



Jak wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Wirtualne laboratorium WL-I
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Jak wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjęcie/iskry-latają-podczas-siatki-maszyn-i-wykańczania-metalu-gm914855976-251789759> [dostęp 22.08.2019], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Czy to nie ciekawe ?

Przypuszczać należy, że od pradziejów człowieka nurtował problem łączenia ze sobą materialnych obiektów. Nie zastanawiał się, jak połączyć rękę z kawałkiem drewna – po prostu go chwycił. Ale jak połączyć kawałek drewna z innym? A długi drewniany kij z kamieniem, najchętniej zaostrozonym? Jak utrzymać kamień na kamieniu? A łączenie skóry z drewnem? Jak przymocować metal do skórzanego ubioru? Takie pytania są nadal aktualne, mimo że liczba znanych materiałów i różnych sposobów ich łączenia jest tak ogromna, że zasługuje niemal na miano „ilość”. Mamy przecież cementowanie, klejenie, łączenie „na kołki”, łączenie „na podciśnienie”, nitowane, przybijanie (gwoździem), przyszywanie, spawanie, spinanie, ściskanie, wiązanie, zgrzewanie... Nie ma zapewne jednego spisu wszystkich technik łączenia, wymyślonych i stosowanych przez człowieka, a każdy – Ty także – bez problemu uzupełni dowolny taki spis.



Rys. a. Połączone ze sobą drewniane elementy konstrukcji dachowej.

Źródło: Włodzimierz Natorf, licencja: CC BY 4.0.

Co zaś sądzisz o zwyczajnym położeniu jednego obiektu na drugim, w obecności pola grawitacyjnego? Czy stanowi to łączenie tych obiektów? Czy człowiek jest połączony z podłogą, gdy na niej stoi? A gdy po niej idzie? A gdy się po niej ślizga? Czy samochód jest połączony z jezdnią, gdy stoi na niej? A gdy jedzie po niej, bez jakiegokolwiek poślizgu? Ziarnka piasku, wysypane z jednego miejsca, tworzą stabilną bryłę (podobną do stożka) – czy są ze sobą połączone? Zbudowano piramidę z kamiennych bloków, nie używając zaprawy – czy te bloki są ze sobą połączone? U podstaw tych technik łączenia, także wielu innych, leży tarcie statyczne. Łączenie za jego pomocą ma zarówno zalety, jak i wady oraz ograniczenia.

Jakie cechy łączonych obiektów oraz połączonego układu determinują trwałość tego połączenia? Jak można te cechy zmierzyć? Czytaj dalej, a trochę się o tym dowiesz.

Twoje cele

- zdefiniujesz siłę tarcia statycznego oraz współczynnik tarcia statycznego pomiędzy dwiema powierzchniami,
- zastosujesz swoją wiedzę do sformułowania warunku zerwania tarcia statycznego na równi pochyłej,
- przeprowadzisz, przeanalizujesz i zinterpretujesz wyniki wirtualnego eksperymentu, w którym wyznacysz wartość współczynnika tarcia statycznego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

1. Fenomenologiczny opis tarcia statycznego

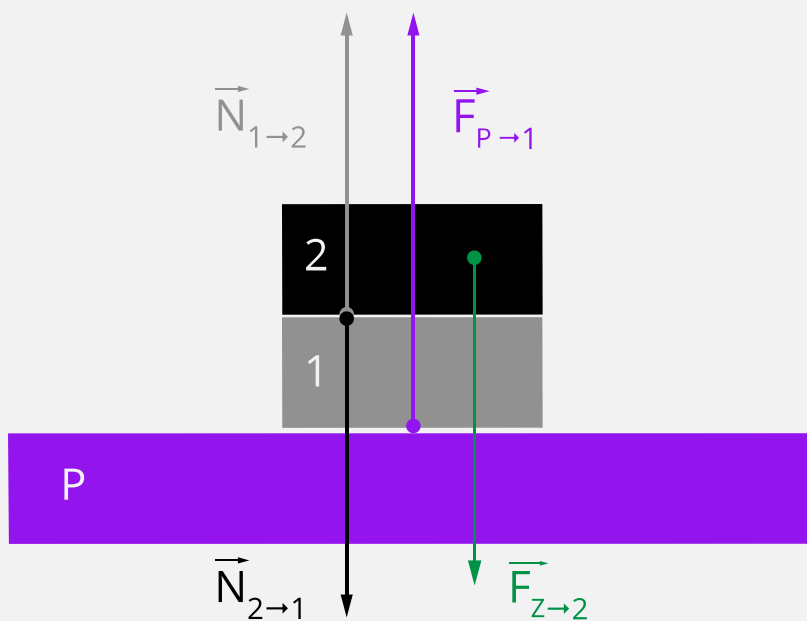
Z **tarciem statycznym** stykamy się często bezwiednie, w codziennym życiu.

Wykorzystujemy je także celowo, w bardzo wielu zastosowaniach technicznych. Najprostszy opis tego zjawiska polega na wskazaniu dwóch ciał stałych, które stykają się swoimi powierzchniami i nie przemieszczają się względem siebie. Dla uproszczenia opisu przyjmuje się, że powierzchnie te są płaskie. Ponieważ ciała się stykają, mogą oddziaływać wzajemnie.

Siła nacisku

Składowe sił, jakimi oddziałują na siebie takie stykające się ciała, prostopadłe do powierzchni styku, określane są wspólnym mianem **sił nacisku**. Ich obecność najczęściej związana jest z działaniem zewnętrznych sił, które dociskają do siebie te dwa ciała.

Typowy przykład pokazano na Rys. 1. Dwa klocki ułożono na podłożu P. Obecność działających wewnątrz układu (składającego się z dwóch klocków) sił nacisku $\vec{N}_{1 \rightarrow 2}$ oraz $\vec{N}_{2 \rightarrow 1}$ wynika z działania dwóch sił spoza tego układu. Na drugi klocek działa siła ciężkości $\vec{F}_{Z \rightarrow 2}$; dociska ona ten klocek do pierwszego, który w efekcie zostaje dociśnięty do podłoża. Jeśli podłoże nie ma możliwości przemieszczania się, to działa na pierwszy klocek siłą sprężystości $\vec{F}_{P \rightarrow 1}$. Ta ostatnia równoważy całkowity ciężar układu klocków, który, ściśnięty, pozostaje w spoczynku.

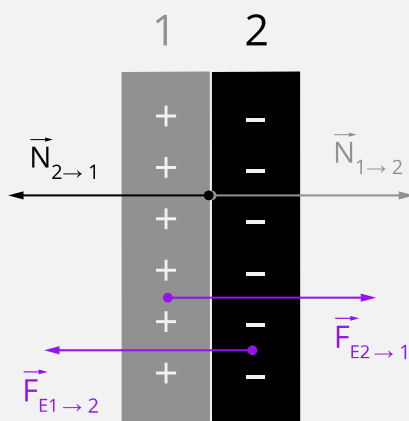


Rys. 1. Dwa klocki naciskają na siebie wzajemnie. Nacisk wywołany jest siłą ciężkości działającą na klocek górny oraz siłą sprężystości podłoża, na którym leży klocek dolny.

Kliknij na rysunek aby przeanalizować szczegóły, wybierając odpowiadające Ci powiększenie.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dociskanie do siebie dwóch ciał nie musi być wynikiem działania siły zewnętrznej. Na Rys. 2. przedstawiono dwa klocki, wykonane z izolatora, naładowane elektrycznie ładunkami o przeciwnym znaku. Przyciągają się one siłami $\vec{F}_{E2 \rightarrow 1}$ oraz $\vec{F}_{E1 \rightarrow 2}$. Gdy klocki zetkną się, pojawiają się siły nacisku $\vec{N}_{1 \rightarrow 2}$ oraz $\vec{N}_{2 \rightarrow 1}$.



Rys. 2. Dwa klocki naciskają na siebie wzajemnie. Nacisk wywołany jest przyciągającym oddziaływaniem elektrycznym między nimi.

Kliknij na rysunek aby przeanalizować szczegóły, wybierając odpowiadające Ci powiększenie.

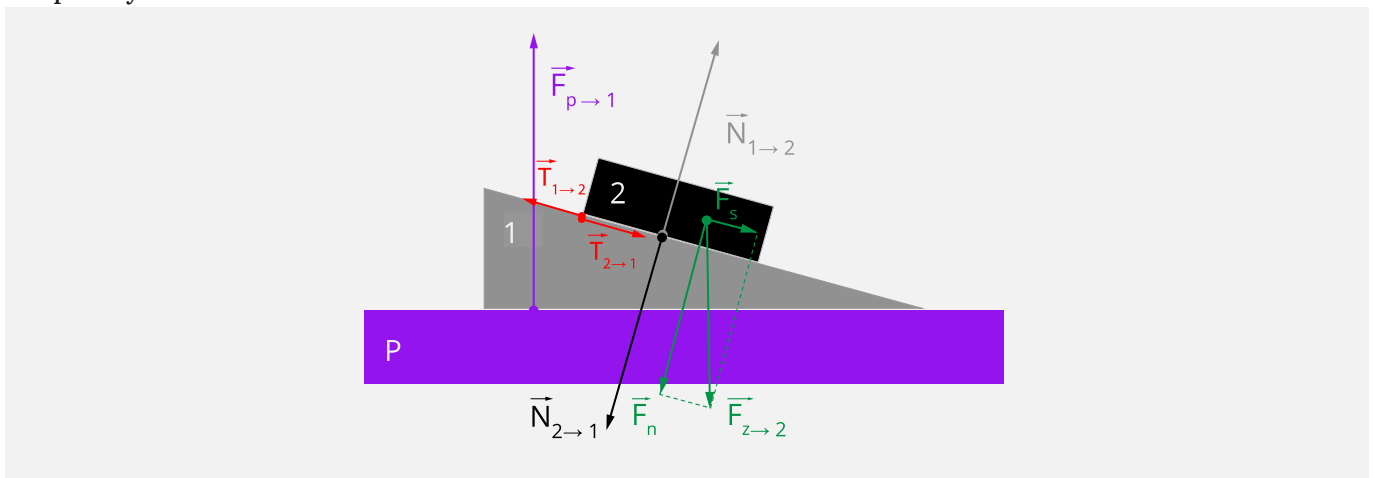
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Siła tarcia statycznego

Równoległe do powierzchni styku składowe sił, jakimi oddziałują na siebie stykające się ciała, określane są wspólnym mianem **sił tarcia statycznego**. Dla ich pojawienia się muszą być spełnione trzy warunki:

1. Pomiedzy stykajacymi sie cialami musi wystepowac sila nacisku o niezerowej wartosci.
2. Na co najmniej jedno z tych cial musi dzialac sila (lub skladowa) rownolegla do powierzchni styku. Sila ta bywa okreslana jako „prubujaca wprawic ciala we wzgledny ruch”.
3. Mimo obecności siły z punktu 2., ciała nie zostają wprawione we wzgledny ruch. Taki stan bywa okreslany slowami „nie dochodzi do zerwania tarcia statycznego”.

Na Rys. 3. pokazano układ, w którym szary klocek 1 ma kształt równi pochyłej. Składowa \vec{F}_s siły ciężkości $\vec{F}_{z \rightarrow 2}$ pełni rolę „siły próbującej wprawic w ruch” klocek 2 względem klocka 1. Siła tarcia statycznego $\vec{T}_{1 \rightarrow 2}$ równoważy składową \vec{F}_s i klocek 2. pozostaje w spoczynku.



Rys. 3. Gdy jeden z klocków ma kształt klina, to w układzie mogą pojawić się siły (dokładniej: składowe sił), które „próbują wprawic ciała we wzgledny ruch”. Przykładem jest składowa \vec{F}_s siły ciężkości $\vec{F}_{z \rightarrow 2}$. Dla czytelności rysunku nie przedstawiono analogicznej składowej dla klocka 1.

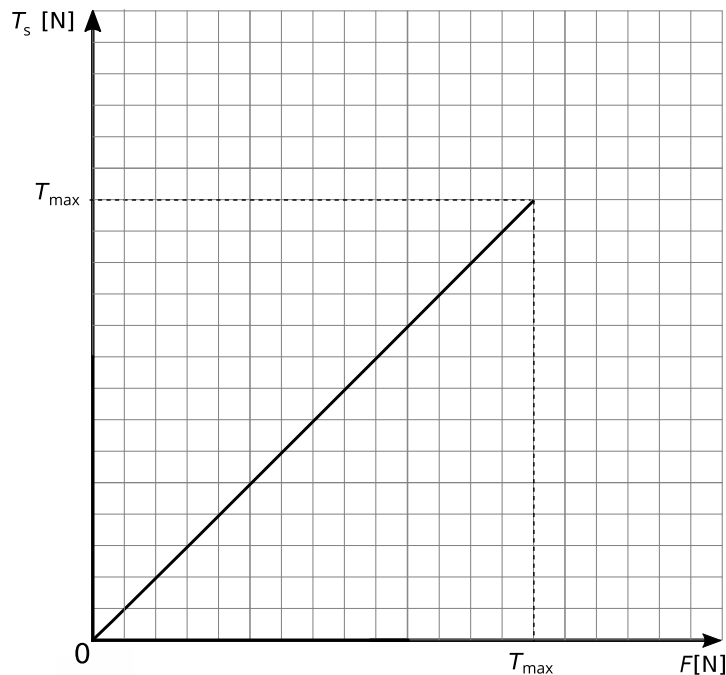
Kliknij na rysunek aby przeanalizować szczegóły, wybierając odpowiadające Ci powiększenie.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Maksymalna wartość siły tarcia statycznego

Zerwanie tarcia statycznego

Tarcie statyczne, łączące dwa ciała, ma ograniczoną wytrzymałość, tak jak każdy inny sposób łączenia. Uogólnienie codziennych spostrzeżeń prowadzi do wniosku, że w miarę wzrostu wartości F_s (ogólniej: wartości siły „próbującej wprawic ciała we wzgledny ruch”) wzrasta wartość $T_{1 \rightarrow 2}$ (ogólniej: wartość siły tarcia statycznego T_s), z zachowaniem równości wartości tych sił (Rys. 4).



Rys. 4. Wykres zależności wartości siły tarcia statycznego T_s od wartości siły F działającej wzdłuż powierzchni styku pomiędzy ciałami. Wartości te są równe; dziedzina jest ograniczona maksymalną wartością tarcia statycznego, czyli T_{\max} .

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Taki wzrost nie jest jednak nieograniczony. Po osiągnięciu przez siłę tarcia pewnej maksymalnej wartości T_{\max} ciała zostają wprowadzone we względny ruch. Mówimy o **zerwaniu tarcia statycznego** i o pojawieniu się **tarcia kinetycznego**.

Współczynnik tarcia statycznego

Z ogromnej liczby prowadzonych obserwacji i pomiarów wynika empiryczne prawo określające proporcjonalny związek pomiędzy T_{\max} a wartością siły nacisku N jednego ciała na drugie:

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

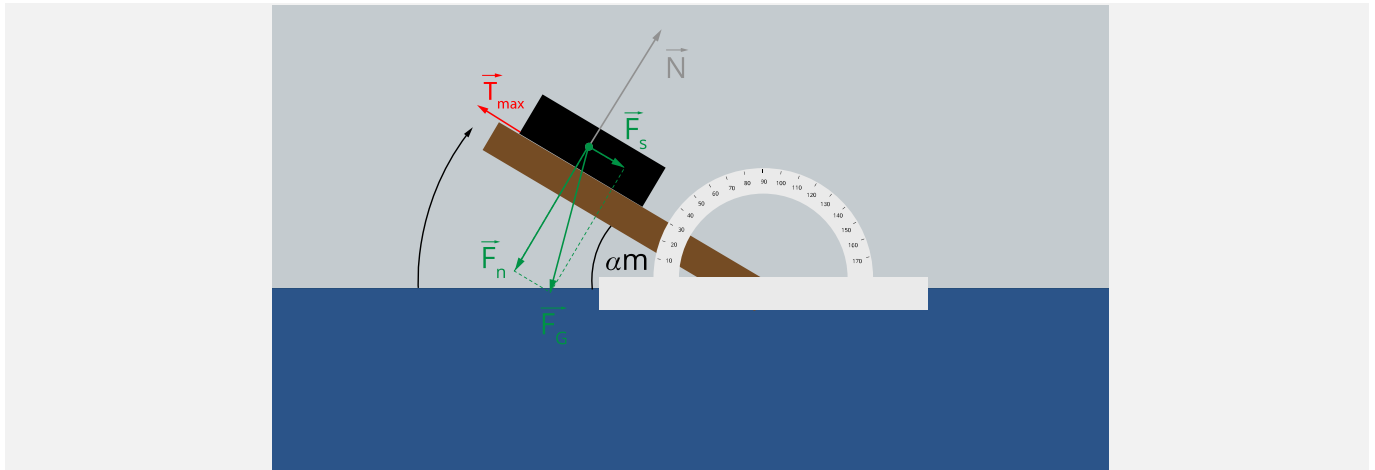
Współczynnik proporcjonalności f nazywa się **współczynnikiem tarcia statycznego**. Bywa on często oznaczany symbolem f_s , szczególnie w zagadnieniach, w których występują różne rodzaje tarcia, np. statyczne i kinetyczne. Wartość tego współczynnika, wyznaczana doświadczalnie, charakteryzuje parę stykających się powierzchni.

2. Pomiar współczynnika tarcia statycznego

Każdy pomiar współczynnika tarcia pomiędzy dwiema substancjami polega na doprowadzeniu do zerwania tarcia statycznego pomiędzy dwoma ciałami i na bezpośrednim lub pośrednim pomiarze wartości siły tarcia statycznego tuż przed zerwaniem. Jest to zatem pomiar wartości T_{\max} .

Wykorzystanie równi pochyłej

Jedno ze spotykanych rozwiązań pokazano schematycznie na Rys. 5. Polega ono na wykorzystaniu równi pochyłej, pokrytej jedną z badanych substancji. Klocek, którego powierzchnię pokryto drugą z badanych substancji, układamy na równi. Na tle kątomierza unosimy powoli równię, unikając szarpnięć, do chwili zerwania tarcia statycznego. Utrzymujemy nachylenie, przy którym klocek przemieścił się, choćby na krótki dystans, względem równi. Wynikiem pomiaru jest odczytany na kątomierzu kąt nachylenia równi α_m .



Rys. 5. Równia pochyła z ustawionym na niej klokiem została uniesiona i jest nachylona pod kątem α_m do poziomu.

Kliknij na rysunek aby przeanalizować szczegóły, wybierając odpowiadające Ci powiększenie.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na Rys. 5. równia pochyła z ustawionym na niej klokiem została uniesiona i jest nachylona pod kątem α_m do poziomu. Przy tym nachyleniu klocek poruszył się; siła tarcia statycznego osiągnęła swą maksymalną wartość T_{max} . Na rysunku ograniczono się do przedstawienia sił działających na klocek:

- siły ciężkości \vec{F}_G , rozłożonej na składowe: równoległą do równi \vec{F}_s oraz prostopadłą do równi \vec{F}_n ,
- siły tarcia (o maksymalnej wartości) \vec{T}_{max} ,
- siły nacisku (siły reakcji równi) \vec{N} .

Związek pomiędzy T_{max} i α_m oraz f i α_m

Z analizy sił działających na klocek (patrz: e-materiał „Rozkład sił działających na ciało umieszczone na równi pochyłej”) wynikają następujące związki:

- $F_s = F_G \sin \alpha_m$
- $T_{max} = F_s = F_G \sin \alpha_m$
- $F_n = F_G \cos \alpha_m$
- $N = F_n$

Widzimy więc, że

$$F_G \sin \alpha_m = f \cdot F_G \cos \alpha_m ,$$

skąd, po uwzględnieniu, że $F_G \neq 0$, otrzymujemy związek, który jest podstawą do wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego:

$$f = \operatorname{tg} \alpha_m .$$

Taki pomiar warto przeprowadzić w domu

Spróbuj namówić koleżankę (kolegę, siostrę, brata, kogokolwiek) do wspólnego wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego w warunkach domowych. Wystarczy stół, jakaś deska lub książka w roli równi i pudełko, but czy spodek (uważajcie, by go nie stłuc!) w roli klocka. Potrzebny będzie też kątomierz ze szkolnego piórnika: tu zwróćcie uwagę, by możliwie dokładnie zmierzyć kąt pomiędzy równią a poziomem – wymaga to odrobiny współpracy pomiędzy prowadzącymi pomiar. Więcej instrukcji nie potrzeba – gdy zrobicie kilka pomiarów, to chwycicie odpowiedni dryg.

Słowniczek

tarcie statyczne

(*ang.: static friction*) oddziaływanie przeciwdziałające wprawieniu w ruch względem siebie dwóch stykających się ciał.

siła tarcia statycznego

(*ang.: static friction force*) styczna do trących powierzchni siła reakcji na siłę usiłującą przesunąć ciała względem siebie. Jest to więc siła bierna, występująca dla zachowania równowagi stykających się ciał.

współczynnik tarcia statycznego

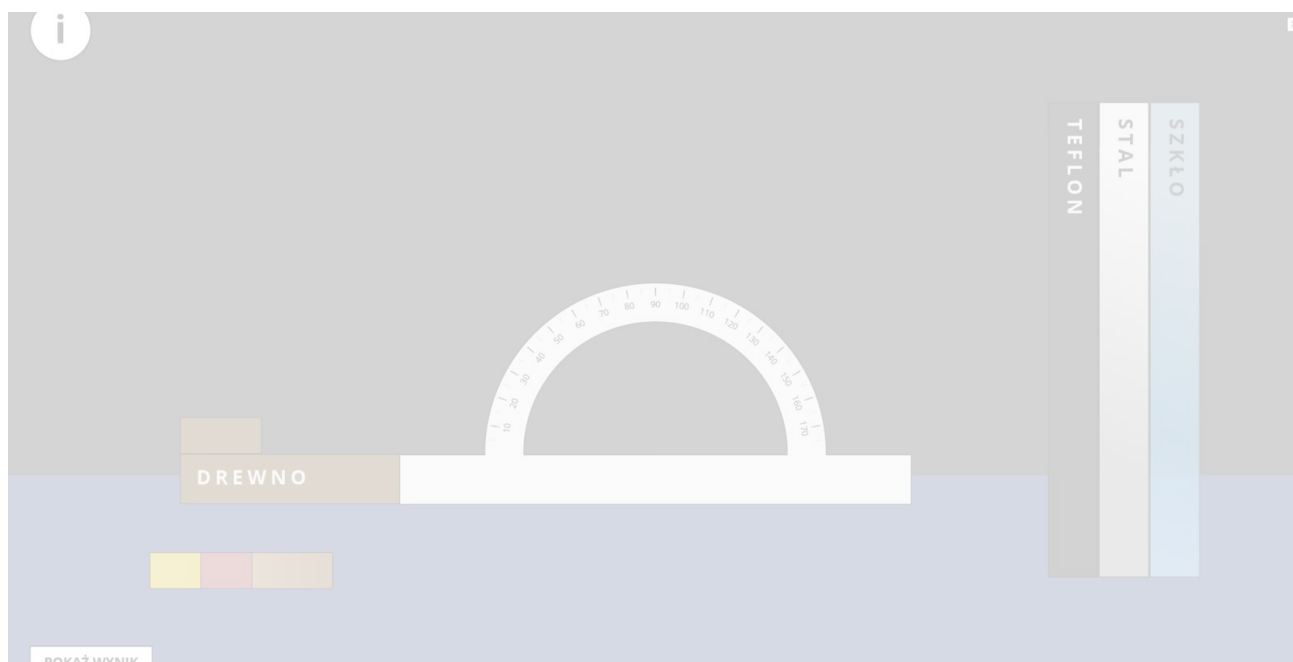
(*ang.: static friction coefficient*) wielkość charakteryzująca stykające się ze sobą powierzchnie, określająca maksymalną siłę tarcia statycznego.

Wirtualne laboratorium WL-I

Zmierz wartość współczynnika tarcia statycznego klocka o deskę

Wykonaj eksperyment, którego celem jest wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego między dwoma materiałami. Składa się on z dwóch doświadczeń różniących się problemem badawczym.

Doświadczenie 1



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DwMlym7O8>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Pojedynczy pomiar współczynnika tarcia statycznego klocka o równię

Problem badawczy

Jak zmierzyć współczynnik tarcia statycznego przedmiotu o podłoże?

Hipoteza

Można tego dokonać ustawiając przedmiot (klocek) na podłożu tak, by można je było unosić, jak równię pochyłą, a następnie powoli podnosić równię i zmierzyć kąt, przy którym klocek zaczyna się przesuwać.

Co będzie potrzebne

1. Podłoże wykonane z jednego z badanych materiałów, które można unosić z jednej strony.
2. Klocek wykonany z drugiego z badanych materiałów.
3. Przyrząd do wyznaczania kąta nachylenia równi do poziomu.

Ćwiczenie 1

Ćwiczenie 2

Którego przyrządu użyjesz, by szybko i sprawnie, a jednocześnie z wystarczającą dokładnością, wyznaczyć kąt nachylenia równi do poziomu? Uzasadnij krótko swój wybór.

Instrukcja

1. Wybierz materiał, z którego wykonana jest równia, oraz materiał, z którego wykonany jest klocek.
2. Unoś powoli jeden koniec podłoża na tle kątomierza. Gdy stwierdzisz najmniejsze choćby poruszenie się klocka, wstrzymaj unoszenie podłoża – tarcie statyczne zostało zerwane, a kąt nachylenia podłoża jest równy kątowi granicznemu.
3. Odczytaj z kątomierza jego wartość z dokładnością do 1° – taka jest rozdzielczość kątomierza. Dopuszczalne jest odczytywanie wyniku „między kreskami”, np. z dokładnością $0,5^\circ$. Pamiętaj jednak, że taki odczyt nie wpływa na dokładność przyrządu – pozostaje ona równa jego rozdzielczości, czyli nadal wynosi 1° .
4. Oblicz współczynnik tarcia statycznego między badanymi powierzchniami korzystając z zależności:

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

Podsumowanie

Podsumuj wynik doświadczenia, zawierając w nim następujące elementy:

Polecenie 1

Oszacuj niepewność pomiaru współczynnika tarcia statycznego, przyjmując, że niepewność pomiaru kąta $u(\alpha_g)$ jest równa rozdzielczości skali kątomierza.

Pamiętaj, że wynik końcowy jest wielkością mierzoną pośrednio, a więc niepewność jej pomiaru $u(f_s)$ oblicz korzystając ze wzoru:

$$u(f_s) = \frac{1}{2} |\operatorname{tg}(\alpha_g + u(\alpha_g)) - \operatorname{tg}(\alpha_g - u(\alpha_g))|$$

Polecenie 2

Zapisz rezultat doświadczenia jako wynik z niepewnością pomiarową.

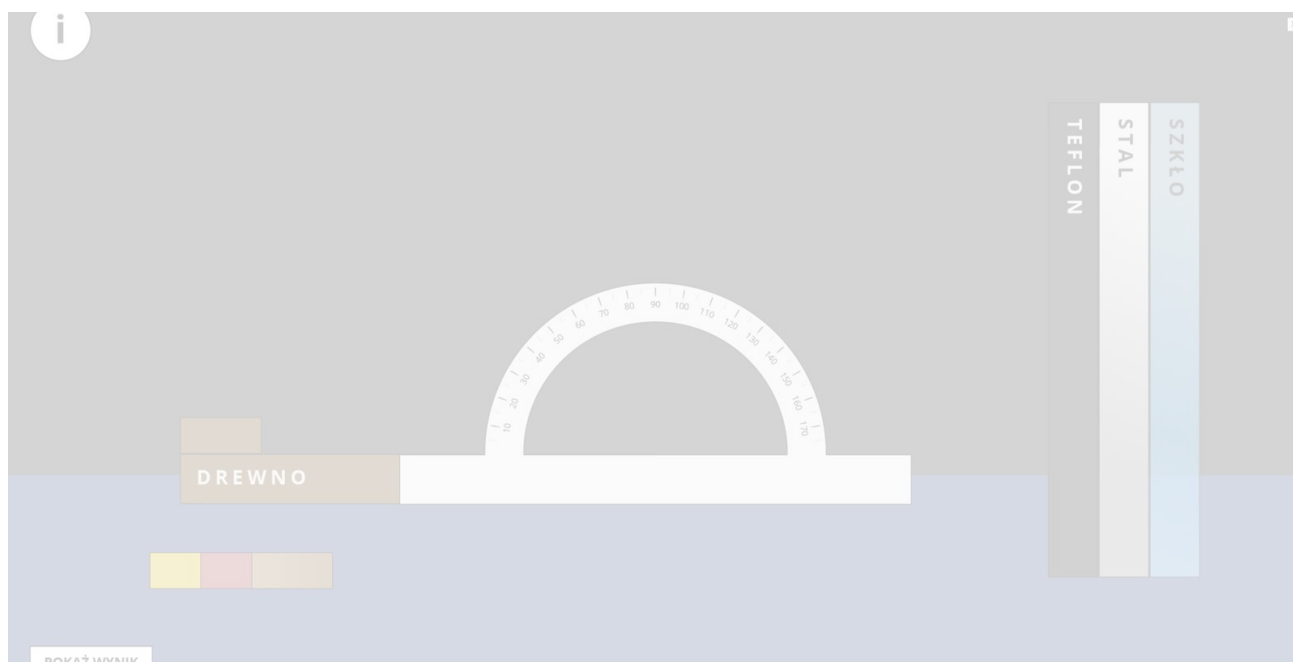
Polecenie 3

Zaproponuj sposób na zwiększenie dokładności pomiaru współczynnika tarcia statycznego (czyli zmniejszenie niepewności pomiarowej). Rozważ, jakie konsekwencje może mieć fakt, że pomiar został wykonany tylko raz.

Polecenie 4

Oceń, czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się.

Doświadczenie 2



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DwMlym7O8>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Seria pomiarów współczynnika tarcia statycznego

Problem badawczy

Celem doświadczenia jest pomiar współczynnika tarcia statycznego pomiędzy dwoma materiałami poprzez wykonanie serii pomiarów dla klocka na równi pochytej.

Hipoteza

Uzyskany wynik jest dokładniejszy (jego niepewność pomiarowa jest mniejsza) niż w przypadku pojedynczego pomiaru.

Co będzie potrzebne

Wykorzystaj te same przyrządy, co w poprzednim doświadczeniu. Skorzystaj z poniższego arkusza do zapisywania i opracowywania wyników pomiarów. Rozważ także użycie arkusza kalkulacyjnego, w którym możesz umieścić odpowiednie formuły.

Instrukcja

1. Wykonaj kilkakrotnie czynności opisane w instrukcji do doświadczenia 1.
2. Zapisz uzyskane wyniki każdego pomiaru w osobnym wierszu tabeli.
3. Przeprowadź serię co najmniej 6-8 takich pomiarów.

Polecenie 5

Opracuj uzyskane wyniki i wyznacz współczynnik tarcia statycznego. Skorzystaj z następującej sekwencji czynności:

1. Oceń rozrzut uzyskanych wyników i rozstrzygnij, czy jest on większy, porównywalny, czy mniejszy, niż niepewność graniczna, wynikająca z dokładności kątomierza.
2. Oblicz średnią wartość kąta α_m , uzyskaną w serii.
3. Oblicz $u(\alpha_m)$ – niepewność standardową średniej wartości α_m ; zastosuj postępowanie zgodne z rozstrzygnięciem z punktu 1.
4. Wyznacz współczynnik tarcia f raz jego standardową niepewność $u(f)$. Postępuj zgodnie z zasadami dla opracowywania wyników pomiaru wielkości mierzonej pośrednio.

Podsumowanie

Polecenie 6

Przedstaw ostateczną postać wyniku, odpowiednio zaokrągloną. Skomentuj w jednym lub dwóch zdaniach uzyskany wynik. Porównaj go z wartością tablicową.

Oceń, czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wspólna treść i dane do ćwiczeń 2 - 9

Przeprowadzono pomiar α_m – maksymalnego kąta nachylenia równi, przy którym następuje zerwanie tarcia statycznego pomiędzy klockiem a równią, zgodnie z opisem w części „Przeczytaj”. Uzyskane wyniki zapisano w tabeli.

Pomiary prowadzono w sposób niezależny jeden od drugiego, utrzymując powtarzalne warunki dla każdego z nich. Użyto kątomierza o rozdzielczości 1° ; dopuszczono odczyt wyników z dokładnością do $0,5^\circ$.

Poniższą tabelę wyników możesz skopiować do arkusza kalkulacyjnego, dla łatwiejszego wykonania obliczeń proponowanych w poszczególnych zadaniach.

Lp.	α_m
1	$36,0^\circ$
2	$34,5^\circ$
3	$35,0^\circ$
4	$35,5^\circ$
5	$35,0^\circ$
6	$36,0^\circ$
7	$34,0^\circ$
8	$34,0^\circ$
9	$35,0^\circ$
10	$33,5^\circ$

11	37,0°
12	34,0°

Ćwiczenie 2



Oceń rozrzut uzyskanych wyników.

Porównaj błąd systematyczny w tym eksperymencie z oszacowaniem błędów przypadkowych, jakimi mógł być obarczony każdy pomiar.

Sformułuj wynikające z tego porównania wnioski, dotyczące dalszego postępowania.

Wpisz swoją wypowiedź w przygotowane pole i porównaj z zamieszczonym wyjaśnieniem.

Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Ćwiczenie 9



Wyznacz niepewność standardową $u(f)$, zaokrąglij ją i zapisz ostateczny wynik eksperymentu. Porównaj ten wynik z podanym w odpowiedzi wzorcowej.

Podsumowanie

Współczynnik tarcia statycznego został wyznaczony w tym doświadczeniu z dokładnością do niecałych 3%. Tablicowa wartość dla użytych w eksperymencie powierzchni (sucha, naprężona skóra i żelazo) to 0,67.

Jak widać, różnica pomiędzy uzyskanym wynikiem a wynikiem tablicowym jest większa od niepewności standardowej. Jest ona jednak mniejsza od podwojonej niepewności standardowej. Ta różnica nie przesądza więc o niezgodności pomiędzy tymi wynikami, ale pokazuje, że do eksperymentu mogły wkraść się drobne niedoskonałości.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Włodzimierz Natorf
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego za pomocą równi pochyłej
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony

<p>Podstawa programowa:</p>	<p>Cele kształcenia - wymagania ogólne:</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>13) rozróżnia błędy przypadkowe i systematyczne;</p> <p>14) wyznacza średnią z kilku pomiarów jako końcowy wynik pomiaru powtarzanego;</p> <p>15) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych i złożonych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności; uwzględnia niepewności przy sporządzaniu wykresów;</p> <p>16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.</p> <p>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>17) opisuje opory ruchu (opory ośrodka, tarcie statyczne, tarcie kinetyczne); rozróżnia współczynniki tarcia kinetycznego oraz tarcia statycznego; omawia rolę tarcia na wybranych przykładach;</p> <p>26) doświadczalnie:</p> <p>d) wyznacza wartość współczynnika tarcia na podstawie analizy ruchu ciała na równi.</p>
<p>Kształtowane kompetencje kluczowe:</p>	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. definiuje siłę tarcia statycznego oraz współczynnik tarcia statycznego pomiędzy dwiema powierzchniami; 2. opisuje, od czego zależy maksymalna wartość siły tarcia statycznego; 3. formułuje warunek zerwania tarcia statycznego na równi pochyłej; 4. przeprowadza eksperyment, w którym badane jest zrywanie tarcia statycznego na równi; 5. analizuje i interpretuje wyniki eksperymentu; wyznacza wartość współczynnika tarcia statycznego.
Strategie nauczania:	IBSE, strategia eksperymentalno-obszernacyjna
Metody nauczania:	praca eksperymentalna uczniów
Formy zajęć:	praca w grupach 3-osobowych oraz w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	<p>każda grupa wyposażona jest w zestaw doświadczalny:</p> <ul style="list-style-type: none"> • równia (deska lub inne sztywne podłoże) o długości rzędu 50 cm; pożądane byłoby, aby każdy zestaw zawierał również z innego materiału; • klocek (odważnik lub podobny przedmiot o regularnych kształtach), który może zsunąć się z odpowiednio nachylonej równi; pożądane byłoby, aby każdy klocek miał powierzchnię styku z równią wykonaną z innego materiału; • kątomierz tablicowy lub możliwie duży kątomierz szkolny, o promieniu co najmniej 10 cm; • kalkulator.
Materiały pomocnicze:	instrukcja wykonania doświadczenia, sporządzona przez nauczyciela
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Nauczyciel prezentuje uczniom zagadnienie zasygnalizowane we „Wprowadzeniu” e-materiału. Prosi uczniów o wskazanie różnic i podobieństw pomiędzy łączeniem za pomocą tarcia statycznego a innymi technikami łączenia. Prosi także o podanie kilku wad i zalet łączenia za pomocą tarcia statycznego. Nauczyciel zwraca uwagę, że ograniczona „trwałość” i łatwa „odtwarzalność” takiego łączenia może być zarówno wadą, jak i cenną zaletą.

Nauczyciel zapowiada temat lekcji; przypomina przy tym, że współczynnik tarcia statycznego pomiędzy powierzchniami ciał jest właśnie miarą „trwałości” łączenia tarcieniem statycznym.

Faza realizacyjna:

Uczniowie w grupach mierzą, z dokładnością do 1° , graniczny kąt, przy którym następuje zerwanie tarcia statycznego. Dla zapewnienia odpowiedniej precyzji pomiarów i możliwie wysokiego poziomu niezależności kolejnych pomiarów z serii, podejmują następujące działania:

- dbają o unoszenie końca równi tak, by oś obrotu (nieruchomy koniec równi) przechodziła przez „zero” kątomierza;
- dokonują podziału ról na osobę unoszącą równię, odczytującą kąt nachylenia i dbającą o prawidłowy przebieg pomiaru;
- odczyt powinien zostać dokonany z dokładnością nieprzekraczającą $0,5^\circ$;
- po każdym pomiarze uczniowie zamieniają się rolami;
- osoba unosząca równię z klockiem nie widzi podziałki kątomierza;
- równia jest unoszona powoli, płynnym ruchem (bez szarpnięć);
- po pierwszych sześciu pomiarach uczniowie oceniają, czy rozrzut między uzyskanymi wynikami jest rzędu rozdzielczości kątomierza (1°), czy ją przekracza (jeśli tak, przeprowadzają jeszcze co najmniej trzy pomiary).

Wyniki pomiarów uczniowie wpisują do jednokolumnowej tabeli. Po zakończeniu pomiarów obliczają średnią arytmetyczną uzyskanych wyników (granicznych kątów nachylenia). Szacują, na podstawie rozrzutu wyników (bądź braku takiego rozrzutu), niepewność pojedynczego pomiaru.

Faza podsumowująca:

Każda grupa przedstawia pokrótce uzyskane wyniki:

- stwierdzony rozrzut po sześciu pierwszych pomiarach;
- podjętą decyzję o uzupełnieniu serii (bądź nie);
- średnią wartość granicznego kąta nachylenia;
- oszacowaną niepewność pojedynczego pomiaru.

Nauczyciel zapisuje wyniki na tablicy, ewentualnie komentuje na bieżąco rozstrzygnięcia i wyniki uzyskane przez poszczególne grupy.

Na zakończenie nauczyciel komentuje różnice pomiędzy tymi wynikami. Zależnie od doboru wyposażenia poszczególnych grup, wskazuje możliwe źródła tych różnic.

Praca domowa:

Uczniowie (w tych samych grupach, w których pracowali w klasie) zapoznają się z e-materiałem. Na podstawie ćwiczeń dokonują analizy własnych wyników, uzyskanych w klasie. Wyznaczają wartość współczynnika tarcia wraz z niepewnością pomiarową.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium**

Wirtualne laboratorium może służyć do wykonania przez uczniów wirtualnego pomiaru współczynnika tarcia w przypadku braku możliwości wykonania doświadczenia w klasie.