



Demonstracja różnicy pomiędzy siłą tarcia statycznego i kinetycznego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium WL-I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Demonstracja różnicy pomiędzy siłą tarcia statycznego i kinetycznego

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjęcie/iskry-latają-podczas-siatki-maszyn-i-wykażania-metalu-gm914855976-251789759> [dostęp 22.08.2019], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Dla kierowców mała siła tarcia na oblodzonej drodze jest sporym problemem (Fot. a.), podczas gdy narciarze celowo smarują swoje narty specjalnym smarem, aby zmniejszyć tarcie między nartami i śniegiem (Fot. b.). Te dwie sytuacje doskonale ilustrują sens porzekadła: *Punkt widzenia zależy od punktu siedzenia*.



Fot. a. Śliska droga, większe ryzyko stłuczki.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/droga-ulica-opady-%c5%9bniegu-%c5%9bnieg-5949640/> [dostęp 16.04.2023], domena publiczna.



Fot. b. Mniejsze tarcie - więcej frajdy!

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/%c5%9bnieg-zima-bia%c5%82y-przezi%c4%99bienie-2591491/> [dostęp 16.04.2023], domena publiczna.

Siła tarcia towarzyszy nam w każdej niemal czynności. Bez niej niemożliwe byłoby choćby chodzenie i wie o tym każdy, kto próbował chodzić po śliskim lodzie. Bez względu na to, czy duża siła tarcia w danej sytuacji jest dla nas korzystna, czy wręcz przeciwnie, warto wiedzieć, od czego zależy jej wartość. W tym e-materiale zajmiemy się sposobami wyznaczania współczynnika tarcia - wielkości charakteryzującej przesuwające się po sobie powierzchnie.

Twoje cele

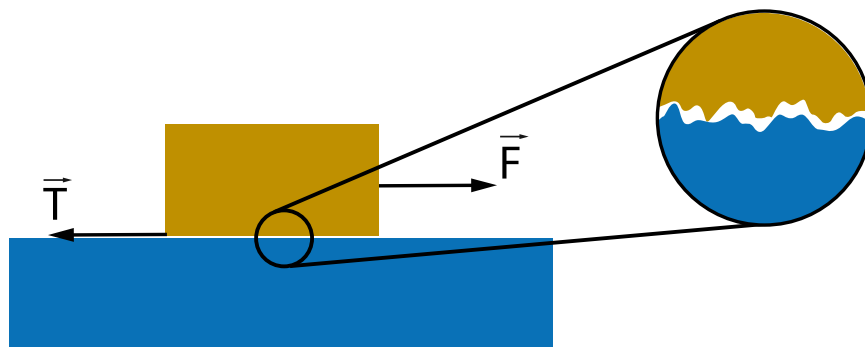
- dowiesz się, czym jest tarcie i jaka jest jego przyczyna,
- wyjaśnisz różnicę między dwoma rodzajami tarcia: statycznym i kinetycznym,
- ocenisz, od czego zależy wartość siły tarcia,
- przeanalizujesz siły działające na ciało na równi pochyłej,
- zaplanujesz sposób wyznaczania współczynnika tarcia statycznego i kinetycznego za pomocą równi pochyłej.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Czym jest i jak powstaje tarcie?

Tarcie to siła pojawiająca się, gdy przesuwają się względem siebie dwie stykające się powierzchnie. Siła ta działa zawsze w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu, hamując poruszające się ciało. Przyczyną powstawania tarcia jest to, że powierzchnie ciał, nawet jeśli wydają się być gładkie, w rzeczywistości są chropowate. Pod mikroskopem widać nierówności powierzchni – niewielkie góry i dołki (Rys. 1). Podczas przesuwania jednego ciała po powierzchni drugiego nierówności wywołują drgania, występy ulegają zniszczeniu, a procesy te powodują rozpraszanie energii i zmniejszanie względnej prędkości obydwu ciał. Innym mechanizmem powodującym tarcie jest oddziaływanie między cząsteczkami obu powierzchni, które występuje również wtedy, gdy powierzchnie są bardzo gładkie.



Rys. 1. Tarcie spowodowane jest, między innymi, widocznymi pod mikroskopem nierównościami powierzchni.
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jak wiemy z codziennego doświadczenia, tarcie zależy od rodzaju materiałów, z jakich wykonane są obiekty. Na lodzie łyżwy ślizgają się łatwiej niż buty mające gumową podeszwę.

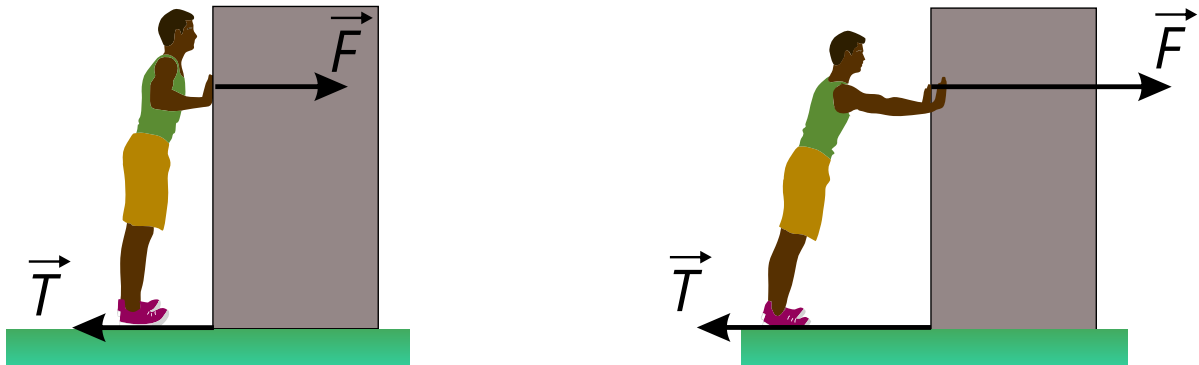
Rozróżniamy tarcie statyczne i tarcie kinetyczne (zob. e-materiały: *Co to jest tarcie statyczne?*, *Co to jest tarcie kinetyczne?* oraz *Klasyfikujemy opory ruchu*).

Tarcie statyczne

Wyobraźmy sobie, że chcemy przesunąć ciężką szafę (Rys. 2.).

$$\vec{T} = -\vec{F}$$

$$v = 0, \text{ bo } T < T_{\max}$$



Rys. 2. Z tarcie statycznym mamy do czynienia wtedy, gdy ciało spoczywa. Ciało pozostaje w bezruchu dopóty, dopóki wartość przyłożonej siły F jest mniejsza od pewnej maksymalnej wartości $T_{\max}$.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Gdy działamy za małą siłą $\vec{F}$, szafa ani drgnie! Dzieje się tak, ponieważ przyłożona siła jest równoważona przez siłę tzw. **tarcia statycznego** $\vec{T}$, która co do wartości jest równa sile przyłożonej, tj. $T = F$, ale jest przeciwnie do niej skierowana, czyli $\vec{T} = -\vec{F}$. Gdy będziemy zwiększać wartość siły przyłożonej, wartość siły tarcia również będzie się zwiększała – do momentu, aż osiągnie pewną wartość maksymalną $T_{\max}$. W tej chwili szafa zacznie się poruszać. Mówimy, że nastąpiło **zerwanie tarcia statycznego**. Ta maksymalna siła, przy której ciało jest jeszcze w spoczynku, jest podstawą wyznaczenia tzw. **statycznego współczynnika tarcia** f_s , który jest zdefiniowany jako współczynnik proporcjonalności między maksymalną wartością siły tarcia statycznego $T_{\max}$ i wartością siły nacisku N , z jaką ciało działa na podłoże:

$$T_{\max} = f_s \cdot N.$$

Ważne!

Podsumujmy: tarcie statyczne jest siłą powstającą „w odpowiedzi” na siłę przyłożoną z zewnątrz. Jej wartość jest równa wartości przyłożonej siły, a jej zwrot jest zawsze przeciwny do tej zwrotu siły. Z tarcie statycznym mamy do czynienia wtedy, gdy ciało spoczywa.

Tarcie kinetyczne

Po rozpoczęciu ruchu siła tarcia zmniejsza się. Szafę trudniej poruszyć niż utrzymać jej ruch jednostajny. Tarcie występujące podczas ruchu nazywamy **tarcie kinetycznym**.

Wartość siły tarcia kinetycznego $\vec{T}$ jest wprost proporcjonalna do wartości siły nacisku $\vec{N}$ ciała na podłoże:

$$T = f_k \cdot N.$$

W powyższym wzorze współczynnik proporcjonalności f_k nosi nazwę **kinetycznego współczynnika tarcia**.

Ciekawostka

Na przykład gdy szlifujemy deskę papierem ściernym, osiągamy szybsze rezultaty, mocniej naciskając papier i zwiększając w ten sposób siłę tarcia.

Współczynnik tarcia statycznego f_s jest większy od współczynnika tarcia kinetycznego f_k , tzn.

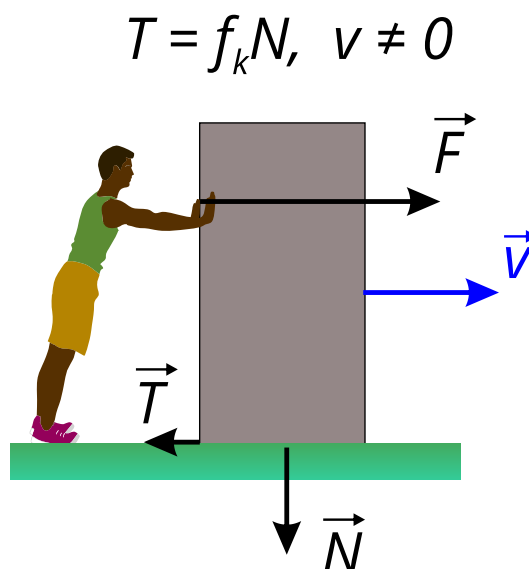
$$f_s > f_k,$$

a obydwie wielkości są oczywiście **bezwymiarowe**.

Ważne!

Podsumowując: tarcie kinetyczne występuje podczas ruchu ciała. Kierunek siły tarcia kinetycznego jest przeciwny do kierunku ruchu ciała, a wartość tej siły jest proporcjonalna do wartości siły nacisku ciała na podłoże i zależy od rodzaju ciała i od rodzaju podłoża. Zależność ta jest w sposób ilościowy wyrażona przez współczynnik tarcia kinetycznego.

Wróćmy do przykładu z szafą (Rys. 3.).



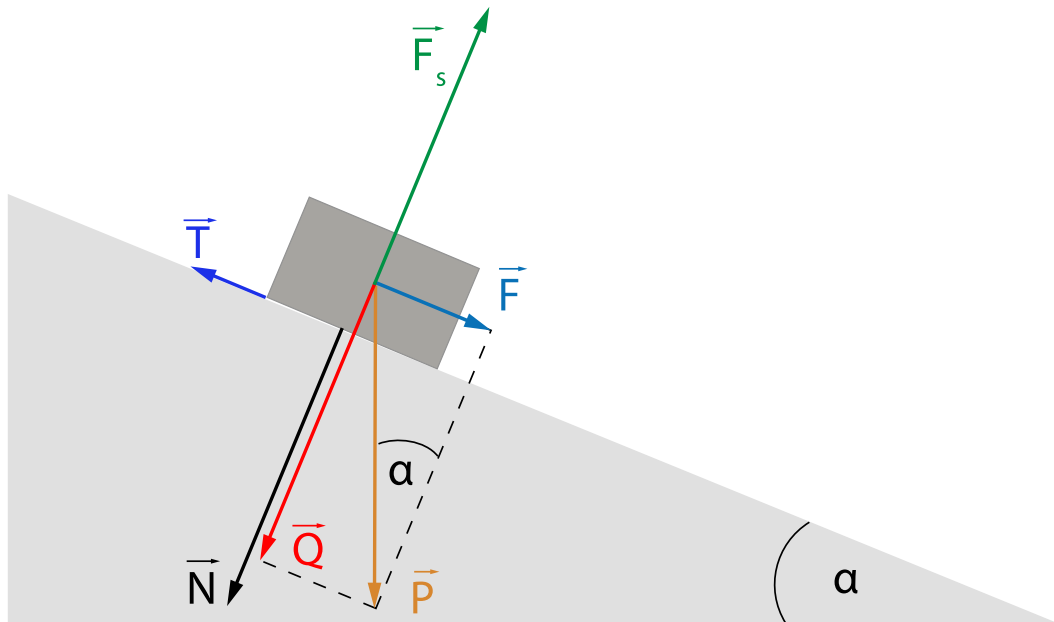
Rys. 3. Z tarcie kinetycznym mamy do czynienia wtedy, gdy ciało się porusza, tzn. gdy wartość jego prędkości jest różna od zera $v \neq 0$. Wartość tej siły jest wprost proporcjonalna do nacisku ciała na podłoże: $T \propto N$, a współczynnik proporcjonalności f_k nosi nazwę współczynnika tarcia.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ponieważ szafa porusza się na poziomym podłożu, wartość siły nacisku jest co do wartości równa jej ciężarowi: $N = Q = mg$ (pamiętaj jednak, w ogólności N nie musi być równe $Q = mg$, zob. zamieszczony poniżej przykład z równią pochyłą). Gdy nastąpi zerwanie tarcia statycznego (Rys. 3.) i szafa zacznie się przesuwać, pojawi się siła tarcia kinetycznego, równa co do wartości $T = f_k N$. Nie jest tu istotne, czy prędkość względna obu przedmiotów (tu: szafy względem podłogi) będzie zmienna w czasie, czy stała.

Przykład: Ciało na równi pochyłej

Rozważmy siły, które działają na ciało znajdujące się na równi pochyłej (Rys. 4.). Siłę ciężkości $\vec{P}$ rozkładamy na dwie składowe, które powodują różne skutki: składową równoległą do równi $\vec{F}$, która powoduje zsuwanie się ciała z równi, oraz składową prostopadłą $\vec{Q}$, której wartość jest równa wartości siły nacisku $\vec{N}$ ciała na równię. W reakcji na siłę nacisku równia działa na ciało siłą sprężystości $\vec{F}_s$, która jest równa co do wartości sile $\vec{N}$, ale przeciwnie do niej skierowana.



Rys. 4. Siły działające na ciało znajdujące się na równi pochyłej (opis oznaczeń użytych na rysunku umieszczono w tekście).

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Wartość siły nacisku wynosi

$$N = Q = P \cos \alpha$$

i jest mniejsza od ciężaru ciała. Jeśli ciało pozostaje w spoczynku, działająca na nie siła tarcia statycznego ma wartość

$$T = f_s F = f_s P \sin \alpha .$$

Gdy ciało zaczyna się zsuwać z równi, oznacza to, że zostało zerwane tarcie statyczne. Podczas zsuwania na ciało działa siła tarcia kinetycznego o wartości

$$T = f_k N = f_k P \cos \alpha .$$

Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego

Użycie równi pochyłej pozwala w prosty sposób wyznaczyć **współczynnik tarcia statycznego**. Spróbuj położyć niewielki przedmiot na desce i powoli zwiększać kąt jej nachylenia. Doprowadź do tego, by ciało zaczęło się zsuwać. W tym szczególnym momencie, w którym następuje zerwanie tarcia statycznego, wartość F siły zsuwającej jest równa maksymalnej wartości $T_{\max}$ siły tarcia statycznego. Można to zapisać przy pomocy wzorów:

$$T_{\max} = F ,$$

czyli (zob. Rys. 4.)

$$f_s P \cos \alpha_g = P \sin \alpha_g ,$$

gdzie α_g jest granicznym kątem, przy którym ciało wciąż pozostaje w spoczynku. Z ostatniej zależności wynika, że

$$f_s = \operatorname{tg} \alpha_g .$$

Aby zmierzyć wartość współczynnika tarcia statycznego f_s wystarczy zmierzyć jedną wielkość - kąt α_g nachylenia równi w chwili, gdy położone na niej ciało zaczyna się zsuwać.

Wyznaczanie współczynnika tarcia kinetycznego

A jak zmierzyć **współczynnik tarcia kinetycznego** przy pomocy równi pochyłej?

Przedmiot położony na równi powinien być w ruchu. Zgodnie z drugą zasadą dynamiki Newtona, jeśli na ciało działa pewna siła, wówczas porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym. W analizowanym przypadku wypadkowa siła działająca na ciało jest wektorową sumą siły zsuwającej $\vec{F}$ i siły tarcia kinetycznego $\vec{T}$. Jej wartość wynosi

$$F_w = F - T = P \sin \alpha - f_k P \cos \alpha ,$$

gdzie $P = mg$. Siła ta nadaje ciału przyspieszenie

$$a = \frac{F_w}{m} = g(\sin \alpha - f_k \cos \alpha) .$$

Zakładając, że prędkość początkowa ciała jest równa zero (kładziemy przedmiot na równi, nie popychając go), drogą s , jaką pokonuje ciało w czasie t , wynosi

$$s = \frac{1}{2}at^2 .$$

Podstawiając do ostatniego wzoru wyznaczone wcześniej przyspieszenie, po przekształceniu uzyskanego wyrażenia, dostajemy

$$f_k = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2s}{gt^2 \cos \alpha} .$$

Powyższą zależnością można się posłużyć, by wyznaczyć wartość f_k . Pomiar współczynnika tarcia kinetycznego jest trudniejszy niż pomiar współczynnika tarcia statycznego. Trzeba zmierzyć trzy wielkości: kąt nachylenia równi α , drogę przebytą wzdłuż równi s oraz czas trwania ruchu t . Z reguły najwięcej trudności sprawia dokładny pomiar czasu, który jest obarczony największą niepewnością, tym większą, im krócej trwa ruch. Wykonując pomiary należy więc używać równi o jak największej długości, pamiętając o tym, by kąt nachylenia był możliwie najmniejszy, co zminimalizuje przyspieszenie ciała.

Słowniczek

wielkość bezwymiarowa

(*ang.: dimensionless quantity*) wielkość bez jednostki miary; jest to po prostu liczba.

Przykład: sinus kąta jest wielkością bezwymiarową, jako iloraz dwóch długości.

Wirtualne laboratorium WL-I

Pomiar współczynnika tarcia statycznego i kinetycznego między klockiem a stołem

Przeprowadź dwa doświadczenia w wirtualnym laboratorium, wykonując ćwiczenia i polecenia związane z wyposażeniem pracowni, dokonaniem pomiarów oraz opracowaniem wyników. W pierwszym z nich wyznacz współczynnik tarcia **statycznego** pomiędzy klockiem a stołem. W drugim wyznacz współczynnik tarcia **kinetycznego** pomiędzy tymi samymi ciałami.

Doświadczenie 1

Wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego pomiędzy klockiem a stołem

Problem badawczy

Jak wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego pomiędzy klockiem a stołem?

Hipoteza

Współczynnik tarcia statycznego w naszym przypadku można wyznaczyć stopniowo zwiększając siłę działającą na nieruchomy klocek leżący na stole, aż do osiągnięcia wartości granicznej, przy której klocek poruszy się.

Co będzie potrzebne

Ćwiczenie 1

Zapoznaj się z wyposażeniem i działaniem wirtualnego laboratorium. To najprostsza wersja przyrządów do przeprowadzenia naszego doświadczenia. Jeśli zależałoby Ci na większej precyzji pomiarów, można by dokonać pewnych modyfikacji.

Zaproponuj te modyfikacje, a swoją propozycję wpisz do formularza poniżej.

Instrukcja

1. Zapoznaj się z instrukcją obsługi wirtualnego laboratorium i wyznacz doświadczalnie współczynnik tarcia statycznego pomiędzy klockiem a stołem. Pamiętaj, aby przed rozpoczęciem doświadczenia oraz po naciśnięciu przycisku RESET, służącego temu, by je zrestartować, **zawsze upewnić się**, że przycisk na dole po prawej stronie ekranu jest w pozycji $f_s \neq f_k$ (chyba, że chcesz wybrać opcję przeciwną).
2. Uzyskane dane pomiarowe i obliczony wynik końcowy zapisz w dzienniku doświadczenia.

3. Przejdź do części **Podsumowanie** i oblicz niepewność pomiarową wyznaczonego współczynnika tarcia.

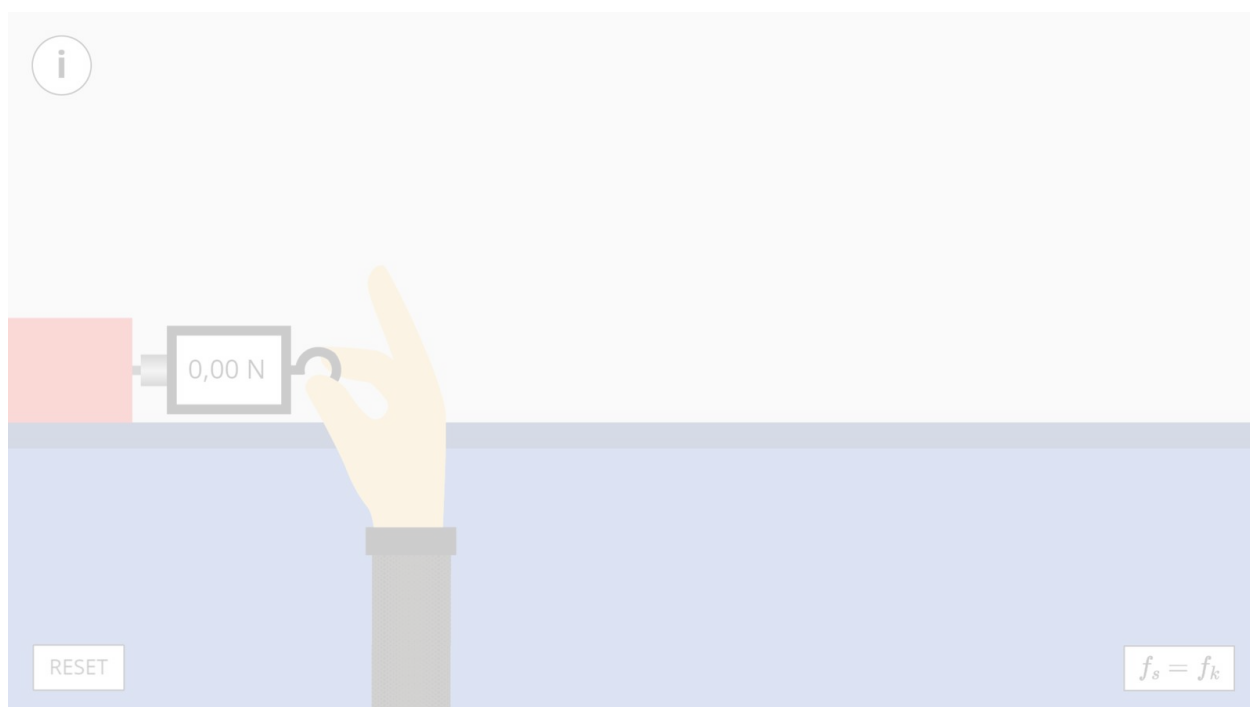
Dziennik doświadczenia 1.

Masa klocka $m = 200\text{ g}$

Przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Maksymalna siła tarcia $T_{s\text{-max}} =$ N

Współczynnik tarcia statycznego $f_s =$



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DjlbfBxkx>

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Podsumowanie

Polecenie 1

Ile wynosi niepewność pomiarowa wyznaczonego współczynnika tarcia statycznego f_s w pojedynczym pomiarze wykonanym w naszym doświadczeniu? Dokładność siłomierza (nie mylić z rozdzielczością) jest równa 0,1 N. Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Niepewność pomiarowa $u(f_s) =$.

Polecenie 2

Napisz zwięzłe sprawozdanie z przeprowadzonego doświadczenia. Zawrzyj w nim między innymi ostateczną wartość wyznaczonego współczynnika tarcia statycznego wraz z niepewnością pomiarową. Uwzględnij odpowiedź na pytanie, czy hipoteza badawcza potwierdziła się.

Doświadczenie 2

Wyznaczenie współczynnika tarcia kinetycznego pomiędzy klockiem a stołem

Problem badawczy

Jak wyznaczyć współczynnik tarcia kinetycznego pomiędzy klockiem a stołem?

Hipoteza

Współczynnik tarcia kinetycznego można wyznaczyć wprowadzając klocek w ruch jednostajny prostoliniowy po stole poprzez siłomierz, mierząc w ten sposób siłę tarcia kinetycznego.

Co będzie potrzebne

Doświadczenie przeprowadzisz posługując się tym samym wyposażeniem wirtualnego laboratorium, co poprzednio.

Wykonaj jednak najpierw poniższe ćwiczenie. Może Ci w tym pomóc kilka wstępnych prób pomiaru siły tarcia kinetycznego.

Ćwiczenie 2

Która ze zmian wyposażenia zaproponowanych w ćwiczeniu do poprzedniego doświadczenia byłaby najbardziej przydatna tym razem?

- ☐ Dokładniejszy siłomierz.
- ☐ Zastąpienie ręki ludzkiej mechanizmem, który będzie precyzyjniej zwiększał siłę.
- ☐ Siłomierz z cyfrowym zapisem danych na komputerze.

Instrukcja

1. Przeprowadź kilka lub kilkanaście razy doświadczenie zmierzające do wyznaczenia współczynnika tarcia kinetycznego. Liczba powtórzeń powinna zależeć od Twojej oceny, jak duży rozrzut pomiarów otrzymujesz.
2. Uzyskane dane pomiarowe i obliczony wynik końcowy zapisz w dzienniku doświadczenia.
3. Przejdź do części **Podsumowanie** i oblicz niepewność pomiarową wyznaczonego współczynnika tarcia.

Dziennik doświadczenia 2.

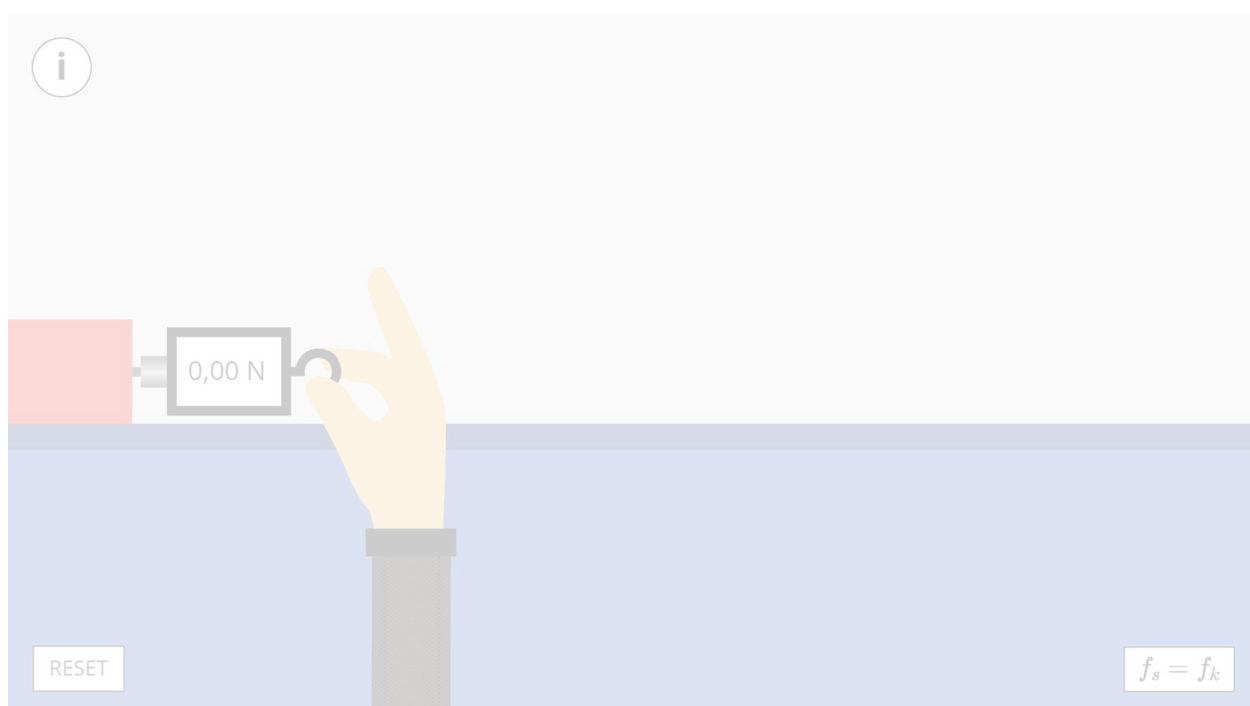
Masa klocka $m = 200\text{ g}$

Przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Siła tarcia kinetycznego $T_k =$ N

Średnia wartość siły tarcia kinetycznego $T_{k-\text{śr}} =$ N

Współczynnik tarcia kinetycznego $f_k =$



Podsumowanie

Polecenie 3

Oblicz niepewność pomiarową wyznaczenia współczynnika tarcia kinetycznego $\mu(f_k)$ w wykonanym przez Ciebie doświadczeniu. Dokładność siłomierza wynosi 0,1 N.

Polecenie 4

Napisz zwięzłe sprawozdanie z przeprowadzonego doświadczenia. Zawrzyj w nim między innymi ostateczną wartość wyznaczonego współczynnika tarcia kinetycznego wraz z niepewnością pomiarową. Uwzględnij odpowiedź na pytanie, czy hipoteza badawcza potwierdziła się. Co stanowiło największą trudność przy wykonywaniu eksperymentu i jak sobie z nią poradziłeś/-eś?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdanie:

Współczynnik tarcia między dwiema powierzchniami jest współczynnikiem proporcjonalności między / .

Ćwiczenie 2



Wybierz prawidłowe stwierdzenie:



Siła tarcia statycznego jest mniejsza od przyłożonej do ciała siły i dlatego ciało pozostaje nieruchome.



Wartość siły tarcia statycznego wzrasta wraz z wartością przyłożonej do ciała siły i dlatego ciało pozostaje nieruchome.



Siła tarcia statycznego jest większa od przyłożonej do ciała siły i dlatego ciało pozostaje nieruchome.

Ćwiczenie 3



Wybierz wszystkie prawidłowe stwierdzenia:

☐

Siła tarcia jest tym większa, im większa jest powierzchnia, którą stykają się dwa ciała.

☐

Siła tarcia zależy od siły nacisku ciała na podłoże.

☐

Siła tarcia zależy od masy ciała.

☐

Tarcie statyczne jest większe od tarcia kinetycznego.

☐

Współczynnik tarcia jest wielkością bezwymiarową.

☐

Jednostką współczynnika tarcia jest jednostka siły - niuton.

Ćwiczenie 4



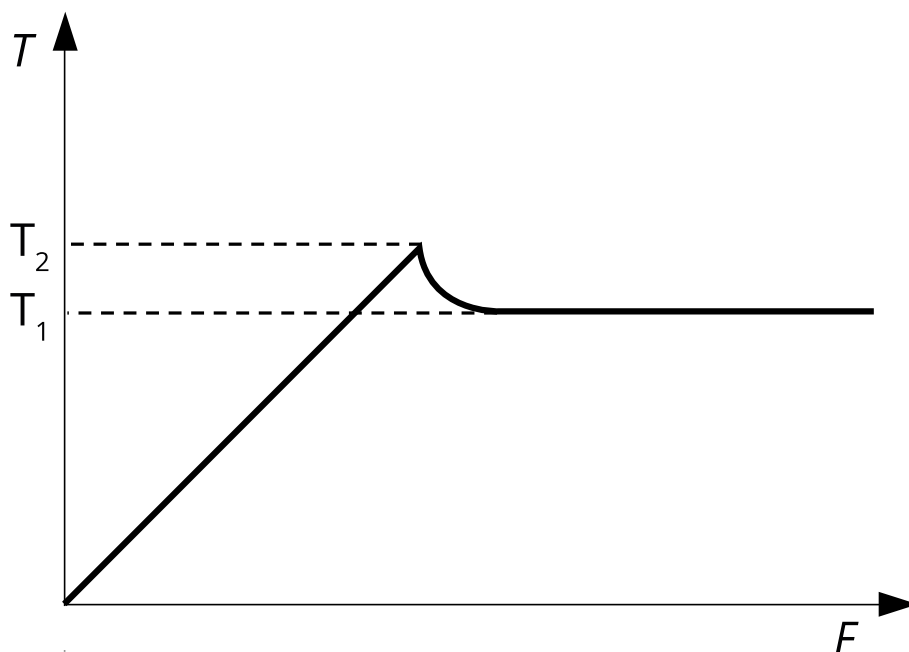
Na stole stoi waza z zupą o masie 6 kg. Współczynnik tarcia statycznego między wazą a stołem równy jest 0,6, a współczynnik tarcia kinetycznego 0,5. Wyznacz wartość siły, jakiej trzeba użyć, aby rozpocząć przesuwanie wazy oraz najmniejszą wartość siły potrzebnej do dalszego przesuwania wazy Wyniki zaokrąglaj do trzech cyfr znaczących.

Aby rozpocząć przesuwanie wazy, należy użyć siły N, aby kontynuować ruch wazy wystarczy siła N.

Ćwiczenie 5



Do skrzyni o masie $m = 51 \text{ kg}$, stojącej na podłodze, przyłożono poziomą siłę $\vec{F}$ o wzrastającej wartości. Na wykresie przedstawiona jest zależność między wartością działającej na ciało siły tarcia $\vec{T}$ a F . Oblicz współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego między skrzynią i podłogą, mając dane wartości $T_1 = 350 \text{ N}$ i $T_2 = 300 \text{ N}$. Przyspieszenie ziemskie wynosi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

$$f_s = \text{[input box]}$$

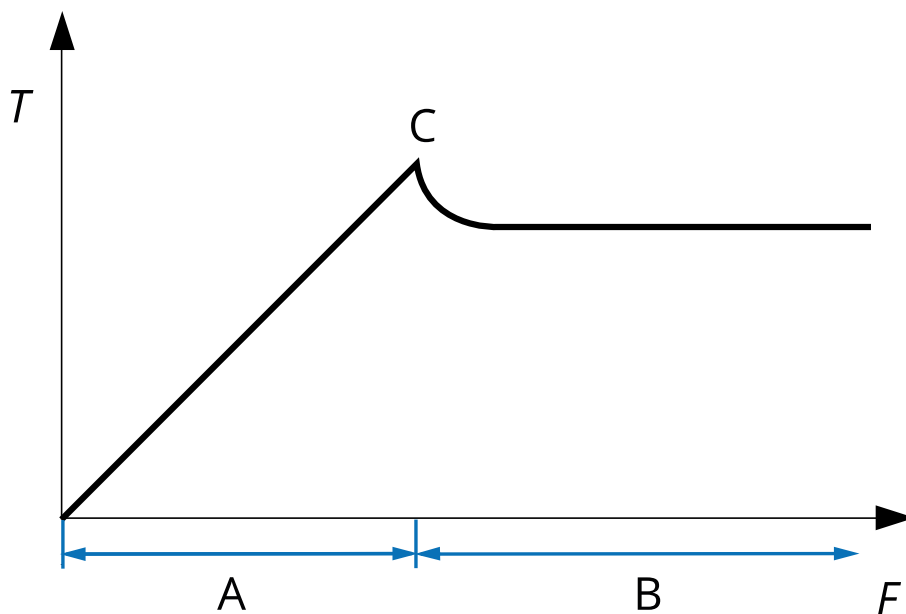
$$f_k = \text{[input box]}$$

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 6



Do skrzyni stojącej na podłodze przyłożono poziomą siłę $\vec{F}$ o wzrastającej wartości. Na wykresie przedstawiona jest zależność między wartością działającej na ciało siły tarcia $\vec{T}$ i wartością przyłożonej do ciała siły $\vec{F}$. Dopasuj objaśnienia do liter na wykresie:



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Skrzynia porusza się

A (tarcie)

W tym obszarze działa tarcie kinetyczne

C (ruch)

Skrzynia zaczęła się poruszać

B (tarcie)

Skrzynia jest nieruchoma

A (ruch)

W tym obszarze działa tarcie statyczne

B (ruch)

Ćwiczenie 7



Do szafki o masie 40 kg, stojącej na podłodze, przyłożono poziomą siłę $\vec{F}$. Współczynnik tarcia statycznego między szafką a podłogą wynosi $f_s = 0,65$, a współczynnik tarcia kinetycznego $f_k = 0,55$. Oblicz wartość siły tarcia T , gdy wartość przyłożonej siły wynosi

(a) 250 N,

(b) 300 N.

Wyjaśnij, czy szafka pod wpływem tej siły porusza się, czy pozostaje w spoczynku. Wynik zaokrąglaj do całkowitych wartości siły podanej w niutonach.

dla $F = 250$ N szafka , $T = 250$ N

dla $F = 300$ N szafka , $T = 216$ N

Ćwiczenie 8



Dziewczynka ciągnie kolegę na saneczkach działając siłą o $\vec{F}$ o wartości 10 N pod kątem $\alpha = 30^\circ$ do poziomu. Masa saneczek wraz z pasażerem to $m = 15$ kg, a współczynnik tarcia kinetycznego między płozami i śniegiem wynosi $f = 0,02$. Z jakim przyspieszeniem poruszają się saneczki? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Przyspieszenie ziemskie wynosi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

$a =$ m/s^2 .

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak wyznaczyć współczynnik tarcia?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji. II. Mechanika. Uczeń: 26) doświadczalnie: d) wyznacza wartość współczynnika tarcia na podstawie analizy ruchu ciała na równi.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. opisuje zjawisko tarcia i podaje jego przyczyny; 2. wyróżnia dwa rodzaje tarcia: statyczne i kinetyczne; 3. zapisuje, od czego zależy wartość siły tarcia; 4. analizuje siły działające na ciało na równi pochyłej; 5. wyznacza współczynnik tarcia statycznego i kinetycznego ciała na równi pochyłej.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszerwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Co to jest tarcie?”, „Wyznaczamy wartość współczynnika tarcia na podstawie analizy ruchu ciała na równi”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie, zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o występowaniu tarcia w życiu codziennym.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie wymieniają sytuacje, w których tarcie jest potrzebne, oraz takie, w których utrudnia ono działanie. Nauczyciel objaśnia przyczynę występowania tarcia i wprowadza pojęcia tarcia statycznego i kinetycznego. Uczniowie dyskutują, od czego zależy siła tarcia, dochodząc do wniosku, że zależy ona tylko od siły nacisku i rodzaju powierzchni. Nauczyciel definiuje współczynnik tarcia. Uczniowie, pracując w grupach, analizują siły działające na ciało na równi pochyłej i określają, jak obliczyć siłę nacisku i siłę tarcia, mając dany ciężar ciała i współczynnik tarcia. Następnie uczniowie zgłaszają pomysły, jak wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego i kinetycznego za pomocą równi pochyłej. Uczniowie wykonują doświadczenie w wirtualnym laboratorium, w celu wyznaczenia współczynników tarcia statycznego i kinetycznego.

Faza podsumowująca:

Uczniowie dyskutują o wynikach doświadczenia w wirtualnym laboratorium. Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

Samodzielne wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego za pomocą równi pochyłej dla dowolnych powierzchni, opis wykonanego doświadczenia i podanie wyniku.

**Wskazówki
metodyczne opisujące
różne zastosowania
danego multimedium**

Wirtualne laboratorium może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji, w celu samodzielnego wykonania doświadczenia.