania:

- moment bezwładności, twierdzenie Steinera
- moment siły, iloczyn wektorowy
- prawa dynamiki dla ruchu postępowego i obrotowego

Przebieg ćwiczenia:



$$\begin{cases} m a = m g - N \\ N r = I \varepsilon \\ \varepsilon = a / r \end{cases}$$

$$\begin{aligned} N &= m (g - a) \\ m (g - a) r &= I a / r \quad | \cdot r \\ m g r^2 - m a r^2 &= I a \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{m g r^2}{I + m r^2} \\ a &= 2 h / t^2 \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{2 h}{t^2} = \frac{m g r^2}{I + m r^2}$$

$$t^2 = \frac{2 h (I + m r^2)}{m g r^2}$$

$$t^2 = \frac{2 h [I_0 + 2 I_w + 2 m_w (d/2)^2 + m r^2]}{m g r^2}$$

I_0 moment bezwładności przyrządu

I_w mom. bezwł. walca wzgl. osi przech. przez śr. masy

I. Badanie charakteru ruchu ciężarka.

1. Obciążyć wahadło ciężarkiem o masie m .
2. Zmierzyć trzykrotnie czas spadania ciężarka z ok. 6-ciu różnych wysokości, h .

II. Badanie zależności czasu spadania ciężarka ze stałej wysokości h od momentu bezwładności (od odległości d przeciwnych walców).

1. Zmierzyć suwmiarką średnicę szpulki wahadła, $2r$.
2. Założyć dwa identyczne walce, m_w , w równych odległościach od osi obrotu i przeprowadzić trzykrotnie pomiary czasu spadania ciężarka dla ok. 6-ciu różnych odległości d między walcami.
3. Zanotować masę walca, m_w , masę ciężarka, m , oraz wysokość, h .

Opracowanie wyników:

- I.
1. Sporządzić wykres zależności drogi h od kwadratu czasu spadania ciężarka, $h(t^2)$.
 2. Odczytać z wykresu $h=At^2$ współ. nachylenia prostej, A , lub obliczyć z regresji.
 3. Obliczyć wartość przyspieszenia, a , oraz Δa dla $h=at^2/2$.
 4. Obliczyć siłę naciągu nici N oraz niepewność ΔN .
 5. Obliczyć moment siły $M=Nr$, przyspieszenie kątowe ε , moment bezwładności I_0 oraz ich niepewności.
 6. Obliczyć moment bezwładności wahadła nieobciążonego I_0 wykorzystując współczynnik nachylenia prostej A .

$$h = \underbrace{\frac{m g r^2}{2 (I_0 + m r^2)}}_A \cdot t^2$$

- II.1. Sporządzić wykres zależności $t^2(d^2)$.

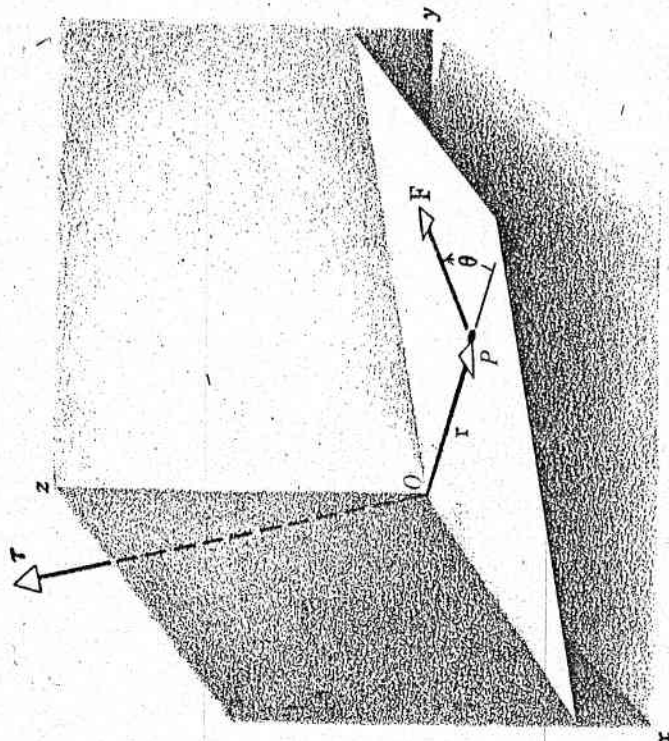
$$t^2 = \underbrace{\frac{h m_w}{m g r^2}}_A \cdot d^2 + \underbrace{\frac{2 h [I_0 + 2 I_w + m r^2]}{m g r^2}}_B$$

2. Odczytać z wykresu współczynnik nachylenia prostej A oraz wyraz wolny (rzędna), B , wyrażone w odpowiednich jednostkach.
3. Obliczyć ze współczynnika A , masę walca $m_w(\text{obl})$ i porównać z $m_w(\text{zważ})$.

masy walców: 1) 94.1 g 2) 139.0 g 3) 184.3 g
masy ciężarków: 1) 9.7 g 2) 19.7 g 3) 49.1 g 4) 98.7 g

dokładność ważenia $\Delta m = 0.1 \text{ g}$

towym? Nie może to być po prostu siła... Jak naś bowiem uczy doświadczenie z ciężkimi drzwiami obrotowymi, dana siła (wektor) może powodować różne katowe przyspieszenia drzwi, zależnie od tego, gdzie siła ta jest przyłożona i w jakim kierunku. Siła przyłożona wzdłuż zawiasy nie może wytworzyć żadnego przyspieszenia katowego, podczas gdy siła o tej samej wartości liczbowej, przyłożona pod kątem prostym do drzwi na jej zewnętrznej krawędzi, nadaje im maksymalne przyspieszenie.



Rys. 12-1. Siła F przyłożona jest w punkcie P , którego położenie względem początku układu określa wektor r . Siła ta tworzy kąt θ z wektorem r . τ jest momentem siły względem punktu O , jego kierunek jest prostopadły do płaszczyzny utworzonej przez r i F , zgodnie z regułą prawej ręki

Dla ruchu obrotowego wielkość, która jest odpowiednikiem siły w ruchu postępowym, będziemy nazywali *momentem siły* lub *momentem obrotowym*. Zdefiniujemy teraz moment siły dla szczególnego przypadku pojedynczego punktu materialnego, obserwowanego w inercjalnym układzie odniesienia. Później rozszerzymy pojęcie momentu siły dla układów punktów materialnych (włączając w to ciała sztywne) i pokażemy, że moment siły jest istotnie związany z przyspieszeniem katowym.

Jeżeli siła F działa na pojedynczy punkt materialny znajdujący się w punkcie P , którego położenie względem początku O inercjalnego układu odniesienia reprezentuje wektor r (rys. 12-1), to *moment siły τ względem początku układu O* definiujemy następująco:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}. \quad (12-1)$$

Moment siły jest wielkością wektorową. Jego wartość bezwzględna wynosi

$$\tau = rF \sin \theta, \quad (12-2a)$$

gdzie θ jest kątem pomiędzy r i F ; kierunek wektora momentu siły jest prostopadły do płaszczyzny wyznaczonej przez r i F , a zwrot związany z regułą prawej ręki dla iloczynu wektorowego dwóch wektorów. Jeżeli zagięte palce prawej ręki przesuwają wektor r w kierunku wektora F poprzez mniejszy kąt, to duży palec wskazuje zwrot wektora τ .

Wymiarem momentu siły jest iloczyn siły przez długość. Używając podstawowych wymiarów M, L, T (masa, długość, czas), wymiar momentu siły wyrażamy jako ML^2T^{-2} . Jest to taki sam wymiar jak wymiar pracy, jednakże moment siły i praca są całkowicie różnymi wielkościami fizycznymi, np. moment siły jest wektorem, a praca skalarem. Jednostką momentu siły jest $N \cdot m$ oraz pochodne tej jednostki.

Zwracamy uwagę [równanie (12-1)], że moment siły zależy nie tylko od wartości siły i jej kierunku, lecz także od punktu przyłożenia tej siły względem początku układu, to jest od wektora r . W szczególności, kiedy punkt materialny P znajduje się w początku układu, tak że linia działania siły F przechodzi przez początek układu, r jest równe zeru i moment siły τ jest również równy zeru.

Wartość bezwzględną momentu siły τ [równanie (12-2a)] możemy napisać albo jako

$$\tau = (r \sin \theta) F = Fr_{\perp}, \quad (12-2b)$$

albo jako

$$\tau = r(F \sin \theta) = rF_{\perp}; \quad (12-2c)$$

w wyrażeniach tych, jak widać na rys. 12-2a, $r_{\perp} (= r \sin \theta)$ jest składową r prostopadłą do linii działania siły F , a $F_{\perp} (= F \sin \theta)$ jest składową F prostopadłą do wektora r . Wielkość $r_{\perp}$ w równaniu (12-2b) nazywana jest *ramieniem siły*. Z równania (12-2c) wynika, że tylko składowa F prostopadła do r wpływa na wartość momentu siły. W szczególności kiedy $\theta = 0$ albo 180° , składowa prostopadła siły ($F_{\perp} = F \sin \theta = 0$) znika, linia działania siły przechodzi przez początek układu i ramię siły $r_{\perp}$ jest również równe zeru. W tym przypadku