

## XXIV OLIMPIADA FIZYCZNA (1974/1975). Stopień II, zadanie doświadczalne – D2

<b>Źródło:</b>	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej, Waldemar Gorzkowski: Olimpiady Fizyczne XXIII i XXIV. WSiP, Warszawa 1977
<b>Nazwa zadania:</b>	Wyznaczanie współczynnika tarcia posuwistego rurki o równię
<b>Działy:</b>	Mechanika
<b>Słowa kluczowe:</b>	równia pochyła, tarcie, potoczyste, poślizgowe, ruch postępowy, ruch obrotowy, ekierka

### Zadanie doświadczalne – D2, zawody II stopnia (dodatkowe dla części dośw.), XXIV OF.

Mając do dyspozycji równię pochyłą o ustalonym kącie nachylenia, jednorodną, cienkościenną rurkę oraz linijkę i ekierkę opracuj metodę pomiaru współczynnika tarcia posuwistego rurki o równię. Zastosuj tę metodę w praktyce. Oszacuj niepewność pomiarową wyniku.

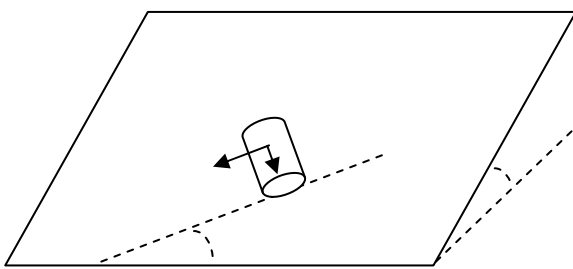
*Uwaga* : Kąt nachylenia równi jest w każdym zestawie ustalony i nie należy do zmieniać.

### Rozwiązanie

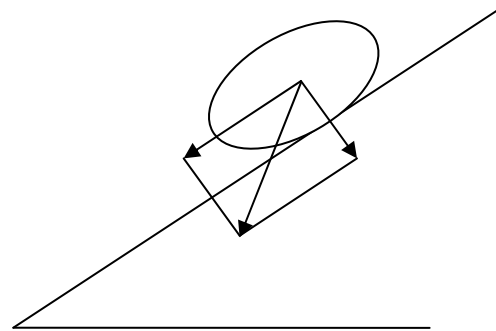
#### Część teoretyczna

Weźmy pod uwagę rurkę na równi w położeniu pokazanym na rysunku 1. Zbadajmy, jakie warunki muszą być spełnione, aby rurka staczała się z równi bez poślizgu.

Na rysunku 2 pokazano rozkład sił w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez środek ciężkości rurki. Rurka ma tu kształt elipsy ze względu na ukośne położenie równi (w stosunku do podstawy). Na podstawie rysunków 1 i 2 bez trudu wyznaczamy składowe siły ciężkości, styczne do równi w kierunku prostopadłym i równoległym do osi rurki oraz składową prostopadłą do równi. Otrzymujemy :



Rys. 1



Rys. 2

$$F_{\perp} = mg \sin \alpha \sin \varphi ,$$

$$F_{\parallel} = mg \sin \alpha \cos \varphi ,$$

$$N = mg \cos \alpha .$$

Jeżeli ruch odbywa się bez poślizgu. To siła  $F_{\parallel}$  jest całkowicie równoważna przez składową  $T_{\parallel}$  siły tarcia, równoległą do osi rurki.

$$T_{\parallel} = F_{\parallel} = mg \sin \alpha \cos \varphi .$$

Siła  $F_{\perp}$  powoduje ruch postępowy i obrotowy. Równia tego ruchu są następujące

$$F_{\perp} - T_{\perp} = ma ,$$

$$T_{\perp} r = I \varepsilon , \quad (I = mr^2) .$$

$r$  – oznacza tu promień rurki,  $a$  – przyspieszenie liniowe środka rurki,  $\varepsilon$  – przyspieszenie kątowe rurki, a  $I$  – jej moment bezwładności. Do równań tych należy dołączyć warunek braku poślizgu

$$a = \varepsilon r .$$

Z otrzymanych trzech równań wyznaczamy  $T_{\perp}$  czyli składową siły tarcia działającą prostopadle do osi rurki. Otrzymujemy

$$T_{\perp} = \frac{1}{2} F_{\parallel} = \frac{1}{2} mg \sin \alpha \cos \varphi .$$

Wartość siły tarcia jest więc równa

$$T = \sqrt{T_{\parallel}^2 + T_{\perp}^2} = mg \sin \alpha \sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{1}{4} \sin^2 \varphi} .$$

Wielkość ta nie może przekraczać maksymalnej wartości siły tarcia równej  $fN$ , gdzie  $f$  oznacza współczynnik tarcia posuwistego rurki o równię (tarcie potoczyste zostało zaniedbane):

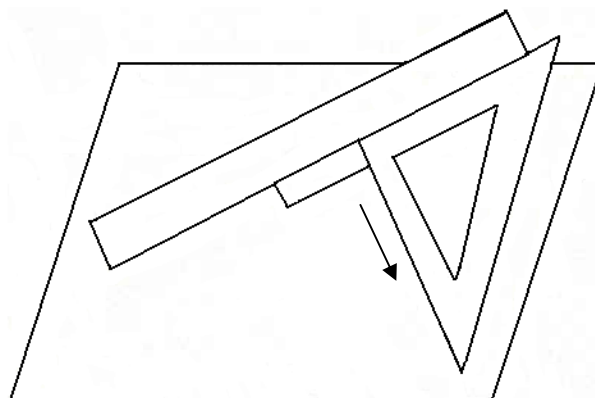
Stąd

$$mg \sin \alpha \sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{1}{4} \sin^2 \varphi} \leq fmg \cos \varphi ,$$

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha \sqrt{1 - \frac{3}{4} \sin^2 \varphi} .$$

### Część doświadczalna

Równia, która dysponowali zawodnicy, była ustawiona pod takim ustalonym kątem  $\alpha$  (znanym), że ruch rurki dla pewnych kątów  $\varphi$  był ruchem bez poślizgu, a dla pewnych z poślizgiem.



Rys. 3

Zadaniem zawodników było znaleźć taką wartość  $\varphi_0$  kąta  $\varphi$ , przy której ruch z poślizgiem przechodzi w ruch bez poślizgu. Znając  $\alpha$  i  $\varphi_0$  współczynnik tarcia wyznacza się ze wzoru:

$$f = \operatorname{tg} \alpha \sqrt{1 - \frac{3}{4} \sin^2 \varphi_0} .$$

Praktycznie pomiar kąta  $\varphi_0$  można wykonać ustawiając przyrządy tak, jak na rys. 3. Jeżeli nie ma poślizgu, to rurka porusza się ruchem prostoliniowym w kierunku zaznaczonym strzałką, równoległe do ekierki. Natomiast przy poślizgu rurka obracając się jednocześnie zsuwa się w kierunku równoległym do swej osi odbiegając od ekierki.

Podczas kontrolnego wykonywania zadania użyto rurki duralowej o średnicy 43 mm, grubości 1 mm i długości 175 mm. Jako równi użyto płytki drewnianej. Otrzymano następujące wyniki :

$\varphi$	$\alpha$	$f$
$71^\circ \pm 2^\circ$	$28^\circ \pm 1^\circ$	$0,31 \pm 0,02$
$73^\circ \pm 4^\circ$	$30^\circ \pm 1^\circ$	$0,32 \pm 0,03$
$52^\circ \pm 2^\circ$	$21,5^\circ \pm 1^\circ$	$0,29 \pm 0,02$

Współczynnik tarcia wyznaczony innymi metodami wynosił  $0,33 \pm 0,02$ . Widać, że metoda opisanego w zadaniu daje dobre wyniki.