XVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1966/1967). Stopień wstępny, zad. doświadczalne – D.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Tadeusz Pniewski: Olimpiady Fizyczne XV i XVI. PZWS, Warszawa 1969.

Nazwa zadania: Wyznaczanie współczynnika tarcia monety względem papieru.

Działy: Dynamika

Słowa kluczowe: równia pochyła, siła tarcia, współczynnik tarcia, praca, energia potencjalna, kinetyczna.

Zadanie doświadczalne – D, zawody stopnia wstępnego, XVI OF.

Sporządź taśmę papierową długości około 2 m. Deskę długości około 1 m ustaw na stole pod kątem. Ułóż taśmę wzdłuż deski i stołu. Ustaw na papierze deski monetę i dobierz taki kąt nachylenia deski, aby moneta przesuwała się po desce i po stole. Wyznacz współczynnik tarcia monety względem papieru.

Rozwiązanie

Wykonując doświadczenie opisane w zadaniu stwierdzamy, że przy odpowiednim doborze kąta nachylenia równi, moneta zawsze zsuwa się po desce, następnie przebywa jeszcze pewną drogę po powierzchni stołu i wreszcie zatrzymuje się.

Zbadajmy przemiany energii zachodzące podczas ruchu monety. W chwili początkowej moneta znajduje się w spoczynku na wysokości h (mierząc od podstawy równi). Całkowita energia monety równa jest wtedy jej energii potencjalnej i wynosi:

$$E_{\mathrm{p}} = mgh, \tag{1}$$

gdzie m jest masą monety.

Podczas ruchu monety zachodzi przemiana jej energii potencjalnej w energię kinetyczną. Jednak nie cała energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną. Suma energii kinetycznej i potencjalnej maleje podczas trwania ruchu i osiąga zero w momencie, gdy moneta zatrzymuje się. Dzieje się tak dlatego, że moneta wykonuje pracę przeciwko sile tarcia. Na tę pracę zużywa się cała energia mechaniczna monety.

Siła tarcia skierowana jest zawsze przeciwnie do kierunku ruchu ciała i jest proporcjonalna do nacisku, jaki to ciało wywiera na podłoże.

Możemy to zapisać w postaci:

$$T = fN,$$

gdzie T jest siłą tarcia, N – naciskiem na podłoże, a f – współczynnikiem tarcia.

Współczynnik tarcia jest, jak wiadomo, zależny od rodzaju powierzchni trących się, zależy także od prędkości, z jaką te powierzchnie przesuwają się względem siebie. Zależność od prędkości jest tak słaba, że nie będziemy jej uwzględniać.

Moneta zsuwając się po równi pochyłej przebywa drogę l (rys. 1).

W tej fazie ruchu nacisk monety na podłoże równy jest składowej jej ciężaru prostopadłej do powierzchni równi:

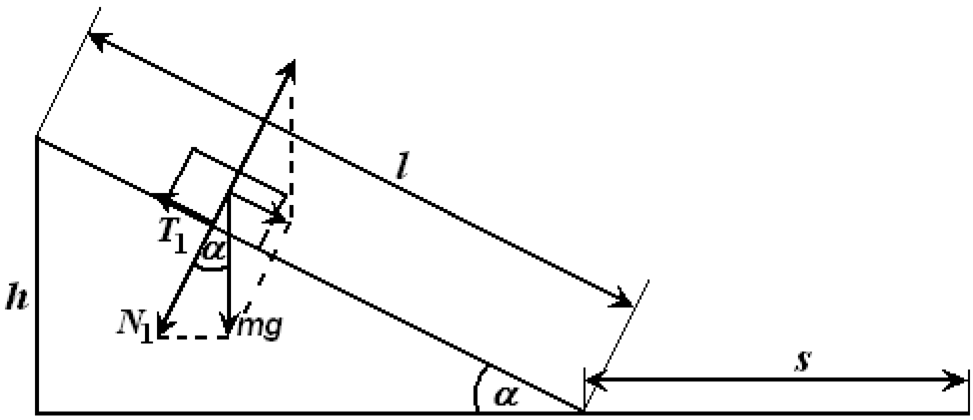
$$N_1 = mg\cos\alpha; \tag{2}$$

siła tarcia wynosi zatem:

$$T_1 = fmg\cos\alpha, \tag{3}$$

a praca wykonana przeciwko sile tarcia na drodze l równa jest:

$$W_1 = flmg\cos\alpha. \tag{4}$$



Rys. 1.

Podczas ruchu po powierzchni stołu nacisk monety równy jest jej ciężarowi, a praca wykonana na drodze s wynosi:

$$W_1 = fmgs. \tag{5}$$

Suma prac W_1 i W_2 równa jest początkowej energii potencjalnej monety:

$$E_p = W_1 + W_2.$$

wykorzystując zależności (1), (4) i (5) możemy napisać:

$$mgh = fmg(s + l\cos\alpha), \tag{6}$$

a stąd

$$f = \frac{h}{s + l\cos\alpha}. \tag{7}$$

Ponieważ $\sin\alpha = h/l$, zatem

$$\cos\alpha = \sqrt{1 - \frac{h^2}{l^2}}.$$

Stąd ostatecznie mamy:

$$f = \frac{h}{s + \sqrt{l^2 - h^2}}. \tag{8}$$

Pomiar współczynnika tarcia sprowadza się więc do pomiaru wysokości, na której znajduje się moneta w chwili początkowej, drogi przebytej przez monetę wzdłuż równi pochyłej oraz drogi przebytej przez nią po powierzchni stołu.

Wykonujemy serię pomiarów, przy ustalonym kącie nachylenia równi i ustalonej wysokości h. Stwierdzamy, że za każdym razem moneta zatrzymuje się w nieco innym miejscu.

Odchylenie otrzymanych wartości s znacznie przekracza wartość błędu systematycznego. Odchylenie to jest rzędu centymetrów, podczas gdy błąd systematyczny związany z dokładnością wykonania linijki wynosi około 1 mm.

Jeżeli pominiemy błędy systematyczne, to średnia wartość $\bar{s}$ obarczona jest jedynie błędem losowym Δs, który maleje wraz ze wzrostem liczby n wykonanych pomiarów zgodnie z następującą zależnością:

$$\Delta s \sim \frac{1}{\sqrt{n}}.$$