Ćwiczenie 64

Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego ciał na równi pochyłej

64.1. Zasada ćwiczenia

Badany jest stan równowagi sił działających na klocek umieszczony na równi, na który działa dodatkowa siła skierowana w górę równi. Ustalany jest moment, w którym klocek rozpoczyna ruch po równi w górę lub w dół. Na tej podstawie wyznacza się współczynnik tarcia między klockiem a równią.

64.2. Wiadomości teoretyczne

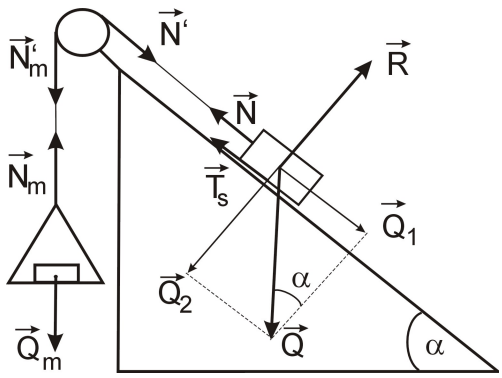
Siłę, z jaką oddziaływują na siebie dwa stykające się ciała i która przeciwstawia się ich względnemu ruchowi, nazywamy siłą tarcia. Siła tarcia ma kierunek styczny do powierzchni zetknięcia, działa na każde z ciał i ma zwrot przeciwny do zwrotu jego prędkości względem drugiego ciała. Źródłem siły tarcia są oddziaływania między atomami lub cząsteczkami ciał stykających się. Jeżeli ciała nie przesuwają się względem siebie, to występującą siłę tarcia nazywamy siłą tarcia statycznego. Jej wartość maksymalna równa jest najmniejszej wartości siły zewnętrznej, która po przyłożeniu do ciała spowoduje jego ruszenie. Jeżeli ciała poruszają się względem siebie, to między ich powierzchniami działają siły tarcia kinetycznego.

W tym ćwiczeniu badamy tarcie statyczne. Siła tarcia statycznego nie zależy od wielkości powierzchni styku i jest proporcjonalna do siły reakcji normalnej (która jest równa sile nacisku). Stosunek maksymalnej siły tarcia statycznego T_{smax} i siły reakcji R nazywamy współczynnikiem tarcia statycznego:

$$\mu_s = \frac{T_{smax}}{R}. \tag{64.1}$$

Należy pamiętać, że siła tarcia i siła reakcji działają w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Wartość współczynnika tarcia zależy od rodzaju materiałów, chropowatości powierzchni, obecności zanieczyszczeń lub warstwy tlenków.

Rys. 64.1 pokazuje schemat urządzenia pomiarowego oraz układ sił, działających na klocek, bloczek i szalkę. W ćwiczeniu wyznaczany jest współczynnik tarcia statycznego dla powierzchni styku klocek-równia. Rozpatrywany jest stan równowagi, w którym klocek nie porusza się. Niewielkie zmniejszenie masy odważników lub zwiększenie kąta nachylenia równi powoduje rozpoczęcie ruchu klocka w dół równi. W tym



Rysunek 64.1. Klocek na równi w chwili rozpoczęcia ruchu w dół oraz układ sił działających na ciała

momencie siła tarcia T_s przyjmuje wartość maksymalną T_{smax}. Poza siłą $\vec{T}_s$, na klocek działa siła ciężkości $\vec{Q}$, którą rozkładamy na składową równoległą do równi $\vec{Q}_1$ i składową prostopadłą do równi $\vec{Q}_2$, siła reakcji równi $\vec{R}$ i siła nici $\vec{N}$. Rysunek 64.1 pokazuje również siły działające na bloczek $\vec{N}'$ i $\vec{N}'_m$ oraz siły działające na szalkę z odważnikami: siłę ciężkości $\vec{Q}_m$ i siłę naciągu nici $\vec{N}_m$.

W stanie równowagi słuszne są równości:

$$Q_m = N_m \quad \text{oraz} \quad N'_m = N'.$$

Warunek nieważkości nici zapewnia równość wartości następujących sił:

$$N_m = N'_m \quad \text{oraz} \quad N' = N.$$

Możemy zatem napisać:

$$N = Q_m = mg, \tag{64.2}$$

gdzie m — masa szalki z odważnikami. Stosując pierwszą zasadę dynamiki Newtona do klocka, otrzymujemy następujące równania:

$$Q_1 - T_s - N = 0 \tag{64.3}$$

$$R - Q_2 = 0, \tag{64.4}$$

w których

$$Q_1 = Q \sin\alpha,$$
$$Q_2 = Q \cos\alpha,$$
$$Q = Mg. \tag{64.5}$$

Ostatecznie, przyjmując że $T_s = T_{smax}$, powyższe równania pozwalają wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego:

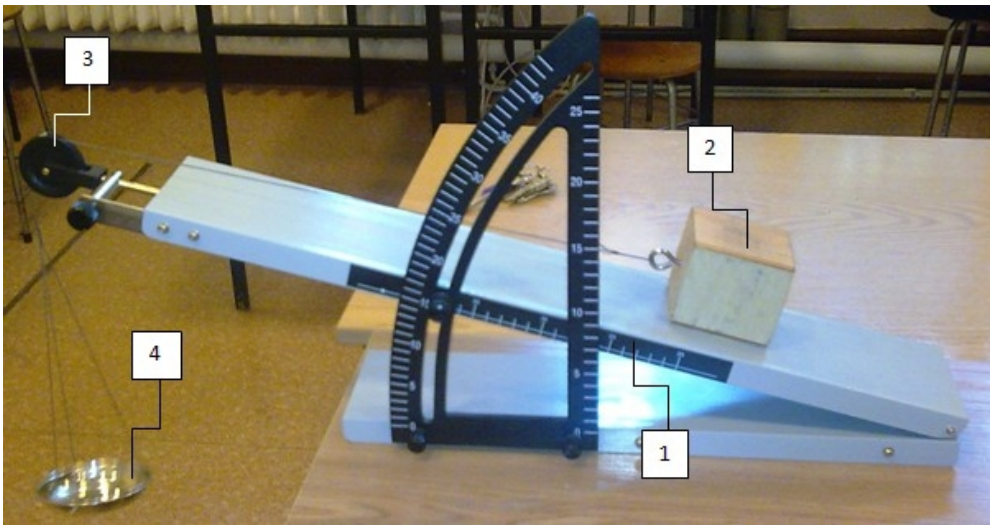
$$\mu_s = \operatorname{tg}\alpha - \frac{m}{M\cos\alpha}. \tag{64.6}$$

Jeżeli klocek rozpoczyna ruch w górę równi, to siła tarcia skierowana jest w dół równi i współczynnik tarcia statycznego obliczamy ze wzoru:

$$\mu_s = \frac{m}{M\cos\alpha} - \operatorname{tg}\alpha. \tag{64.7}$$

Oczywiście równości (64.6) i (64.7) spełnione są dla różnych wartości masy m lub kąta nachylenia α.

64.3. Aparatura pomiarowa



Rysunek 64.2. Zestaw pomiarowy do badania współczynnika tarcia statycznego

Stosowany zestaw pomiarowy pokazany jest na rysunku 64.2. W jego skład wchodzi: 1. równia o regulowanym nachyleniu, 2. klocek, 3. bloczek, 4. szalka i odważniki. Klocek umieszczony na równi połączony jest nicią przerzuconą przez bloczek z szalką, na której umieszczać można odważniki. Masa klocka wynosi $M = (202 \pm 2)$ g, a masa pustej szalki $m_s = (31 \pm 1)$ g. W ćwiczeniu zakłada się, że nić jest nieważka i nierozciągliwa.

64.4. Zadania

Określić współczynnik tarcia statycznego stosując dwie metody:

1. Przy stałym kącie α wyznaczyć masę m, dla której klocek rozpoczyna ruch w dół lub w górę równi.
2. Dla stałej masy m wyznaczyć kąt α, dla którego klocek rozpoczyna ruch w dół lub w górę równi.

64.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

Wymienione w poprzednim podrozdziale pomiary powtarzać 5-8 krotnie. Pomiary wykonać dla kilku powierzchni bocznych klocka. W trakcie pomiarów zachować należy szczególną ostrożność przy zmianach kąta nachylenia równi i wymianie odważników. Nawet małe, niepożądane drgania wywierają znaczący wpływ na wyznaczane wartości m i α. Obliczyć współczynnik tarcia statycznego stosując wzór (64.6) lub (64.7). Obliczyć niepewność maksymalną współczynnika tarcia statycznego stosując wzór:

$$\Delta\mu_s = \frac{m}{M\cos\alpha}\left(\frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m}\right) + \frac{M + m\sin\alpha}{M\cos^2\alpha}\Delta\alpha, \tag{64.8}$$

gdzie Δm — niepewność maksymalna masy m, $\Delta\alpha$ — niepewność maksymalna kąta α ($\Delta\alpha$ wyrazić w radianach).

64.6. Wymagane wiadomości

1. Zjawisko tarcia.
2. Zasady dynamiki Newtona.
3. Ciało na równi pochyłej — rozkład sił działających na ciało.
4. Wyprowadzenie wzorów (64.7) i (64.8).

64.7. Literatura

[1] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker — Podstawy fizyki, t. 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
[2] B. Jaworski, A. Dietłaf, L. Miłkowska, G. Siergiejew — Kurs fizyki, t. 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
[3] A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, — Wstęp do fizyki, t. 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976.