

Fizyka 1B

Wykład 3

dr Piotr Sitarek, prof. uczelni

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wydział Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej

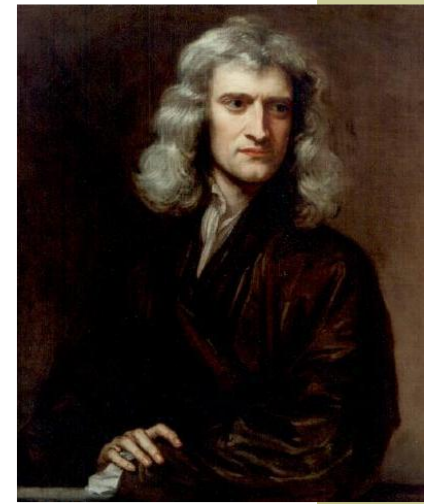
Dynamika

- Pojęcie siły
- Pierwsza zasada dynamiki Newtona
- Druga zasada dynamiki Newtona
- Masa i ciężar ciała
- Trzecia zasada dynamiki Newtona
- Rodzaje sił
- Rozkłady sił działających na ciała

Dynamika

■ Pojęcie siły

- Kinematyka, zajmująca się matematycznym opisem ruchu, jest bardzo ważnym działem fizyki. Jednakże obejmuje ona wyłącznie opis ruchu ciała z uwzględnieniem funkcji położenia, prędkości i przyspieszenia.
- Dynamika z kolei jest działem fizyki pozwalającym na pełny opis ruchu ciała, rozważa przyczyny tego ruchu i analizuje siły działające na ciało w danym układzie.
- Do najważniejszych praw z zakresu dynamiki należą trzy zasady dynamiki, sformułowane przez Isaaca Newtona (1642–1727). Zasady te stanowią doskonały przykład uniwersalności i prostoty praw, które panują w przyrodzie i znajdują zastosowanie we wszystkich przypadkach ruchu, zarówno na Ziemi, jak i w kosmosie.



Dynamika

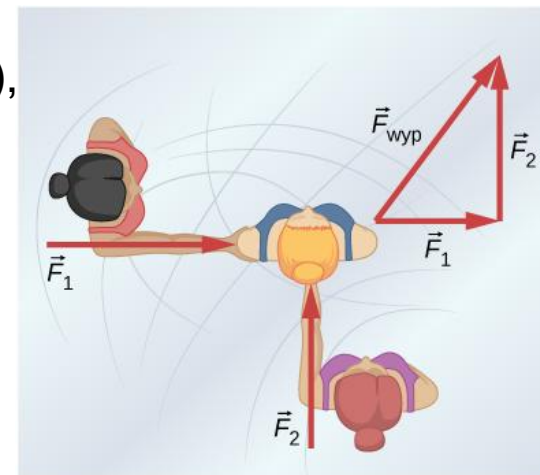
■ Pojęcie siły

- okres, w którym Newton opracował zasady dynamiki, uznawany jest za początek nowożytnej nauki,
- prawa newtonowskie pozwalają tylko na opis ruchu ciał poruszających się z prędkościami znacznie mniejszymi od prędkości światła, o rozmiarach znacząco większych niż rząd wielkości rozmiarów molekuł,
- ograniczenia te determinują zakres stosowalności praw mechaniki klasycznej, podanych przez Newtona,
- na początku XX wieku Albert Einstein (1879–1955) sformułował postulaty szczególnej teorii względności oraz, z udziałem wielu innych wielkich uczonych, prawa mechaniki kwantowej,
- mechanika kwantowa pozwala na analizę układów bez ograniczeń znanych z klasycznej mechaniki newtonowskiej.

Dynamika

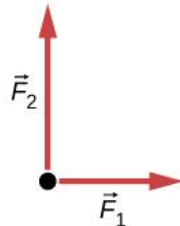
■ Pojęcie siły

- dynamika pozwala na opis sił i, w konsekwencji, przyczyn ruchu ciał w przyrodzie,
- wykonujemy pewną czynność (działanie), którą można opisać podając wartość oraz kierunek „naszego działania”
- mamy więc do czynienia z wektorem,
- możemy więc zdefiniować siłę jako ilościowy opis działania na obiekt,
- siła opisywana jest jako wektor lub jako wielokrotność pewnej siły jednostkowej,
- gdy działających sił jest więcej, to całkowitą siłę będziemy nazywać siłą wypadkową.



(a)

Rozkład sił działających na trzeciego łyżwiarza



(b)

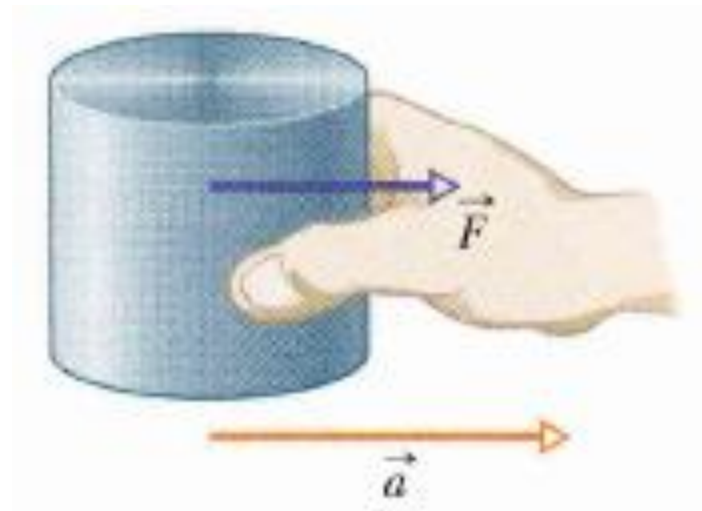
Dynamika

■ Siła jako wektor

- siła jest wielkością wektorową – posiada wartość, kierunek i zwrot,

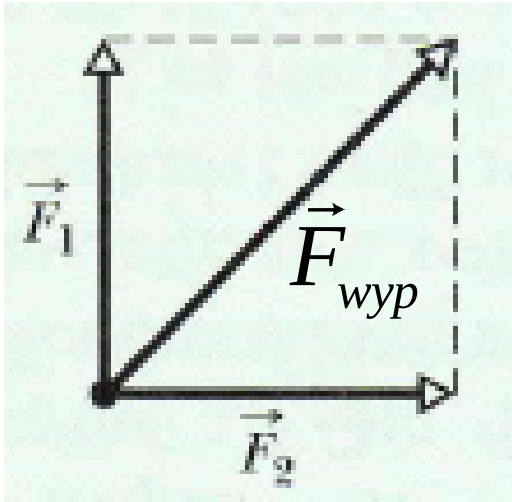
$$\vec{F} = a\hat{i} + b\hat{j} + c\hat{k}$$

- jednostką siły w układzie SI jest niuton, oznaczany jako N,
- jeśli weźmiemy ciało o masie 1 kg i działając pewną siłą spowodujemy, że będzie się poruszać z przyspieszeniem 1 m/s² (w czasie pierwszej s ruchu przebędzie 1 m), to możemy powiedzieć, że działamy na nie siłą 1 niutona (1 N).



Zasady dynamiki Newtona

Siła wypadkowa



Siła wypadkowa – siła, której działanie na ciało jest takie samo jak łączne działanie sił składowych.

↖ **zasada superpozycji sił**

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

Zasady dynamiki Newtona

I zasada dynamiki Newtona

Jeśli w pewnym układzie odniesienia ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, to na ciało to nie działają żadne siły lub wszystkie siły się równoważą.

Taki układ odniesienia nazywamy inercjalnym.

- pierwsza zasada dynamiki Newtona mówi o zachowaniu ruchu ciał,
- zachowanie „stałej prędkości” oznacza, że obiekt utrzymuje stały charakter swojego ruchu, ponieważ nie ulega zmianie ani wartość, ani kierunek jego prędkości.

Zasady dynamiki Newtona

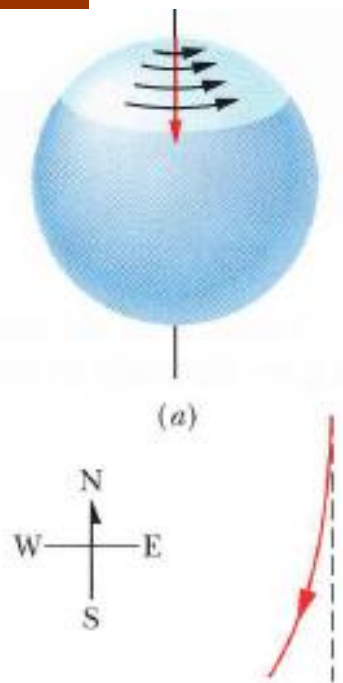
Inercjalne układy odniesienia

I zasada dynamiki nie jest spełniona we wszystkich układach odniesienia,

Inercjalny układ odniesienia jest to taki układ, w którym spełnione są zasady dynamiki Newtona.

Układ odniesienia poruszający się ze stałą prędkością względem pewnego układu inercjalnego jest również układem inercjalnym.

Układ odniesienia poruszający się z przyspieszeniem względem dowolnego inercjalnego układu odniesienia nie jest inercjalny.



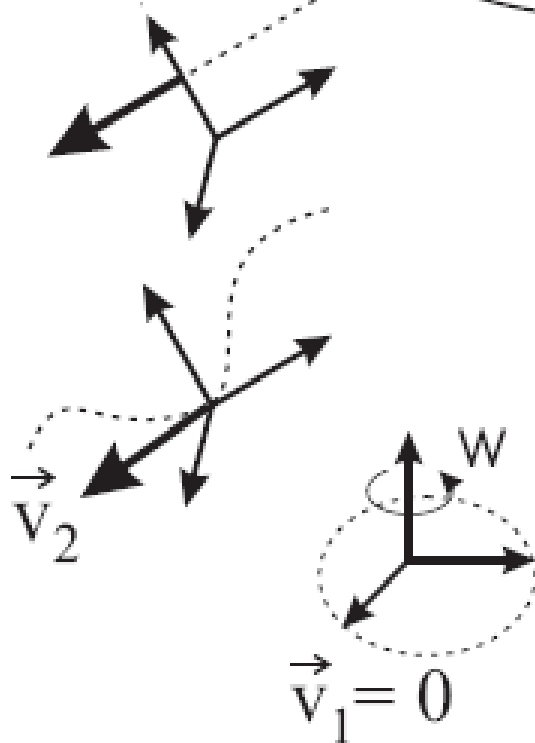
Zwykle układ odniesienia związany z Ziemią będziemy uważać za inercjalny.

Zasady dynamiki Newtona

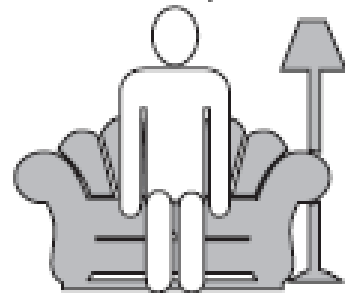
Inercjalne i nieinercjalne układy odniesienia

Układy nieinercjalne

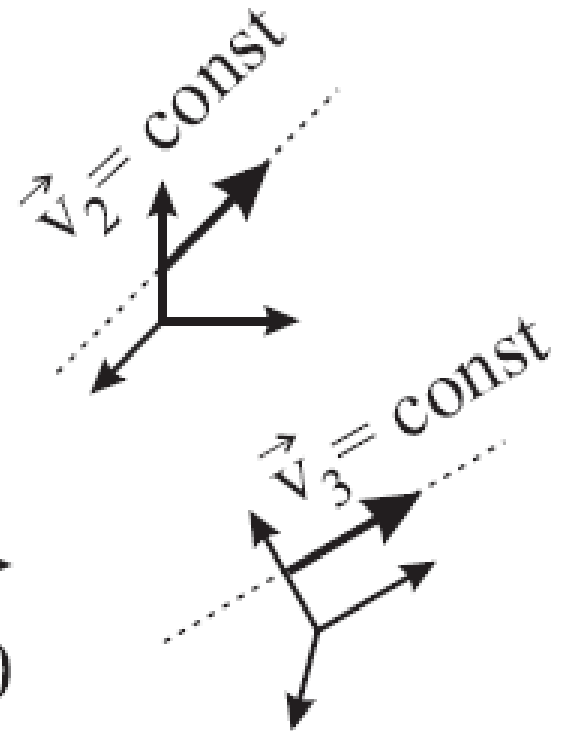
$$\vec{v}_3 \neq \text{const}$$



Jestem w układzie inercyjnym. Po mojej lewej stronie odkładam inne układy inercjalne a po prawej nieinercjalne.



Układy inercjalne



Zasady dynamiki Newtona

I zasada dynamiki Newtona

Jeśli wypadkowa sił działających na ciało jest równa zero, to nie może zmienić się jego prędkość, czyli nie może ono przyspieszyć.

$$\vec{v} = \text{const.}, \text{ gdy } \vec{F}_{\text{wyp}} = \vec{0} \text{ N}$$

$$v = 0$$



$$F_{\text{wyp}} = 0$$

(a)

$$v = 50 \text{ km/h}$$



$$F_{\text{wyp}} = ?$$

(b)



Zasady dynamiki Newtona

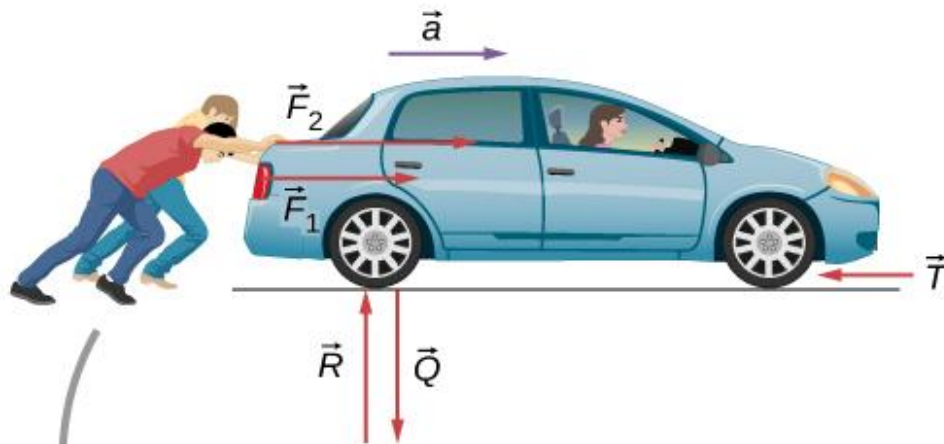
II zasada dynamiki Newtona

Przyspieszenie ciała jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej, ma również ten sam kierunek co siła, natomiast jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

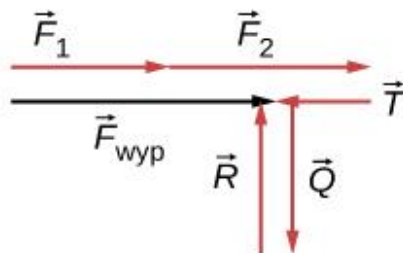
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{wyp}}}{m}$$

Zasady dynamiki Newtona

II zasada dynamiki Newtona



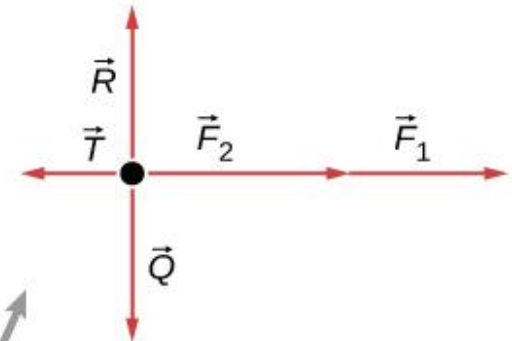
(a)



(b)

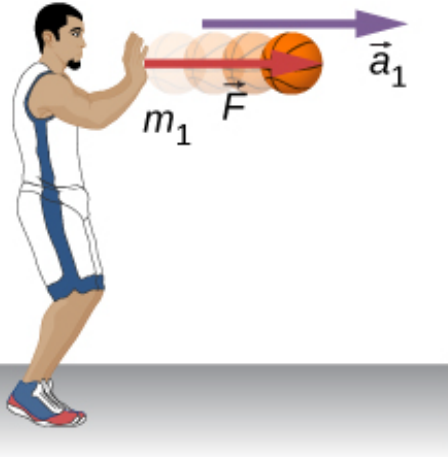
Wszystkie siły działające na samochód skutkują powstaniem określonej siły wypadkowej, $\vec{F}_{wyp}$.

rozkład sił działających na samochód



Zasady dynamiki Newtona

II zasada dynamiki Newtona

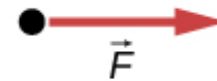
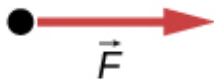


(a)



(b)

Siła działająca na każde ciało jest taka sama.



(c)

Zasady dynamiki Newtona

II zasada dynamiki Newtona

Siła wypadkowa działająca na ciało jest równa iloczynowi masy tego ciała i jego przyspieszenia.

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = m \vec{a}$$

$$F_{\text{wyp},x} = m a_x$$

$$F_{\text{wyp},y} = m a_y \quad \text{lub}$$

$$F_{\text{wyp},z} = m a_z$$

$$a_x = \frac{1}{m} F_{\text{wyp},x}$$

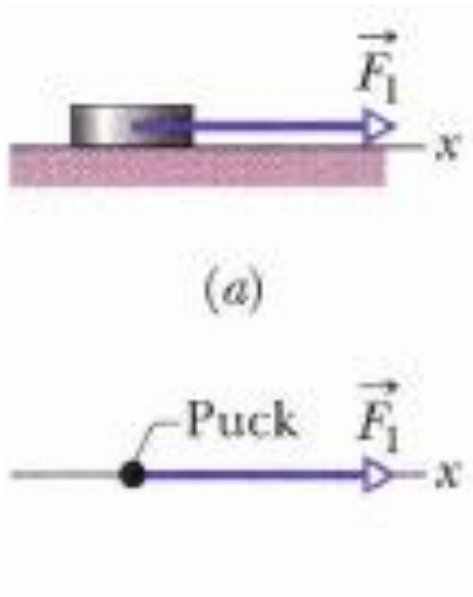
$$a_y = \frac{1}{m} F_{\text{wyp},y}$$

$$a_z = \frac{1}{m} F_{\text{wyp},z}$$

Np. równania ruchu

Zasady dynamiki Newtona

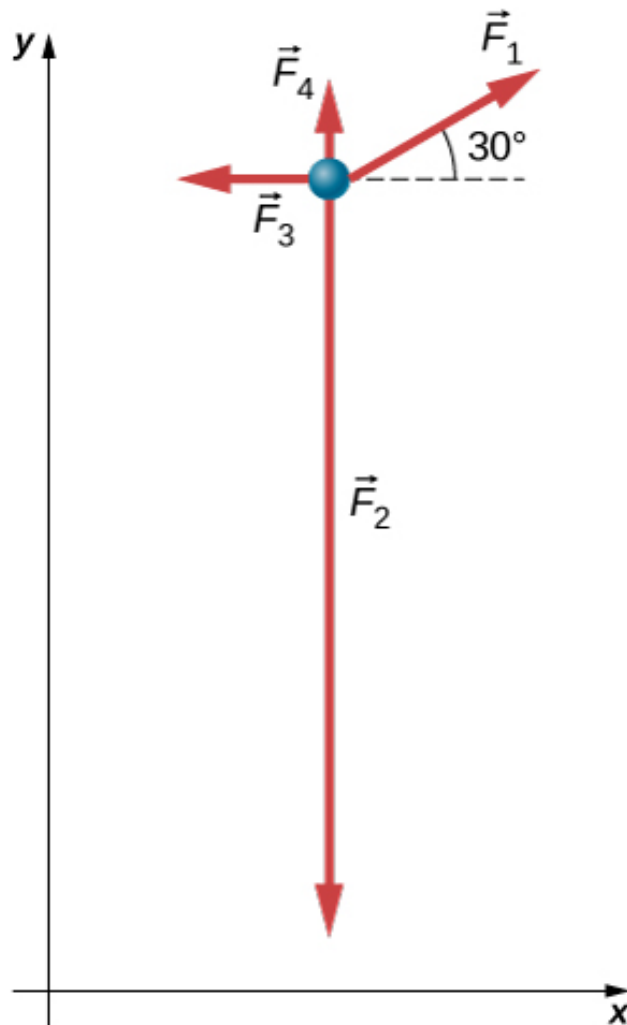
II zasada dynamiki Newtona, przykłady



$$a_x = \frac{F_1}{m}$$

Zasady dynamiki Newtona

II zasada dynamiki Newtona, przykłady



$$F_1 = 10,0 \text{ N}, \quad F_2 = 40,0 \text{ N}, \quad F_3 = 5,0 \text{ N}, \quad F_4 = 2,0 \text{ N}$$

$$a = ?$$

Zasady dynamiki Newtona

Drugie prawo Newtona a pęd ciała

- pęd ciała został opisany przez Newtona jako pewien „parametr ilościowy ruchu”, czyli relacja łącząca prędkość obiektu i jego masę:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = m\vec{a} = m \frac{d(\vec{v})}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- czyli szybkość zmian pędu ciała równa jest sile na nie działającej.

Zasady dynamiki Newtona

Masa i ciężar ciała

- masa i ciężar często używane są zamiennie podczas codziennej rozmowy,
- **ciężar** to efekt przyciągania ciała przez kulę ziemską. Wartość tego oddziaływania zależy od odległości od środka Ziemi (wektor),
- **masa**, w przeciwieństwie do ciężaru, nie zmienia się w zależności od położenia w polu grawitacyjnym. Masa obiektu jest taka sama na Ziemi, na orbicie ziemskiej lub na powierzchni Księżyca (skalar),
- masa to pewna własność danego ciała, mówiąca o ilości materii w nim zawartej,
- ilość materii zawartej w danym ciele określona jest przez liczbę tworzących je atomów i cząsteczek,
- ponieważ ilość materii w danym ciele jest stała, w **fizyce newtonowskiej** masa jest parametrem stałym. Nie zmienia się więc reakcja ciała na przyłożoną siłę zewnętrzną.

Zasady dynamiki Newtona

Ciężar ciała

- Siła grawitacji działająca na daną masę to jej ciężar:

$$\vec{Q} = m\vec{g}$$

- gdy przyjmiemy, że $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ na powierzchni Ziemi, to ciężar ciała o masie 1 kg wynosi 9,8 N

$$Q = mg = (1,00 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 9,80 \text{ N}$$

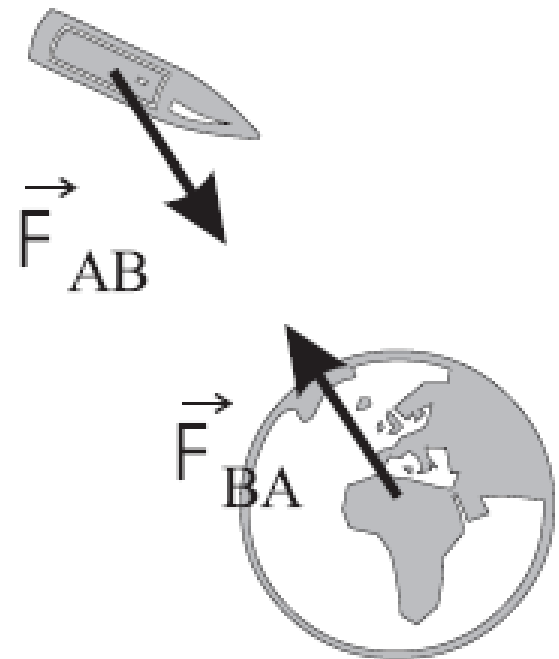
Zasady dynamiki Newtona

III zasada dynamiki Newtona

Gdy dwa ciała oddziałują ze sobą siły, jakimi działają one na siebie mają taką samą wartość bezwzględną i przeciwne kierunki.

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Planeta przyciąga rakietę, ale też rakietę przyciąga planetę. Tym niemniej planeta się nie porusza, gdyż ma tak dużą masę M , że przyspieszenie $\vec{a} = \frac{\vec{F}_{BA}}{M}$ będzie znikomo małe.



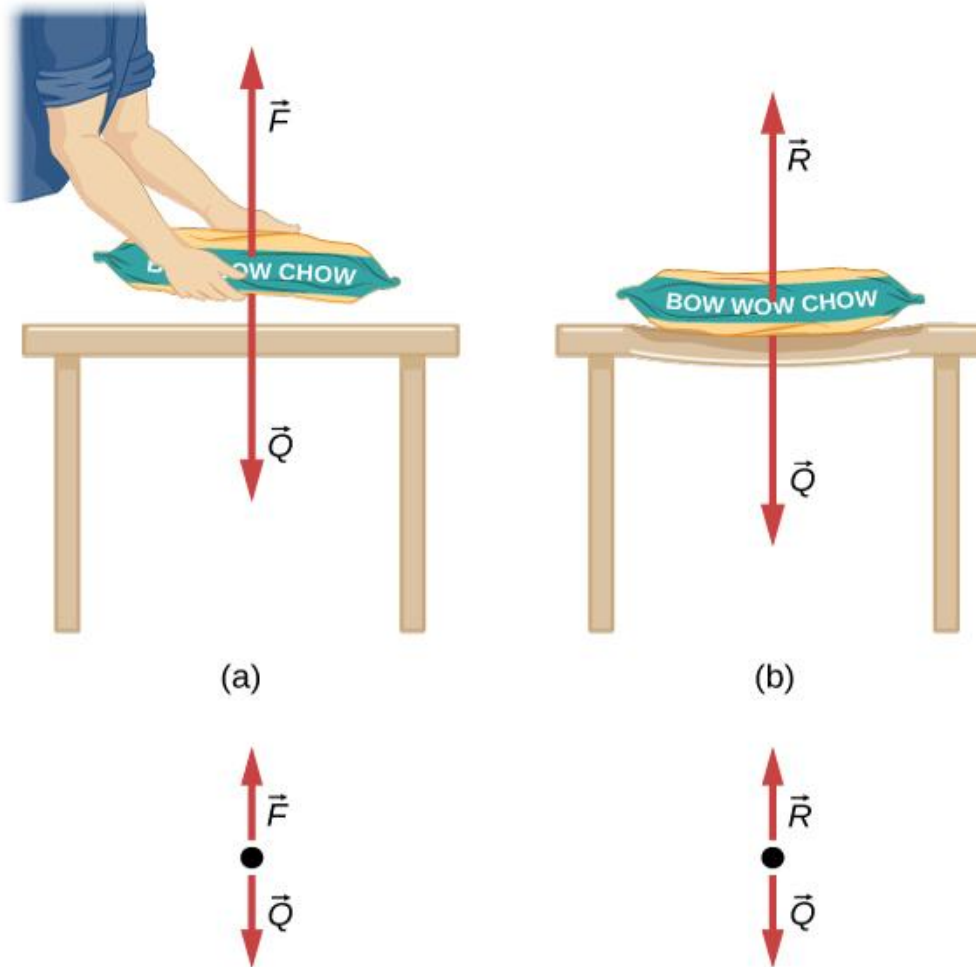
Zasady dynamiki Newtona

III zasada dynamiki Newtona



Zasady dynamiki Newtona

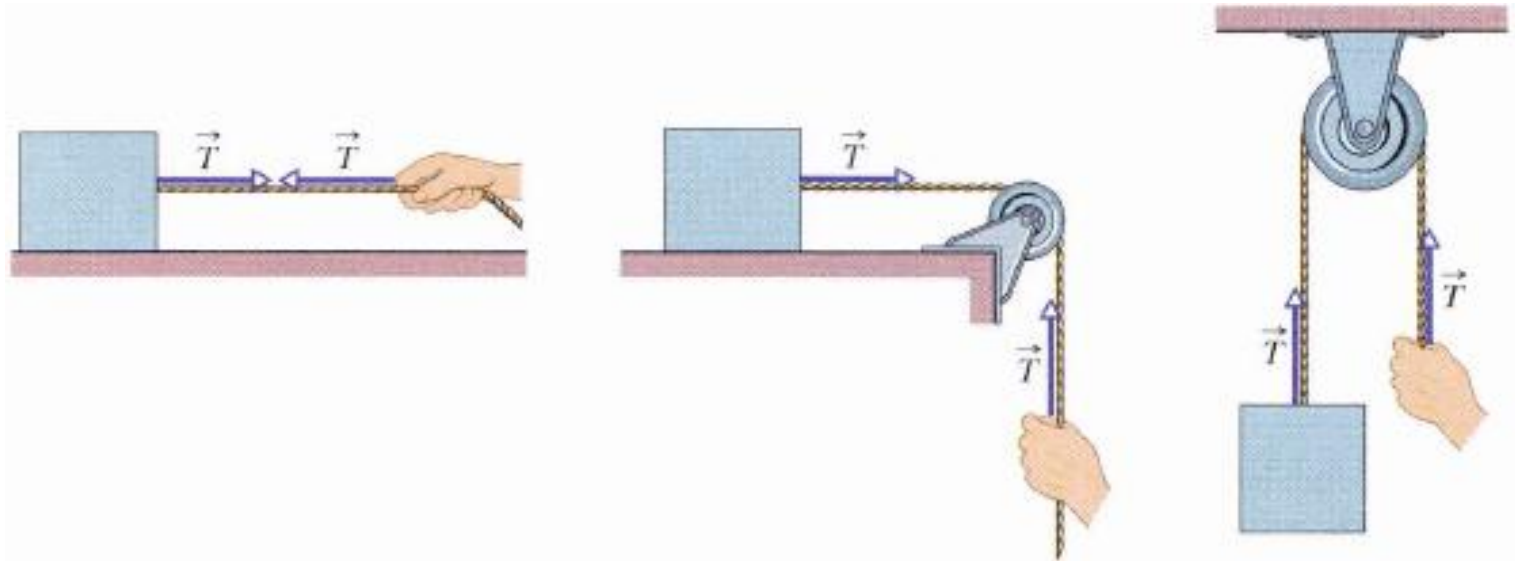
III zasada dynamiki Newtona



Rozkład sił działających na worek z karmą

Rodzaje sił

Naprężenie



Lina (nić) jest nieważka (pozbawiona masy) i nierozciągliwa.

Rodzaje sił

Siła normalna (siła reakcji podłoża)

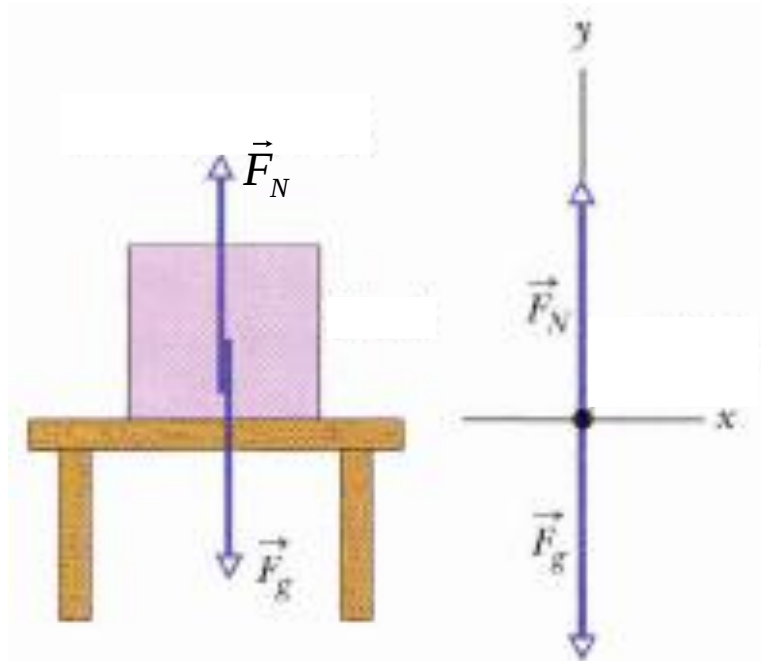
Gdy ciało naciska na podłoże, podłoże naciska na ciało siłą prostopadłą do powierzchni nacisku.

$$F_N - F_g = ma_y$$

$$F_N = m(g + a_y)$$

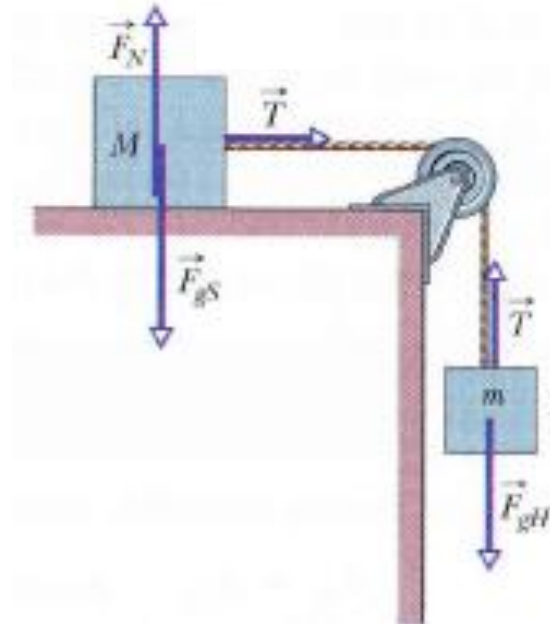
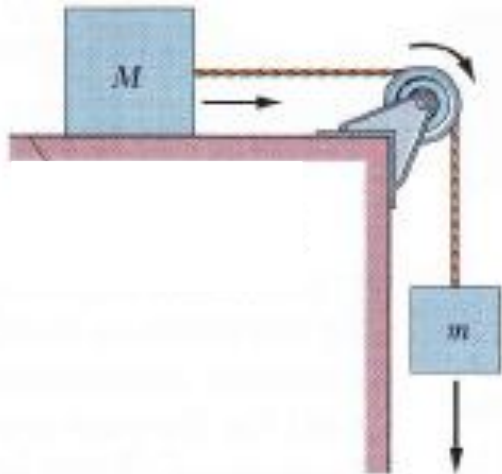
gdy ciało się nie porusza ($a_y=0$), wtedy

$$F_N = mg$$



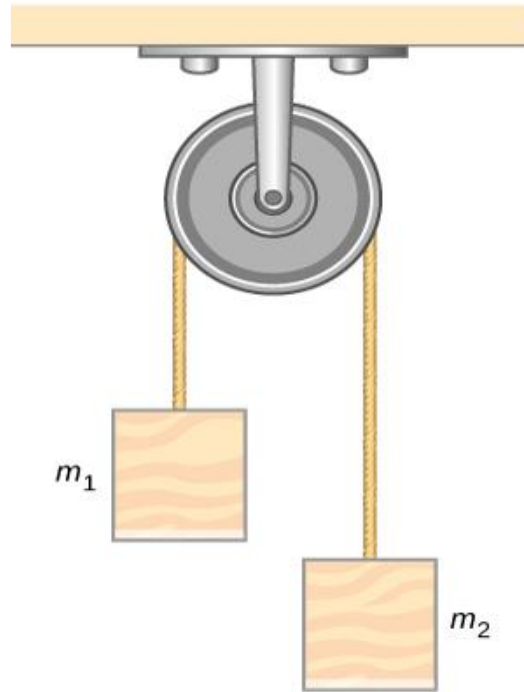
Rodzaje sił

Przykłady



Rodzaje sił

Przykłady



$$\sum F_y = N - m_1 g = m_1 a \qquad \sum F_y = N - m_2 g = -m_2 a$$

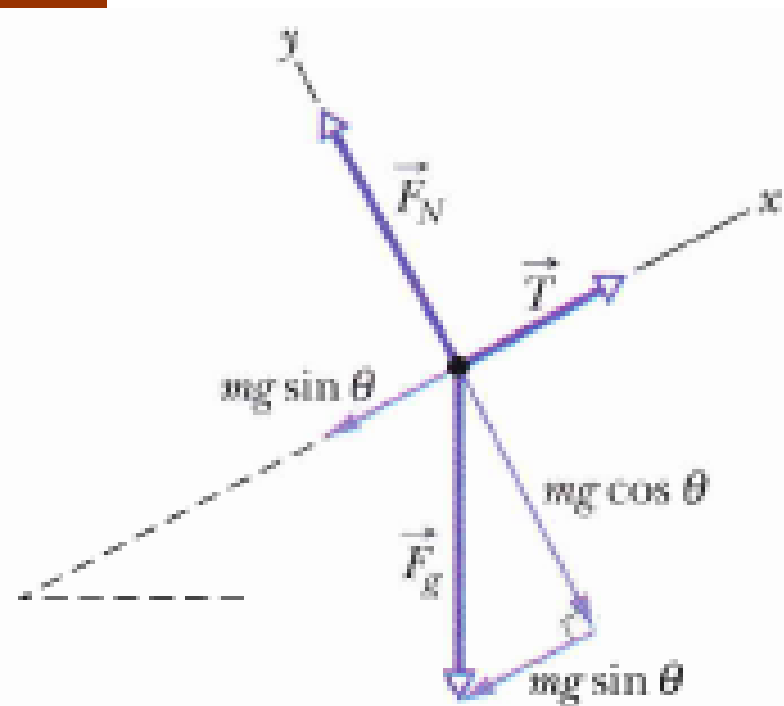
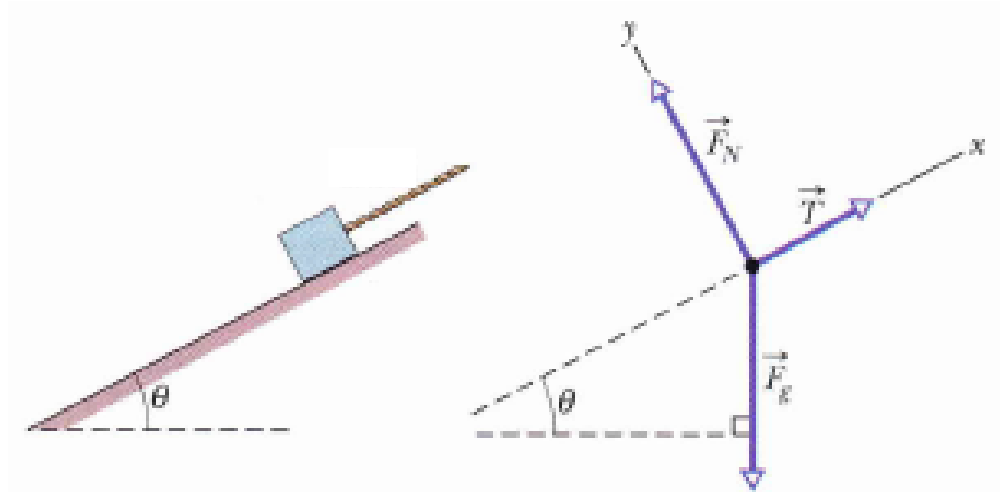
$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}g$$

$$N = m_1(g + a)$$

Rodzaje sił

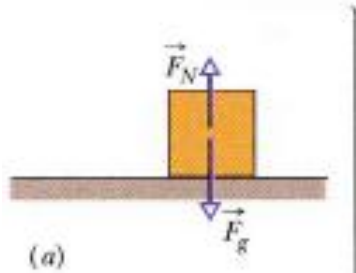
Przykłady



$$T - mg \sin \theta = ma$$

Rodzaje sił

Siła tarcia



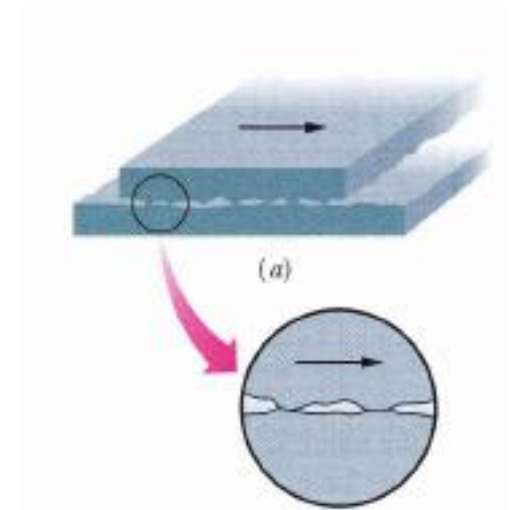
Współczynnik tarcia:

- statycznego, μ_s
- kinetycznego, μ_k

(b)

ciało
nieruchome

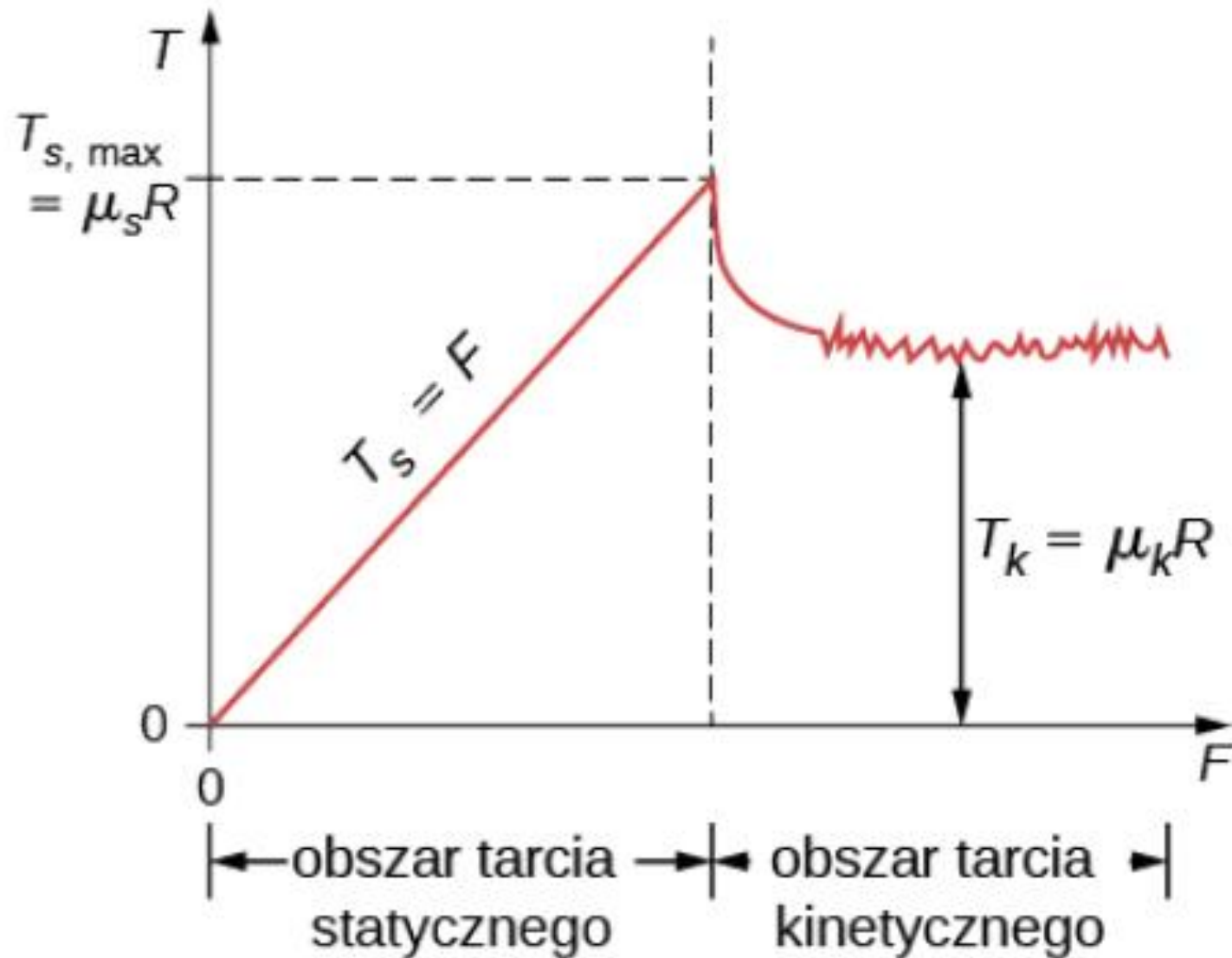
(c)



Rodzaje sił

Siła tarcia

$$\mu_k \leq \mu_s$$



Rodzaje sił

Siła tarcia

Przykładowy układ	Współczynnik tarcia statycznego μ_s	Współczynnik tarcia kinetycznego μ_k
Guma na suchym betonie	1,0	0,7
Guma na mokrym betonie	0,5-0,7	0,3-0,5
Drewno na drewnie	0,5	0,3
Woskowane drewno na mokrym śniegu	0,14	0,1
Metal na drewnie	0,5	0,3
Stal na stali (sucha)	0,6	0,3
Stal na stali (naoliwiona)	0,05	0,03
Stal na teflonie	0,04	0,04
Kość nasmarowana mazią stawową	0,016	0,015
Buty na drewnie	0,9	0,7

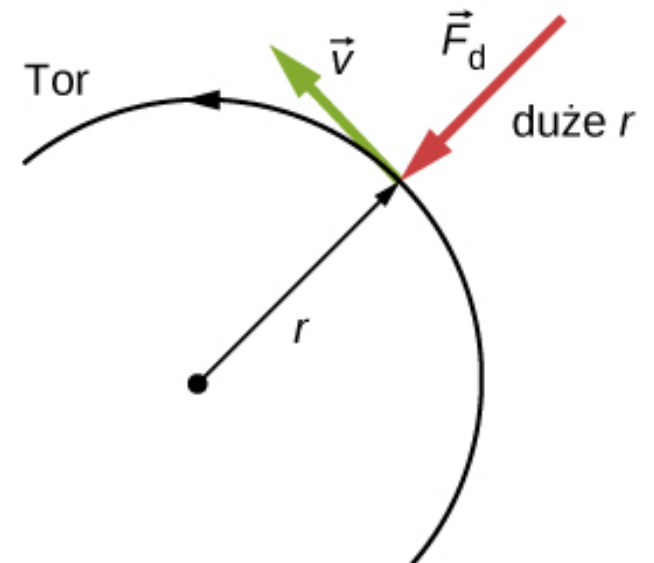
Rodzaje sił

Siła dośrodkowa

$$a_d = \frac{v^2}{r} \quad a_d = r\omega^2$$

$$F_d = ma_d$$

$$F_d = m\frac{v^2}{r}; \quad F_d = mr\omega^2$$



Rodzaje sił

Siła oporu

$$F_{\text{op}} = \frac{1}{2} C \rho S v^2$$

gdzie C jest współczynnikiem oporu, S jest przekrojem poprzecznym ciała, zaś ρ jest gęstością płynu.

Obiekt	C
Płat aerodynamiczny	0,05
Toyota Camry	0,28
Ford Focus	0,32
Honda Civic	0,36
Ferrari Testarossa	0,37
Dodge Ram Pickup	0,43
Sfera	0,45
Hummer H2 SUV	0,64
Spadochroniarz (spadający stopami do dołu)	0,70
Rower	0,90



Rodzaje sił

Siła oporu

Prędkość graniczna

$$F_{\text{wyp}} = mg - F_{\text{op}} = ma = 0$$

$$v_{\text{gr}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho CS}}$$

Przyjmijmy, że gęstość powietrza jest równa $\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$. Spadochroniarz o masie 75 kg spadający głową w dół ma średni przekrój poprzeczny równy $S = 0,18 \text{ m}^2$, zaś współczynnik oporu jest równy $C = 0,70$. Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy prędkość graniczną spadku skoczka spadochronowego:

$$v_{\text{gr}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 75 \text{ kg} \cdot 9,80 \text{ m/s}^2}{1,21 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,70 \cdot 0,18 \text{ m}^2}} = 98 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 350 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Rodzaje sił

Przykłady

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{cz}} \text{ i } \vec{F}_{\text{wag}}$$

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = \vec{F}_{\text{wag}} + \vec{Q}_{\text{cz}}$$

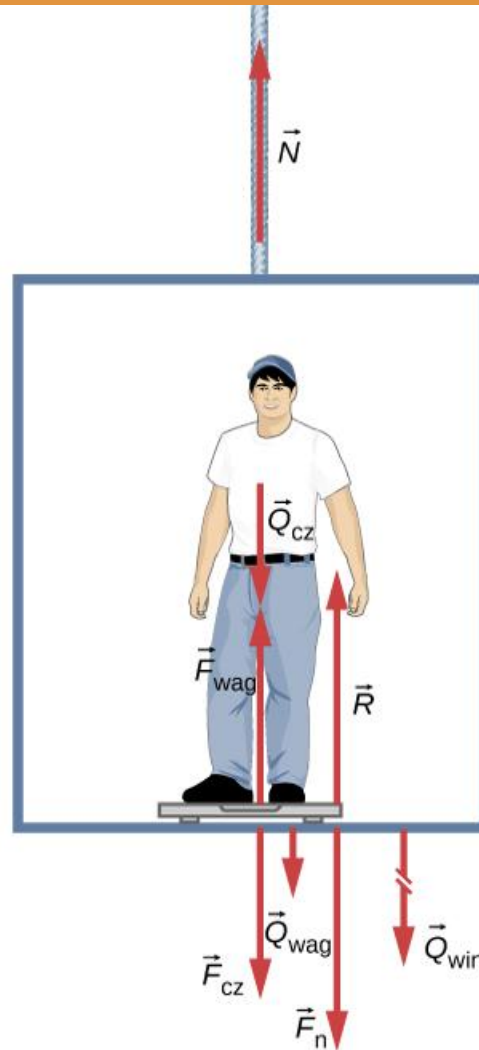
$$F_{\text{wag}} - Q_{\text{cz}} = ma$$

$$F_{\text{wag}} = ma + Q_{\text{cz}}$$

$$F_{\text{wag}} = ma + mg$$

$$a > 0$$

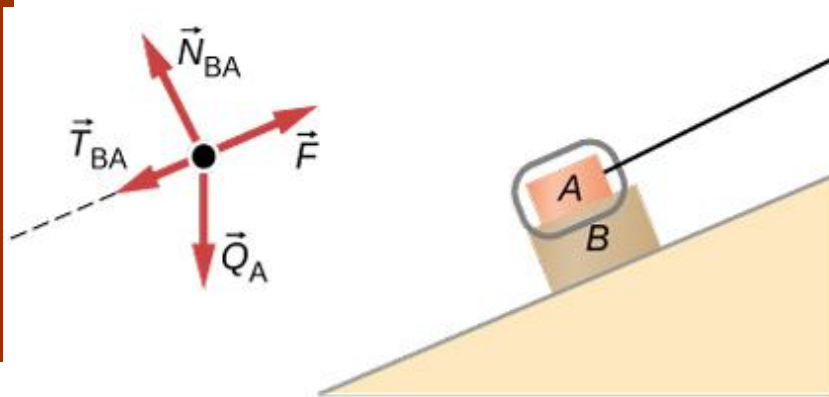
$$a < 0$$



(a)

Rodzaje sił

Przykłady



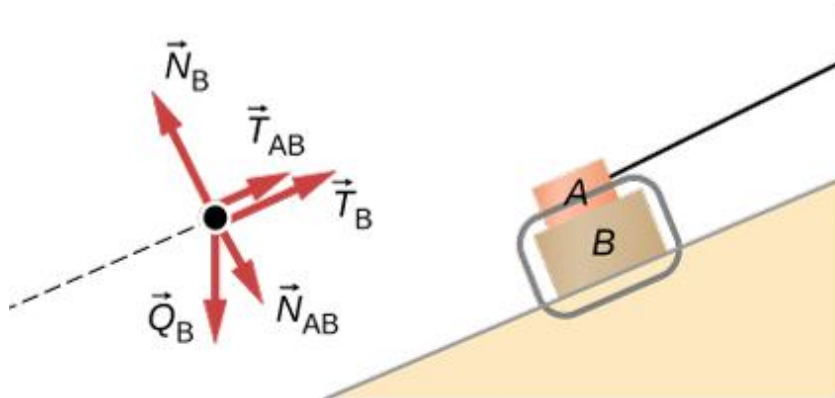
$\vec{Q}_A$ = siła ciężkości klocka A

$\vec{F}$ = naprężenie

$\vec{N}_{BA}$ = siła normalna wywierana przez klocek B na A

$\vec{T}_{BA}$ = siła tarcia między klockiem B i A

(a)



$\vec{Q}_B$ = siła ciężkości klocka B

$\vec{N}_{AB}$ = siła normalna wywierana przez klocek A na B

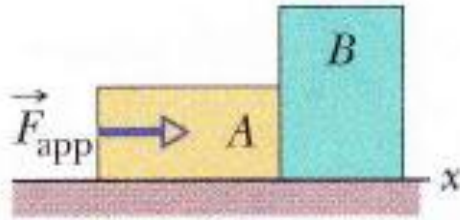
$\vec{N}_B$ = siła normalna wywierana na klocek B przez równię pochyłą

$\vec{T}_{AB}$ = siła tarcia między klockiem A i B

(b) $\vec{T}_B$ = siła tarcia między klockiem B a równią

Rodzaje sił

Przykłady



$$F_{\text{app}} = (m_A + m_B)a,$$

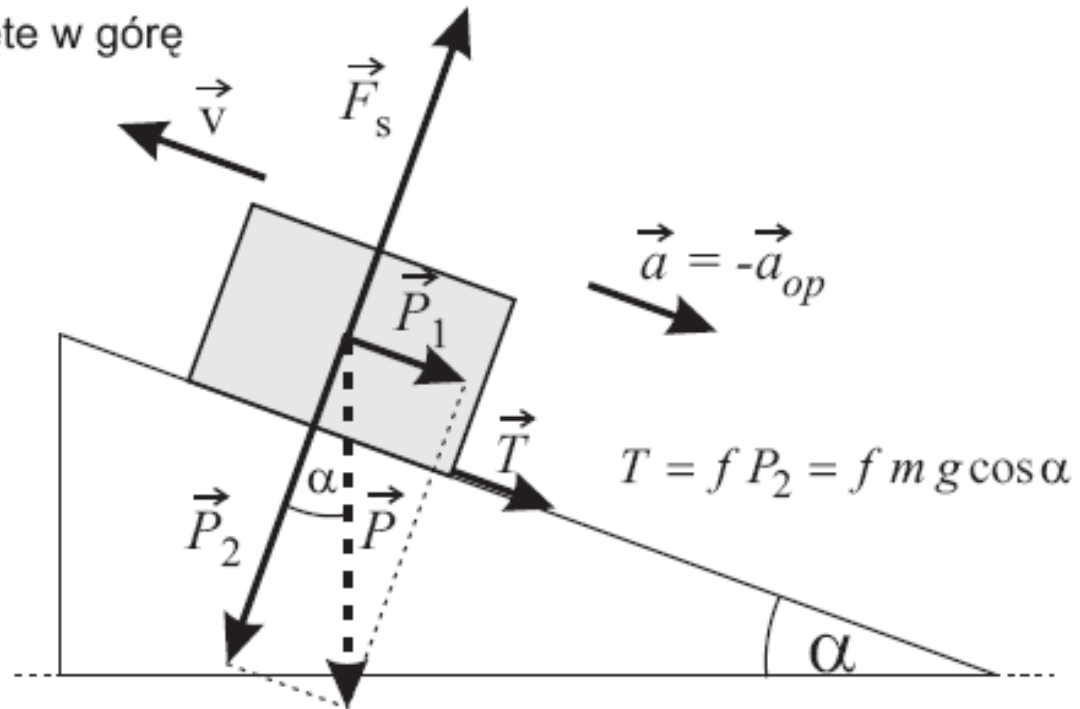
$$a = \frac{F_{\text{app}}}{m_A + m_B}$$

$$F_{BA} = m_B a,$$

Rodzaje sił

Przykłady

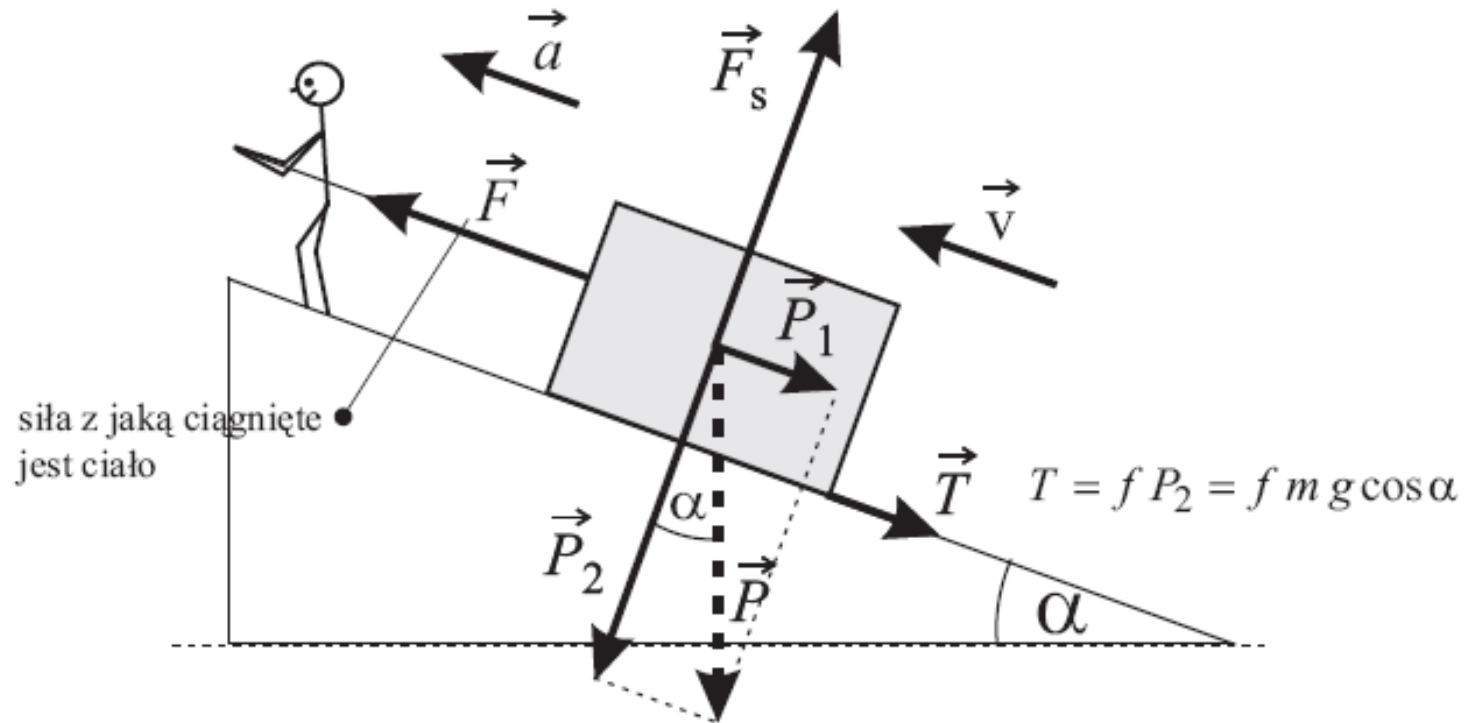
Ciało popchnięte w górę



Rodzaje sił

Przykłady

Ciało ciągnięte pod górę



Dziękuję za uwagę!