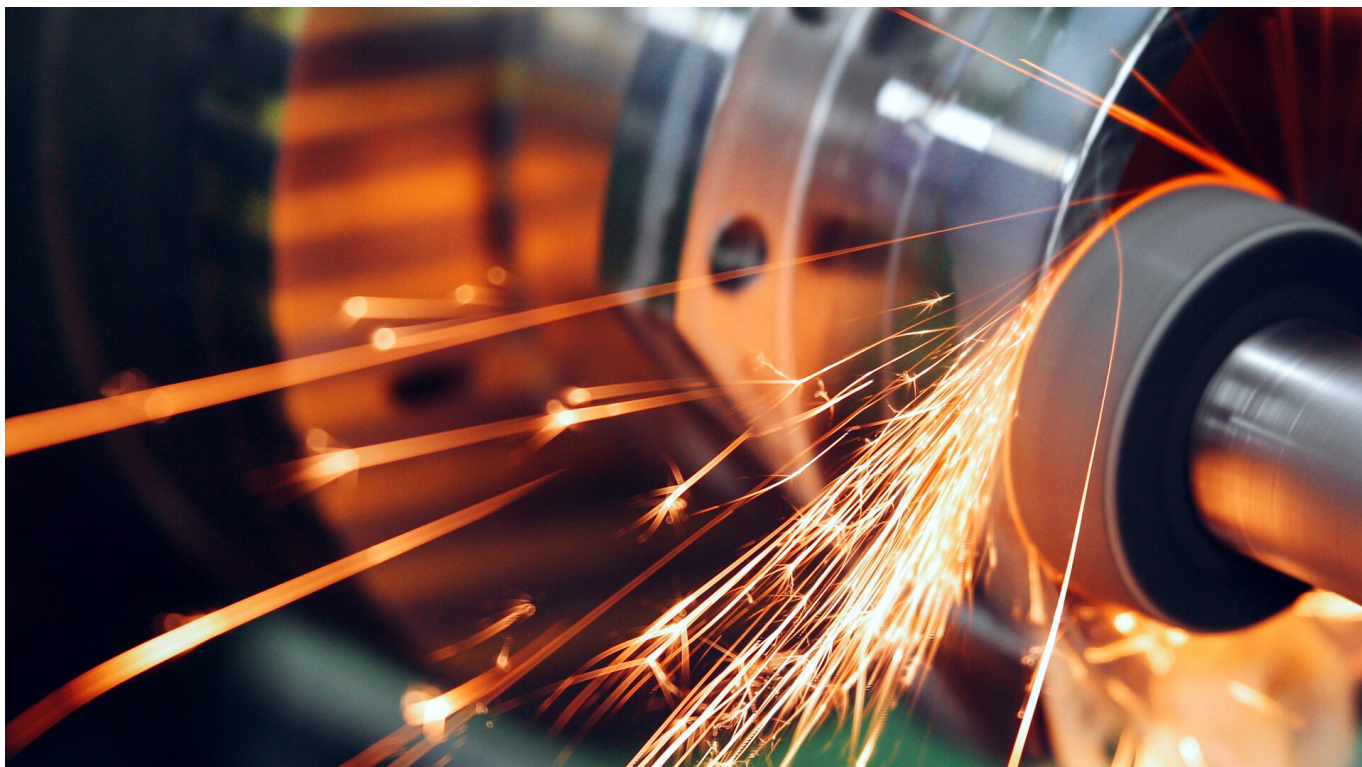




Tarcie w zadaniach

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Tarcie w zadaniach

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjęcie/iskry-latające-podczas-siatkowania-maszyn-i-wykończenia-metalu-gm914855976-251789759> [dostęp 22.08.2019].

Czy to nie ciekawe ?

Tarcie jest siłą, z którą spotykamy się na co dzień. Wiemy, że przeszkadza w poruszaniu się ciał i wydaje się być dosyć proste w opisie. Jednak bywają przypadki, nawet dosyć proste, w których opis siły tarcia bywa niezgodny z naszą intuicją. Szczególnie, gdy ustalamy zwrot tej siły. Zapominamy także, że siła tarcia jest siłą wzajemnego oddziaływania między ciałami. W tym e-materiale znajdziesz kilka przykładów, w których analizowane są takie przypadki (Rys. a.).



Rys. a. Tarcie patykiem o kawałek drewna, w celu pozyskania iskry.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/vectors/o%C5%9Bwietlenie-ogie%C5%84-kije-prymitywny-36545/> [dostęp 15.05.2022], domena publiczna.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- dowiesz się, jak opisujemy siłę tarcia,
- poznasz różne przykłady siły tarcia,
- zrozumiesz, kiedy siła tarcia może umożliwiać ruch ciała,
- zastosujesz zdobytą wiedzę przy rozwiązywaniu problemów,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz przykłady rozwiązań zadań, w których występuje siła tarcia.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Siła tarcia, nazywana zazwyczaj tarciem, jest siłą oporu, która utrudnia przesuwanie się względem siebie stykających się ciał. Zależy od wartości siły, z którą są dociskane do siebie te ciała i od rodzaju ich powierzchni. Zaczyna działać już wtedy, gdy próbuje się wprowadzić te ciała w ruch, jedno względem drugiego. Tarcie występujące przy przesuwaniu ciał dzielimy na dwa rodzaje:

Tarcie statyczne – działa, gdy ciała jeszcze się nie przesuwają względem siebie. Tarcie to rośnie wraz z zewnętrzną siłą próbującą przesuwać ciała względem siebie, osiągając maksymalną wartość tuż przed rozpoczęciem ruchu ciał.

Tarcie kinetyczne (dynamiczne) – działające, gdy ciała się przemieszczają względem siebie. Ma ono praktycznie stałą wartość przy ustalonej wartości zewnętrznych sił działających równolegle do kierunku ruchu.

Wartość siły tarcia opisuje wzór

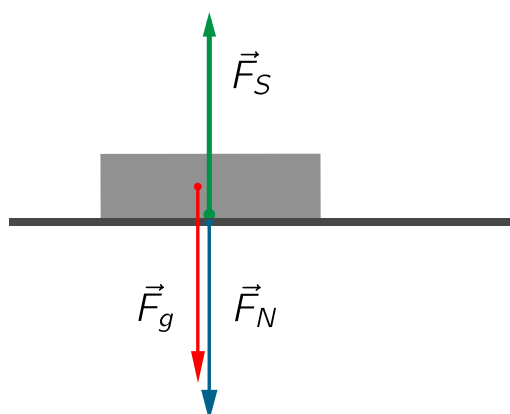
$$T = \mu F_N,$$

gdzie μ to współczynnik tarcia zależny od rodzaju powierzchni, F_N – wartość siły nacisku.

Dla dwóch powierzchni mogą być podane dwa współczynniki tarcia: μ_s – współczynnik tarcia statycznego, opisujący maksymalną wartość tarcia statycznego, oraz μ_k – współczynnik tarcia kinetycznego. Maksymalna wartość tarcia statycznego dla pary powierzchni jest większa od wartości tarcia kinetycznego.

Najczęściej tarcie opisuje się dla ruchu ciała po nieruchomym podłożu, zakładając, że oba obiekty stykają się płaskimi ścianami.

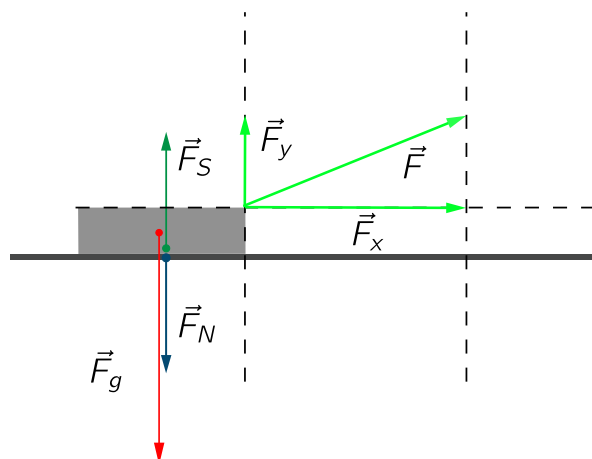
Przy wyznaczeniu siły tarcia ważnym etapem jest określenie siły nacisku $\vec{F}_N$, czyli siły, którą ciało naciska na podłoże. W pierwszym etapie rozkładamy wszystkie siły działające na ciało na składowe równoległe i prostopadłe do podłoża. Składowe równoległe wpływają bezpośrednio na ruch ciała – na ich podstawie wyznaczamy przyspieszenie ciała. Składowe prostopadłe określają siłę nacisku ciała na podłoże. Siła nacisku ciała na podłoże, zgodnie z III zasadą dynamiki, jest równa co do wartości sile, którą podłoże działa na ciało. Siłę tę nazywa się siłą sprężystości podłoża $\vec{F}_S$, spotyka się również termin *siła reakcji*. Siłę sprężystości łatwo jest znaleźć, ponieważ wraz z innymi siłami działającymi na ciało, prostopadłymi do podłoża, daje wypadkową równą 0 (Rys. 1.).



$$F_N = F_S = F_g = mg$$

Rys. 1a. Przykłady wyznaczenia wartości siły nacisku ciała na podłoże. $\vec{F}_N$ – siła nacisku ciała na podłoże; $\vec{F}_S$ – siłą sprężystości podłoża; $\vec{F}_g$ – siła przyciągania ziemskiego, $\vec{F}_g = m\vec{g}$, m – masa ciała, $\vec{g}$ – przyspieszenie ziemskie.

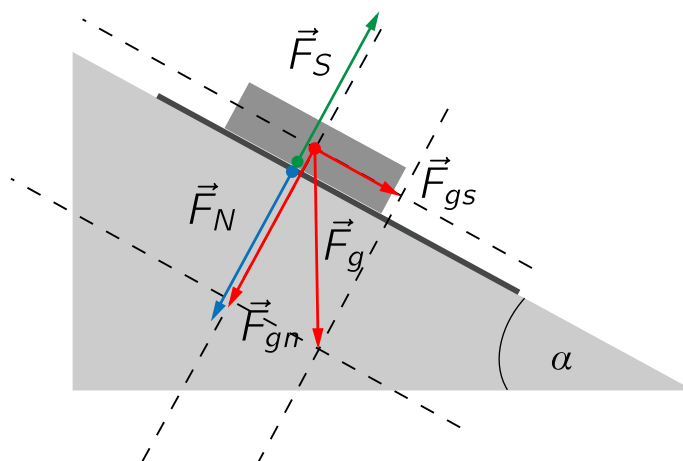
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



$$F_N = F_S = F_g - F_y$$

Rys. 1b. Przykłady wyznaczenia wartości siły nacisku ciała na podłoże. $\vec{F}_N$ - siła nacisku ciała na podłoże; $\vec{F}_S$ - siłą sprężystości podłoża; $\vec{F}_g$ - siła przyciągania ziemskiego, $\vec{F}_g = m\vec{g}$, m - masa ciała, $\vec{g}$ - przyspieszenie ziemskie, $\vec{F}$ - siła zewnętrzna działająca na ciało, $\vec{F}_x$, $\vec{F}_y$ - jej składowe.

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



$$F_N = F_S = F_{gn}$$

Rys. 1c. Przykłady wyznaczenia wartości siły nacisku ciała na podłoże. $\vec{F}_N$ - siła nacisku ciała na podłoże; $\vec{F}_S$ - siłą sprężystości podłoża; $\vec{F}_g$ - siła przyciągania ziemskiego, $\vec{F}_g = m\vec{g}$, m - masa ciała,

$\vec{g}$ - przyspieszenie ziemskie, $\vec{F}$ - siła zewnętrzna działająca na ciało, $\vec{F}_x$, $\vec{F}_y$ - jej składowe; $\vec{F}_{gs}$, $\vec{F}_{gn}$ - składowe siły przyciągania ziemskiego.

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

Przykładowe zadania, w których występuje siła tarcia.

Przykład 1

Dosyć prostym zadaniem, ale sprawiającym niekiedy problemy z ustaleniem zwrotu siły tarcia, jest zadanie, w którym tarcie utrzymuje ciało w spoczynku względem ruchomej podstawki.

Zadanie: Na książce spoczywającej na poziomym stole leży pudełko. Współczynnik tarcia statycznego między pudełkiem i książką wynosi μ_s . Jaka jest maksymalna wartość przyspieszenia, które nadajemy książce, przy którym pudełko z niej nie spadnie?

Ważne!

Błąd, który często popełniają uczniowie, rozwiązując to zadanie, to stwierdzenie, że skoro siła tarcia przeszkadza ruchowi, to siła działająca na pudełko powinna być zwrócona przeciwnie do jego prędkości (Rys. 2.).



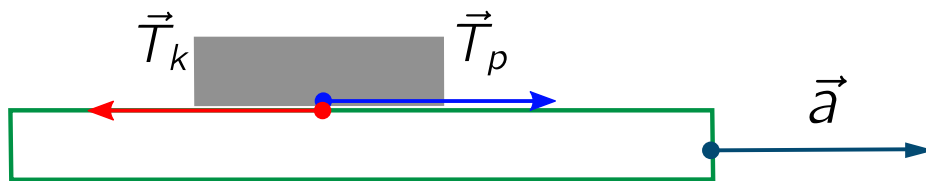
Rys. 2. Hipoteza uczniowska: skoro pudełko porusza się wraz z książką, siła tarcia powinna być skierowana przeciwnie do przyspieszenia książki.

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

Błąd ten wynika ze zbyt pospiesznej analizy sytuacji. Owszem, siła tarcia przeszkadza przesuwaniu się pudełka, ale *względem książki*. Tarcie książki o pudełko (Rys. 2., czerwona strzałka) przeszkadza wysuwaniu się książki spod pudełka i działa na książkę, i skierowana jest przeciwnie do jej prędkości.

Natomiast tarcie pudełka o książkę (niebieska strzałka) jest zwrócone zgodnie z jego prędkością *względem stołu* – i to właśnie tarcie powoduje – przynajmniej na początku – przyspieszony ruch pudełka (Rys. 3.). Przyspieszenie książki względem stołu może być jednak tak duże, że książka „wyjdzie spod” pudełka – właśnie tej wartości przyspieszenia $\vec{a}$ szukamy.

Rozwiązanie:



Rys. 3. Siły tarcia działające na pudełko $\vec{T}_p$ i na książkę $\vec{T}_k$.

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

Pudełko nie spadnie z książki, jeżeli maksymalna siła tarcia statycznego wystarczy na nadanie mu przyspieszenia takiego, jakie uzyskuje książka. Innymi słowy – żądamy, żeby oba ciała nie poruszały się względem siebie. Stąd wynika

$$T_p = ma \Rightarrow \mu_s mg = ma \Rightarrow a = \mu_s g .$$

Zadanie sprawia mniej problemu, gdy rozwiążemy je w układzie odniesienia książki. Ponieważ jest to układ nieinercyjny, na pudełko będzie działać siła bezwładności $\vec{F}_b = -m\vec{a}$, która dąży do zsunienia pudełka z książki. Pudełko nie poruszy się względem książki, jeżeli siła bezwładności nie przekroczy maksymalnej wartości siły tarcia statycznego $\vec{T}_p$ (Rys. 4.).



Rys. 4. Układ sił działających na pudełko w układzie książki. $\vec{F}_b = -m\vec{a}$ - siła bezwładności, $\vec{T}_p$ - siła tarcia działająca na pudełko.

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

Warunek spoczynku pudełka względem książki można zatem zapisać równaniem

$$F_b = T_p \Rightarrow ma = \mu_s mg \Rightarrow a = \mu_s g .$$

Oczywiście każde przyspieszenie o wartości mniejszej niż uzyskana także gwarantuje wspólne poruszanie się książki z pudełkiem.

Przykład 2

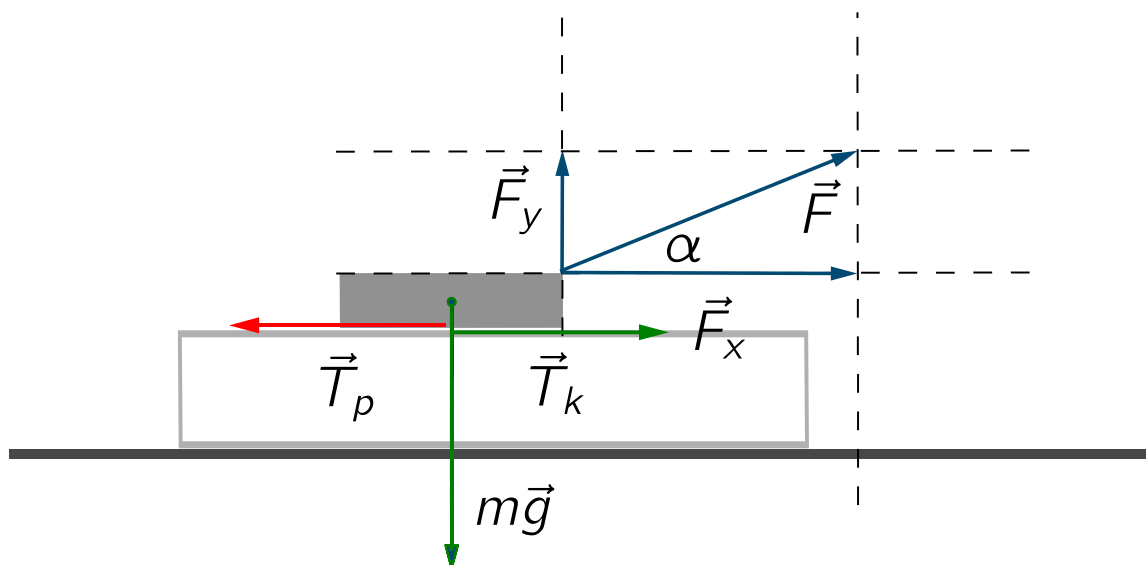
Problem będzie trudniejszy, jeżeli siłę przyłożymy do pudełka pod pewnym kątem do poziomu.

Zadanie:

Do pudełka o masie m , spoczywającego na książce o masie M , przyłożono siłę $\vec{F}$ skierowaną pod kątem (ostrym) α do poziomu. Jaka jest maksymalna wartość tej siły, przy której pudełko nie przesunęło się względem książki? Współczynnik tarcia między pudełkiem a książką wynosi μ . Zakładamy, że tarcie między książką a podłożem można zaniedbać.

Rozwiązanie:

Zaczynamy od narysowania sił działających w układzie i rozłożenia ich na składowe równoległe i prostopadłe do podłoża. Dla uproszczenia rysunku nie zaznaczamy siły nacisku pudełka na książkę i siły reakcji książki, a także ciężaru książki, jej nacisku na podłoże i siły jego reakcji.



Rys. 5. Siły działające na książkę i pudełko. $m\vec{g}$ - ciężar pudełka, $\vec{T}_p$ - siła tarcia, którą książka działa na pudełko; $\vec{F}$ - siła zewnętrzna, $\vec{T}_k$ - siła tarcia, którą pudełko działa na książkę.

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

Aby układ zachowywał się tak, jak zażądano w zadaniu, siła zewnętrzna musi spełniać warunek

$$F \sin \alpha < mg ,$$

tj. nie zachodzi unoszenie pudełka znad książki. Siła nacisku pudełka na książkę ma wtedy wartość

$$N = mg - F \sin \alpha ,$$

wobec tego wartość siły tarcia między pudełkiem a książką to

$$T = \mu N = \mu(mg - F \sin \alpha) .$$

Siły tarcia działające na każde z tych ciał są jednakowe co do wartości, $T_p = T_k = \mu N = \mu(mg - F_y)$, a wartości składowych pionowej i poziomej siły zewnętrznej dane są odpowiednio przez $F_x = F \cos \alpha$ i $F_y = F \sin \alpha$.

Jeśli ruch pudełka i książki jest taki sam, to w szczególności równe są ich przyspieszenia względem podłoża. Wobec tego możemy zapisać dla obu ciał równania ruchu, korzystając z II zasady dynamiki:

$$\begin{cases} Ma_x = \mu(mg - F_y) , \\ ma_x = F_x - \mu(mg - F_y) . \end{cases}$$

Po wstawieniu wartości składowych siły zewnętrznej otrzymamy

$$\begin{cases} Ma_x = \mu(mg - F \sin \alpha) , \\ ma_x = F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) . \end{cases}$$

Eliminując z tego układu równań poziomą składową przyspieszenia, tj. a_x , dostajemy jedno równanie. Sprawdź, że wyznaczenie z niego wartości siły daje

$$F = \frac{\mu mg}{\left(1 + \frac{m}{M}\right)^{-1} \cos \alpha + \mu \sin \alpha} .$$

Zauważmy, że jeśli użyta siła nie przekracza uzyskanej tu wielkości po prawej stronie nierówności, to automatycznie spełniony jest pierwszy warunek, od którego zaczęliśmy dyskusję rozwiązania:

$$F \sin \alpha < \frac{\mu mg \sin \alpha}{\left(1 + \frac{m}{M}\right)^{-1} \cos \alpha + \mu \sin \alpha} = \frac{mg}{1 + \mu^{-1} \left(1 + \frac{m}{M}\right)^{-1} \operatorname{ctg} \alpha} < mg ,$$

przy czym ostatnia nierówność wynika z pominięcia skomplikowanego dodatniego wyrazu w mianowniku (jest on na pewno dodatni) i pozostawieniu jedynek. Jeśli się odrobinę głębiej zastanowić, jest to wynik zgodny z intuicją. Skoro - przy zadanych masach przedmiotów, współczynniku tarcia i kącie nachylenia siły do poziomu - udało nam się wprowadzić oba przedmioty w ruch - to stąd wprost wynika, że górny przedmiot nie został uniesiony i przylega do dolnego.

Przykład 3

Jak widać z poprzednich zadań, tarcie powoduje również ruch ciał. Tarcie także umożliwia ruch po okręgu.

Zadanie:

Pozioma tarcza wiruje z częstotliwością f , tj. wykonuje f obrotów w ciągu sekundy, jeśli wielkość tę wyrazimy w Hz. W jakiej największej odległości od osi obrotu tarczy

można na niej położyć niewielką monetę, aby nie została wyrzucona z tarczy?
Współczynnik tarcia statycznego między monetą a tarczą wynosi μ .

Rozwiązanie:

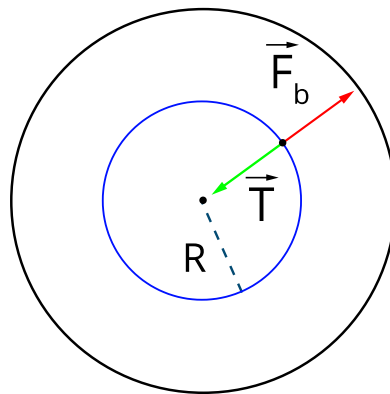
Zadanie rozwiążemy w układzie nieinercyjnym związanym z wirującą monetą. Na monetę będzie zatem działać siła bezwładności o wartości

$$F_b = ma,$$

gdzie a jest wartością przyspieszenia dośrodkowego monety,

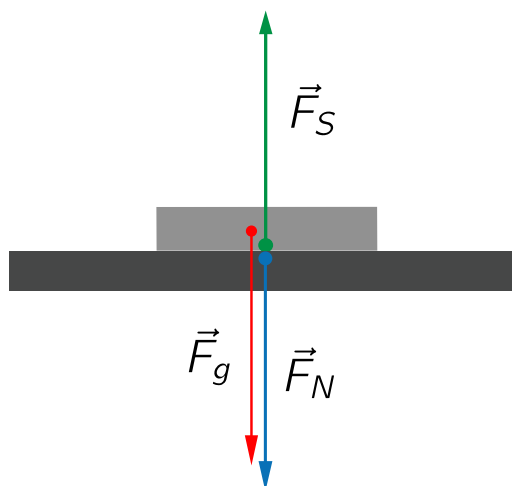
$$a = \frac{v^2}{r},$$

zaś R – promieniem okręgu, po którym porusza się moneta (Rys.6.).



Rys. 6a. Moneta wirująca na tarczy. Siła bezwładności, która "chce" spowodować przesunięcie monety i jej wyrzucenie z tarczy, jest – dopóki obroty są odpowiednio powolne, ew. moneta nie jest za daleko od osi obrotu – równoważona przez siłę tarcia.

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



$$F_S = F_N = F_g = mg$$

Rys. 6b. Moneta leżąca na tarczy - widok z boku. Nie zaznaczono sił działających w kierunku poziomym.

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

Równowagę monety opisuje równanie

$$T = F_b .$$

(1)

Przy maksymalnej (szukanej przez nas w zadaniu) odległości od osi obrotu siła tarcia statycznego osiągnie maksymalną wartość, czyli

$$T = F_b .$$

(2)

Wartość siły nacisku F_N jest w tym przypadku równa ciężarowi ciała, $F_N = mg$.

Siła bezwładności to siła odśrodkowa,

$$F_b = \frac{mv^2}{R} .$$

(3)

Prędkość wirującej monety zależy od częstotliwości obrotów zgodnie ze wzorem

$$v = 2\pi Rf ,$$

(4)

wobec tego

$$F_b = 4\pi^2 f^2 Rm .$$

(5)

Podstawiając do równania (1) za T (2) i za F_b (5), otrzymamy:

$$\mu mg = 4\pi^2 f^2 Rm \Rightarrow R = \frac{\mu g}{4\pi^2 f^2} .$$

Zauważmy, że im większa częstotliwość obrotów, tym mniejszy graniczny promień okręgu, po którym porusza się moneta tuż przed jeje „wyrzuceniem”. I im większy współczynnik tarcia, tym większy otrzymamy wynik. Podsumowując: dla promieni $r < R$ moneta porusza się wraz z tarczą.

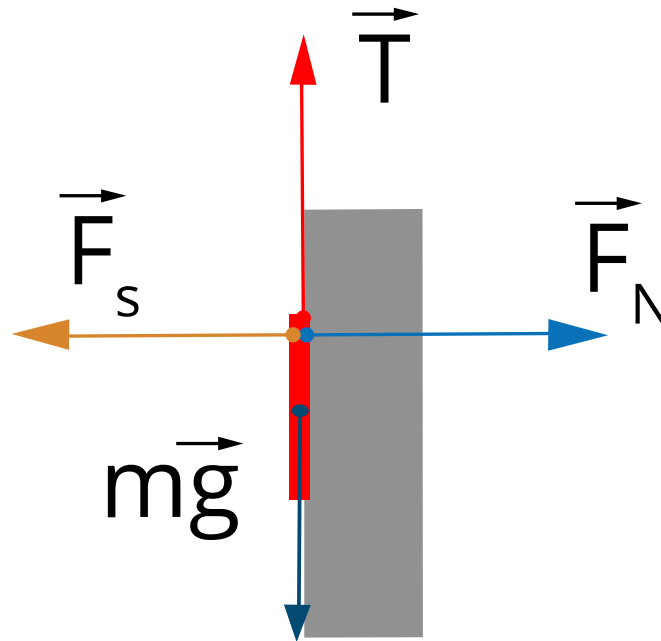
Przykład 4

Tarcie może też działać w pionie i równoważyć ciężar ciała. Tak się dzieje, gdy na przykład trzymamy coś w palcach lub ciągniemy linę w górę.

Zadanie

Obraz możemy przytrzymywać przy ścianie. Z jaką najmniejszą siłą należy go dociskać, aby nie spadł? Masa obrazu m , współczynnik tarcia o ścianę μ .

Rozwiązanie: Układ sił działających na obraz przedstawia Rys. 7.



Rys. 7. Układ sił działających na obraz przytrzymywany przy ścianie dzięki sile tarcia. $\vec{T}$ - siła tarcia, $m\vec{g}$ - ciężar obrazu, $\vec{F}_N$ - siła zewnętrzna dociskająca obraz do ściany, $\vec{F}_s$ - siła sprężystości (reakcji) ściany.

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

Obraz nie zsunie się, jeżeli siła tarcia zrównoważy ciężar ciała:

$$T = mg.$$

Maksymalna możliwa wartość siły tarcia jest proporcjonalna do nacisku zgodnie ze wzorem

$$T \leq T_{\max} = \mu F_N ,$$

Zatem $\mu F_N \geq mg$, skąd

$$F_N \geq \frac{mg}{\mu} .$$

Pytanie dodatkowe: Czy - jeśli obraz jest nieruchomy - zwiększenie siły nacisku spowoduje wzrost siły tarcia?

Odpowiedź: Nie, ponieważ siła tarcia statycznego „uaktywnia” się na tyle, aby zrównoważyć siłę próbującą przesuwać obraz w pionie – czyli ciężar ciała. Wartość siły tarcia pozostanie więc równa mg .

Przykład 5

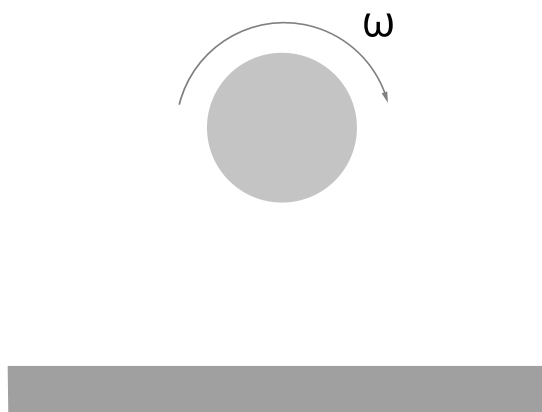
Tarcie odgrywa również rolę podczas toczenia się kół i trzeba się niekiedy dobrze zastanowić nad tym, jak jest zwrócone.

Zadanie

Koło o masie m i promieniu R rozpędzamy do prędkości kątowej ω i kładziemy na poziomej powierzchni stołu. Współczynnik tarcia koła o stół wynosi μ (Rys. 8.).

Wyznacz przyspieszenie liniowe i kątowe koła. Moment bezwładności koła to

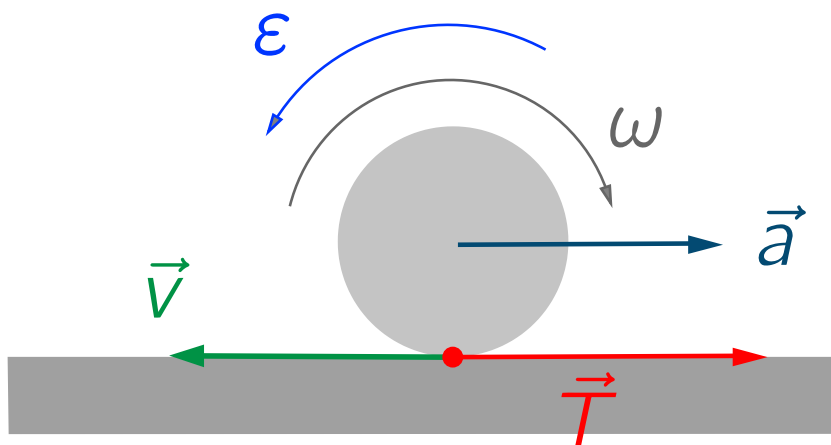
$$I = \frac{1}{2}mR^2.$$



Rys. 8. Koło obracające się z prędkością kątową ω .

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

Po postawieniu koła na stole, obwód koła będzie poruszał się względem stołu w lewą stronę (Rys. 9.). Siła tarcia, przeciwdziałając temu ruchowi, będzie powodować przyspieszenie (liniowe) koła oraz opóźnienie jego ruchu obrotowego.



Rys. 9. Prędkość obwodu koła względem podłoża $\vec{v}$ i działająca na koło siła tarcia $\vec{T}$, $\vec{a}$ – przyspieszenie liniowe środka koła, ϵ – wartość przyspieszenia kąowego koła.

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

Ponieważ powierzchnia koła ślizga się po stole, działające tarcie jest tarcie kinetycznym o wartości $T = \mu mg$.

Moment siły tarcia o wartości $M = RT$ będzie hamować ruch obrotowy. Przyspieszenie kąowe obliczymy, korzystając z II zasady dynamiki dla ruchu obrotowego: $\epsilon = \frac{M}{I}$, gdzie I to moment bezwładności koła.

Podstawiając za moment siły $M = RT$ i za moment bezwładności $I = \frac{1}{2}mR^2$, otrzymamy

$$\epsilon = \frac{2\mu g}{R}.$$

Siła tarcia, hamując jego ruch obrotowy, spowoduje, że środek masy koła będzie zwiększać swoją prędkość liniową względem stołu do chwili, gdy koło przestanie się ślizgać i zacznie toczyć się bez poślizgu. Wartość prędkości koła v_k będzie wówczas równa $\omega_k R$, gdzie ω_k to prędkość kąowa koła w chwili zaniku poślizgu. Wtedy przestaje działać [tarcie posuwiste](#).

Przyspieszenie koła otrzymamy z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego:

$$a = \frac{T}{m} = \mu g .$$

Słowniczek

tarcie posuwiste

(*ang.: sliding friction*) tarcie występujące na styku dwóch ciał stałych (jest tarcie zewnętrzne), gdy ciała przesuwają się względem siebie lub gdy spoczywają względem siebie i istnieje siła dążąca do ich wzajemnego przemieszczenia.

Film samouczek

Tarcie w zadaniach

Obejrzyj film i zmierz się z poleceniami poniżej.

Polecenie 1

Rozwiąż omówione w filmie zadanie dla $v_0 = 3,2 \text{ m/s}$ oraz $\mu = 0,2$. Przyjmij $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Polecenie 2

Ile wynosi droga przebyta przez ciało przy danych z Polecenia 1?

Polecenie 3



Wykaż, że dla dowolnych liczb A oraz B istnieją takie liczby C, u , że $A \sin x + B \cos x = C \cos(x - u)$ jest prawdziwe dla każdego x . (Uwaga: wielkość u jest określona z dokładnością do 2π .)

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Siła tarcia kinetycznego zależy od:

- ☐ siły, z jaką są dociskane powierzchnie
- ☐ wielkości stykających się powierzchni
- ☐ prędkości, z jaką są przesuwane względem siebie powierzchnie
- ☐ rodzaju stykających się powierzchni

Ćwiczenie 2



Na poziomym podłożu stoi skrzynia. Współczynnik tarcia statycznego między skrzynią a podłożem wynosi 0,5, a kinetycznego 0,4. Jeżeli na skrzynię zacznie działać stopniowo rosnąca siła, aż do rozpoczęcia ruchu skrzyni i potem dalej będzie do niej przyłożona, to skrzynia będzie poruszać się:

- ☐ ruchem jednostajnie opóźnionym
- ☐ ruchem jednostajnym prostoliniowym
- ☐ ruchem niejednostajnie przyspieszonym
- ☐ ruchem jednostajnie przyspieszonym

Ćwiczenie 3



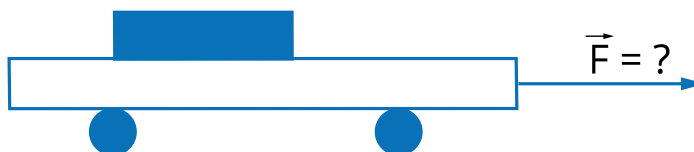
Gdy chodzimy, to działające tarcie między butami i podłożem jest:

- ☐ tarciem kinetycznym i jest zwrócone zgodnie z prędkością
- ☐ tarciem kinetycznym i jest zwrócone przeciwnie do prędkości
- ☐ tarciem statycznym i jest zwrócone przeciwnie do prędkości
- ☐ tarciem statycznym i jest zwrócone zgodnie z prędkością

Ćwiczenie 4



Na wózku spoczywa pudełko. Współczynnik tarcia statycznego między pudełkiem a wózkiem wynosi $\mu_s = 0,4$, masa pudełka $m_p = 0,4 \text{ kg}$, masa wózka $m_w = 0,5 \text{ kg}$. Jaką maksymalną siłą można ciągnąć wózek, aby pudełko z niego nie spadło? Tarcie między wózkiem a podłożem można pominąć. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



Rys. Pudełko spoczywające na wózku.

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

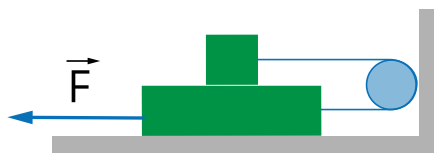
F = N

Ćwiczenie 5



W odległości 50 cm od osi wirującej, płaskiej, poziomej tarczy położono mały kawałek kredy. Z jaką największą częstotliwością może wirować tarcza, aby kreda z niej nie spadła? Współczynnik tarcia kredy o tarczę wynosi 0,6. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

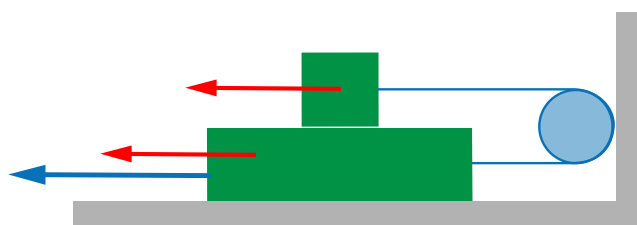
$$f \approx \boxed{} \frac{1}{s}$$



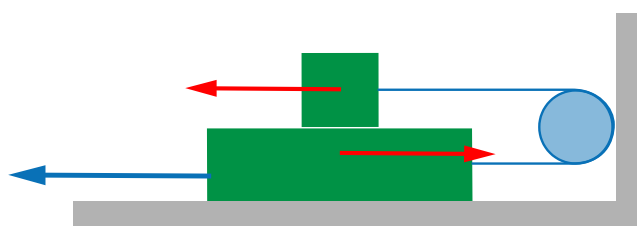
Rys. Pudełka połączone linką przerzuconą przez bloczek.

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

Dla przedstawionej sytuacji siły tarcia (zaznaczone czerwonymi strzałkami) działające na pudełka prawidłowo przedstawia rysunek

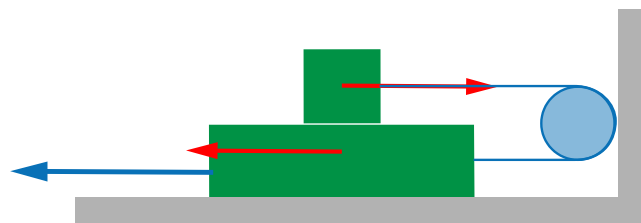


a)

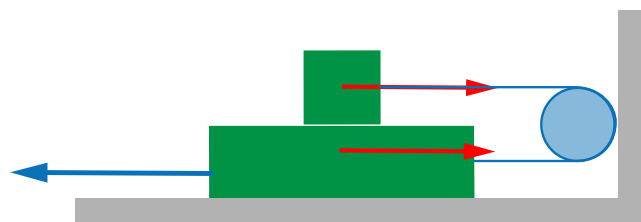


b)





c)



d)

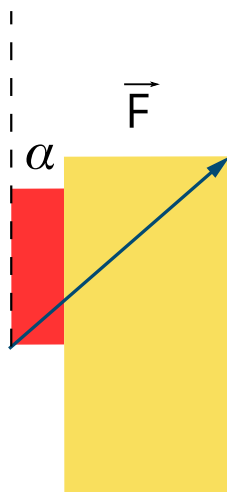


Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 7



Podczas opuszczania skrzynki można ją dociskać do pionowej ściany. Po pionowej ścianie chcemy opuścić skrzynkę o masie 4kg, działając na skrzynkę siłą skierowaną ukośnie w górę pod kątem 30° do pionu. Współczynnik tarcia skrzynki o ścianę wynosi $\mu = 0,5$. Jaka była wartość siły $\vec{F}$, jeżeli skrzynka zsuwała się z przyspieszeniem $a = 2 \text{ m/s}^2$? Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.



Rys. Skrzynia opuszczana przy ścianie dzięki działaniu siły F .

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

$F =$ N

Ćwiczenie 8



Książka ma masę $m = 0,5 \text{ kg}$, współczynnik tarcia statycznego między palcami a książką wynosi $\mu = 0,5$. Jeżeli chcemy utrzymać książkę między kciukiem i palcem wskazującym, to z jaką minimalną siłą palce muszą naciskać na książkę? Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Najmniejsza siła nacisku wynosi N.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zależność oporu właściwego od ruchliwości nośników ładunku
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe II. Mechanika. Uczeń: 17) opisuje opory ruchu (opory ośrodka, tarcie statyczne, tarcie kinetyczne); rozróżnia współczynniki tarcia kinetycznego oraz tarcia statycznego; omawia rolę tarcia na wybranych przykładach.
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. tłumaczy, jak opisujemy siłę tarcia, 2. podaje przykłady opisu siły tarcia, 3. wyjaśnia, kiedy siła tarcia może umożliwiać ruch ciał, 4. analizuje i interpretuje przykłady rozwiązań problemów, w których występuje siła tarcia.

Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education -nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	ćwiczenia przedmiotowe
Formy zajęć:	praca w grupach
Środki dydaktyczne:	zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	rzutnik multimedialny
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel zadaje pytania: 1. Co wiecie o sile tarcia? Oczekiwana odpowiedź: tarcie jest oporem ruchu przeszkadzającym przesuwaniu się ciał względem siebie. Można je podzielić na tarcie statyczne i kinetyczne. 2. Od czego zależy siła tarcia? Oczekiwana odpowiedź: siła tarcia zależy od rodzaju powierzchni i siły, z jaką ciała są dociskane.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel przypomina, w jaki sposób oblicza się siłę nacisku. Następnie dzieli klasę na grupy. Jeden zespół zajmuje się tarciem statycznym, drugi kinetycznym. Zespoły poszukują właściwych swojej grupie współczynników tarcia dla następujących materiałów: drewno na drewnie, metal na drewnie, stal na stali, buty na drewnie, buty na lodzie. Przedstawiciele porównują zebrane dane, co prowadzi ich do wniosku, że współczynniki tarcia kinetycznego są niższe od ich statycznych odpowiedników. Wtedy nauczyciel tłumaczy, czym jest tarcie w skali atomowej. Zwraca uwagę, że gdy dwie szorstkie powierzchnie są w kontakcie, efektywny obszar styku jest niewielką częścią całego obszaru, ponieważ stykają się tylko wysokie punkty. Gdy jednak wywierana jest większa siła normalna, efektywna powierzchnia styku wzrasta, co z kolei prowadzi do wniosku, że wartość siły tarcia jest proporcjonalna do tego nacisku. Należy zwrócić przy tym uwagę, że makroskopowa powierzchnia styku ciał pozostaje stała, i że od tej wielkości siła tarcia nie zależy.

Taka obserwacja w skali atomowej pozwala wyjaśnić znacznie więcej niż tylko proste cechy tarcia. Na przykład można w ten sposób analizować mechanizm powstawania ciepła. Innymi słowy, dlaczego powierzchnie stają się cieplejsze, gdy są potarte. Zasadniczo atomy są połączone ze sobą, tworząc sieci. Kiedy powierzchnie o siebie pocierają, atomy powierzchniowe przylegają do siebie i wywołują drgania sieci – tworząc fale dźwiękowe, które penetrują materiał. Fale dźwiękowe zanikają wraz z odległością, a ich energia jest przekształcana w ciepło. Ponadto między atomami i cząsteczkami na powierzchniach trących mogą zachodzić reakcje chemiczne związane z tzw. zużyciem ciernym.

Teraz uczniowie mogą się zastanowić nad problemem doboru materiału do endoprotez, stosowanych, gdy stawy w naszym ciele ulegają uszkodzeniu, i wykonanych z metalu, plastiku bądź ceramiki. Czy materiał takiej części zamiennej powinien mieć niski, czy wysoki współczynnik tarcia? (Końce kości w stawie są przykryte chrząstkami, co zapewnia gładką, niemal szklaną powierzchnię. Stawy wytwarzają też płyn – maź stawową, która redukuje tarcie i zużycie, więc współczynnik tarcia materiału endoprotezy powinien być możliwie niski).

Faza podsumowująca:

Rozwiązanie zadań 1, 2, 3, 6, 9.

Praca domowa:

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania 4, 5, 7 i 8.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Multimedium może być wykorzystane przy powtarzaniu wiadomości o tarciu i przy realizacji innych tematów związanych z tarciem.

