Ćw. 2. Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego

<u>Cel ćwiczenia:</u> poznanie zjawiska tarcia, zasad dynamiki Newtona oraz doświadczalne wyznaczenie współczynników tarcia statycznego przy użyciu równi pochyłej.

Siła tarcia, którą tutaj będziemy oznaczali jako $\vec{T}$, to siła pojawiająca się na styku dwóch powierzchni. Jest to siła działająca zawsze równolegle do powierzchni styku, a jej zwrot jest przeciwny do kierunku, w którym poruszałoby się ciało, gdyby tarcia nie było. Należy zwrócić uwagę na to, że do pojawienia się siły tarcia nie jest niezbędny ruch ciała – dopóki tego ruchu nie ma, mówimy o tarciu statycznym. Jak należy to rozumieć? Otóż, gdy ciało spoczywa na przykład na poziomym podłożu i nie jest do niego przyłożona żadna siła (poza siłą ciężkości, oczywiście), to ciało to zgodnie z I zasadą dynamiki Newtona będzie pozostawało w spoczynku, a wartość siły tarcia w takim stanie będzie wynosiła T=0.

Co się jednak stanie, gdy przyłożymy do tego ciała niewielką siłę F , działającą równolegle do podłoża? Z naszego życiowego doświadczenia (każdy z nas próbował przesunąć kiedyś ciężki mebel) wiemy, że ciało to pomimo przyłożonej siły F , wciąż pozostaje w spoczynku. Jak to możliwe, skoro zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona mogłoby się wydawać, że na skutek działania siły F, ciało powinno poruszać się z przyspieszeniem? Otóż odpowiada za to właśnie siła tarcia $\vec{T}$, która przyjmuje dokładnie taką samą wartość co działająca siła F, ale z przeciwnym do niej zwrotem. Tak więc wciąż zgodnie z I zasadą dynamiki Newtona ciało pozostanie w spoczynku (Uwaga! Przypomnij sobie dokładne brzmienie I zasady dynamiki Newtona i zwróć uwagę na ten jej fragment, który odpowiada opisanej tutaj sytuacji). To uporczywe zwiększanie się wartości siły tarcia wraz ze zwiększaniem działającej siły F trwa do pewnego momentu – do chwili, gdy siła tarcia już zwiększyć się nie może (osiągnęła swoją maksymalną możliwą wartość), a siła F wciąż rośnie. Ciało zaczyna się poruszać, w całkowitej zgodzie z II zasadą dynamiki Newtona.

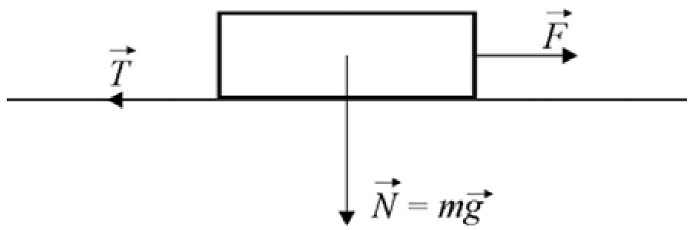
Równanie ruchu tego ciała, ma więc wtedy postać: $m \cdot \vec{a} = \vec{F} + \vec{T}$

(Uwaga! Niech nie dziwi Cię znak „+" w tym równaniu – to dodawanie wektorów, ale jak już wspomnieliśmy wcześniej, zwroty wektorów $\vec{F}$ i $\vec{T}$ są przeciwne!).

Gdy ciało już się porusza, możemy mówić o tarciu kinetycznym, ale nie jest ono przedmiotem naszego ćwiczenia. Mamy bowiem wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego, oznaczmy go jako f_s. Jak widać na Rys. 1, na ciało działa siła ciężkości, która w tym przypadku pełni rolę siły nacisku na podłoże, oznaczmy ją jako $\vec{N}$ oraz siła zewnętrzna przyłożona do ciała $\vec{F}$ i opisana wcześniej szczegółowo siła $\vec{T}$. Otóż, **maksymalna** wartość siły tarcia T, jaka może powstać zależy zarówno od wartości siły nacisku N, jak i od poszukiwanego przez nas współczynnika tarcia statycznego f_s:

$$T = f_s \cdot N \tag{1}$$

Zwróć uwagę na to, że nie pojawiły się w tym równaniu symbole wektorów. Zastanów się przez chwilę dlaczego tak jest?



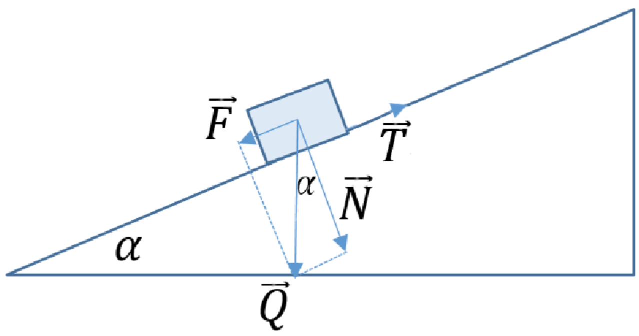
Rysunek 1. Rozkład sił występujących podczas działania siłą $\vec{F}$ na ciało spoczywające na poziomym podłożu.

Jeśli znamy <u>wartość</u> siły nacisku N oraz <u>wartość</u> minimalną siły F, która wyprowadzi ciało ze stanu spoczynku (a to oznacza, że siła tarcia $\vec{T}$ osiągnęła **maksymalną** możliwą wartość), to możemy wykorzystać równanie (1) do wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego f_s:

$$f_s = \frac{T}{N} \tag{2}$$

Czy wiesz już dlaczego nie ma symboli wektorów w równaniu (1)? Oczywiście dlatego, że wektory $\vec{T}$ i $\vec{N}$ nie leżą na jednej prostej.

Współczynnik tarcia statycznego zależy od wielu czynników, między innymi od chropowatości powierzchni. Należy jednak pamiętać o tym, że nie istnieje współczynnik tarcia statycznego dla danego materiału – proces tarcia dotyczy bowiem zawsze dwóch powierzchni. Dlatego zawsze mówimy o tarciu jednego materiału o drugi i to ten proces charakteryzowany jest przez współczynnik tarcia statycznego (np. stali o lód, metalu o drewno, ale też tych samych materiałów, np. teflon o teflon – zawsze jednak dotyczy to dwóch powierzchni, a nie jednej).



Rysunek 2. Rozkład sił występujących podczas działania siłą $\vec{F}$ na ciało spoczywające na równi pochyłej.

Wykonując to ćwiczenie posłużymy się najprostszą metodą wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego - umieścimy ciało na równi pochyłej i będziemy zwiększali jej kąt nachylenia α. Wówczas siła nacisku na równię $\vec{N}$ nie będzie już bezpośrednio i stale równa ciężarowi ciała $\vec{Q}$, gdyż będzie zależała od kąta nachylenia równi α. Jak widać na Rys. 2, siłę ciężkości $\vec{Q}$ możemy rozłożyć na dwie składowe: siłę $\vec{F}$, działającą równolegle do równi oraz siłę $\vec{N}$, czyli siłę nacisku ciała na równię. Pamiętając, że wartość siły ciężkości $Q = m \cdot g$, można łatwo powiązać wartości tych sił z kątem nachylenia równi:

$$F = T = m \cdot g \cdot sin\alpha \tag{3}$$

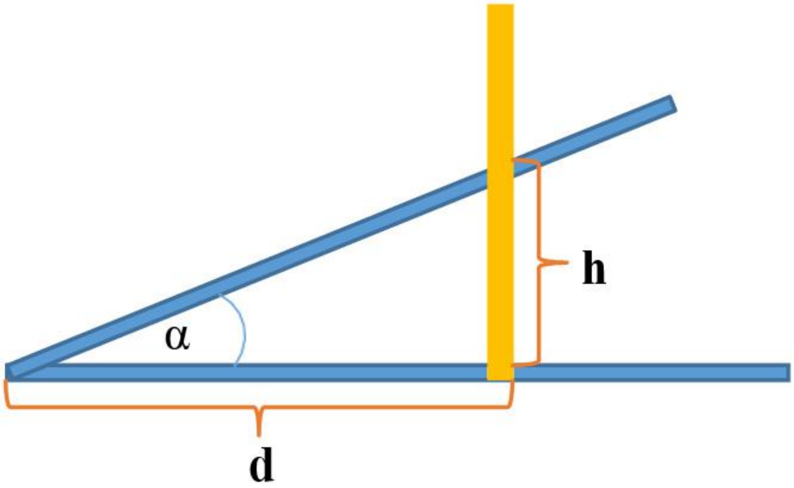
$$N = m \cdot g \cdot cos\alpha \tag{4}$$

Gdy kąt nachylenia α rośnie, to rośnie również siła $\vec{F}$. Szukamy więc takiego kąta α, przy którym ciało przestanie pozostawać w spoczynku, czyli po prostu poruszy się i zacznie zsuwać po równi. Ta **minimalna** wartość kąta α będzie wyznaczała moment, w którym siła tarcia $\vec{T}$ nie będzie już mogła rosnąć, a więc będziemy mieli prawo skorzystać z równania (2) do wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego f_s:

$$f_s = \frac{T}{N} = \frac{m \cdot g \cdot sin\alpha}{m \cdot g \cdot cos\alpha} = \frac{sin\alpha}{cos\alpha} = tg\alpha \tag{5}$$

Znając kąt nachylenia α, przy którym ciało **zaczyna** się zsuwać z równi, możemy łatwo obliczyć współczynnik tarcia statycznego f_s. Aby wyznaczyć tangens kąta nachylenia równi (która tworzy przecież trójkąt prostokątny) wystarczy zmierzyć długość przyprostokątnej **h** leżącej naprzeciw kąta α i długość przyprostokątnej **d** przyległej do kąta α (patrz Rys. 3).

Metodę tę zastosujemy w bieżącym ćwiczeniu do wyznaczenia współczynników tarcia statycznego dla kilku różnych powierzchni trących.



Rysunek 3. Schemat wykorzystywanej w ćwiczeniu równi pochyłej.

Zwróć uwagę na to, że aby wyznaczyć tangens kąta α, pomiar długości przyprostokątnych można dokonać w różny sposób. Zadbaj więc o to, by mierzone długości rzeczywiście odpowiadały właściwym przyprostokątnym.

Wykonanie ćwiczenia

1. Pozostawiając równię w położeniu poziomym, mierzymy długość podstawy równi **d** (patrz Rys. 2).
2. Umieszczamy jeden z klocków na równi, płaszczyzną trącą do powierzchni równi.
3. Płynnie i bardzo powoli zwiększamy kąt nachylenia równi, aż do momentu, w którym klocek zacznie się zsuwać (poruszy się). Zatrzymujemy podnoszenie równi w tym momencie i odczytujemy wysokość **h** (pamiętaj, że mierzone długości muszą rzeczywiście odpowiadać właściwym przyprostokątnym).
4. Pomiar dla każdego zestawu powierzchni trących powtarzamy co najmniej dwudziestokrotnie. Wyniki zapisujemy w tabeli i obliczamy współczynnik tarcia.
5. Powtarzamy procedurę dla pozostałych klocków o różnych powierzchniach trących (ich liczbę określa prowadzący zajęcia).
6. Analizę uzyskanych rezultatów przeprowadzamy metodą Gaussa (arkusz Excel ułatwiający tę analizę jest dostępny do pobrania na stronie https://kfs.pollub.pl/pracowniakfs/kfs2012.htm).

Wzór przykładowej tabeli wyników pomiarów. Możesz opracować własną tabelę, do czego Cię zachęcamy.

Pomiar	**klocek**	**d [mm]**	**h [mm]**	f_s	f_s **średnie**
1					
2					
…					

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zasady dynamiki Newtona.
2. Siła tarcia, współczynnik tarcia statycznego i kinetycznego.
3. Sposoby zmniejszania i zwiększania tarcia.

Bibliografia

1. Z. Engel, J. Giergiel Mechanika ogólna, tom I.
2. J. Misiak, Mechanika ogólna, tom I.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003. Tom 2.
4. C. Kittel, W.D. Knight, M.A. Ruderman, *Mechanika*, PWN, Warszawa 1975.

Opiekun merytoryczny ćwiczenia: Grzegorz Gładyszewski