

Mechanika

Kinematyka

Dynamika

2. Kinematyka punktu materialnego:

- punkt materialny
- położenie: \vec{r} ;
- opis ruchu: $\vec{r}(t)$;
- tor, trajektoria:

3. DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

3.1. Oddziaływania podstawowe

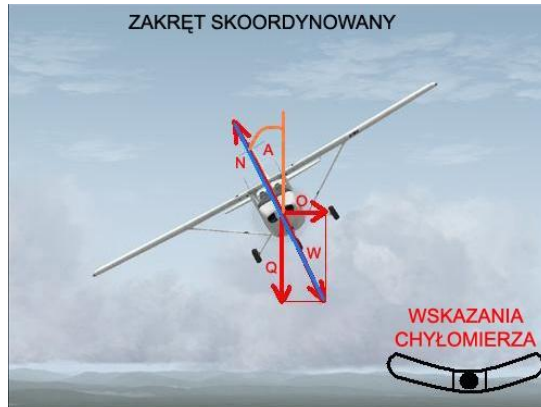
3.2. Masa, pęd i siła

3.3. Zasady dynamiki Newtona

3.4. Prawo powszechnego ciążenia

3.5. Siły kontaktowe i siły tarcia

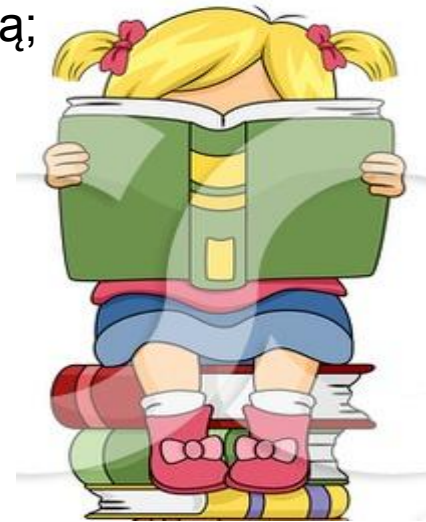
(...)



Siła nośna równoważy się z wypadkowym wektorem siły odśrodkowej i ciężaru. Samolot znajduje się w stanie równowagi.

Cel dydaktyczny:

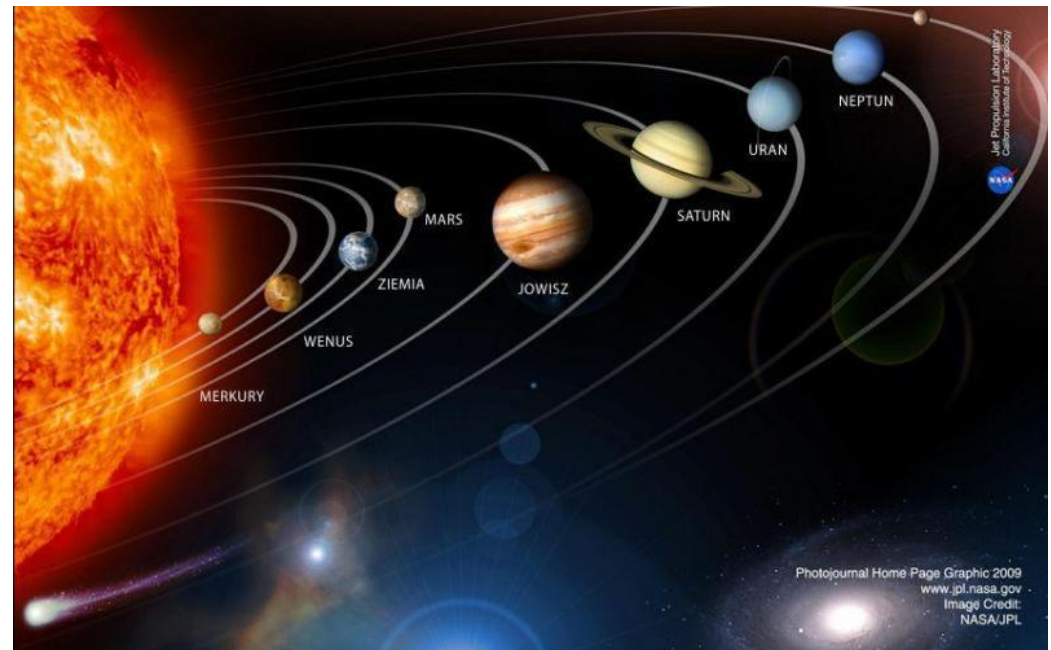
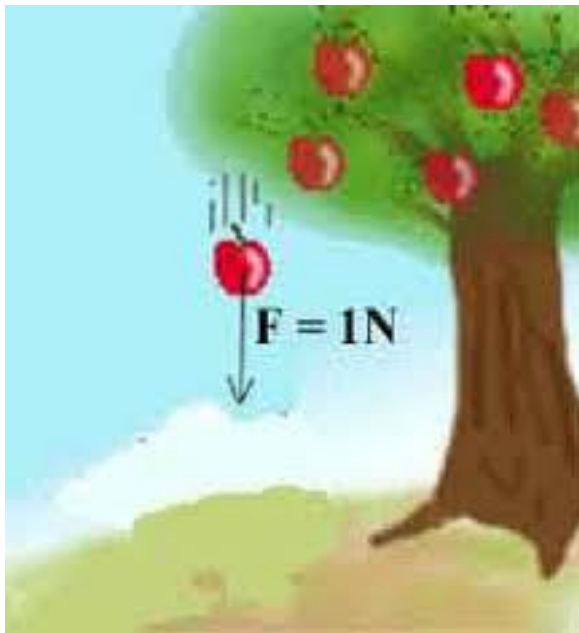
- znać oddziaływania fundamentalne;
- rozumieć pojęcie siły;
- matematyczny opis zasad dynamiki Newtona;
- definiować pojęcie bezwładności;
- opisywać inercjalny układ odniesienia;
- opisywać układ jako stan równowagowy;
- różnice między siłami zewnętrznymi i wewnętrznymi;
- wyjaśniać relacje między przyspieszeniem, siłą wypadkową i masą;
- rozpoznawać siłę tarcia jako siłę zewnętrzną;
- opisywać matematycznie zasadę zachowania pędu;
- wyjaśniać znaczenie zasady zachowania pędu;



3.1 CZTERY PODSTAWOWE ODDZIAŁYWANIA

→ **Oddziaływanie grawitacyjne**- lub *siła powszechnego ciężenia*- dotyczy ciał posiadających masę, ma długi zasięg i najmniejsze względne natężenie .

Powoduje spadanie ciał i rządzi ruchem ciał niebieskich.

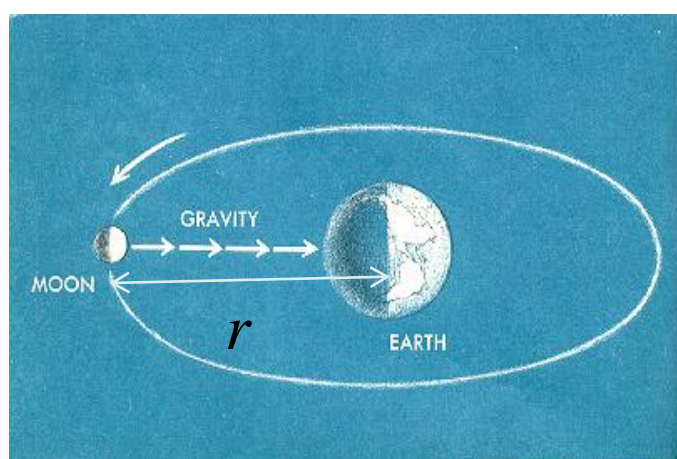


Prawo powszechnego ciążenia

Rok 1665 - 23 letni Isaac Newton dokonuje wielkiego odkrycia w fizyce.

Skoro istnieje siła przyciągania pomiędzy dowolnym ciałem i Ziemią, to musi istnieć siła między każdymi dwoma masami m_1 i m_2 .

$$F \sim m_1 m_2$$



Wykazał, że siła utrzymująca księżyc na orbicie to ta sama siła, która sprawia, że jabłko spada z drzewa na Ziemię. Każde ciało we Wszechświecie przyciąga każde inne. Tę skłonność zbliżania się ciał do siebie nazwał **ciężeniem (grawitacją)**.

$$F \sim \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

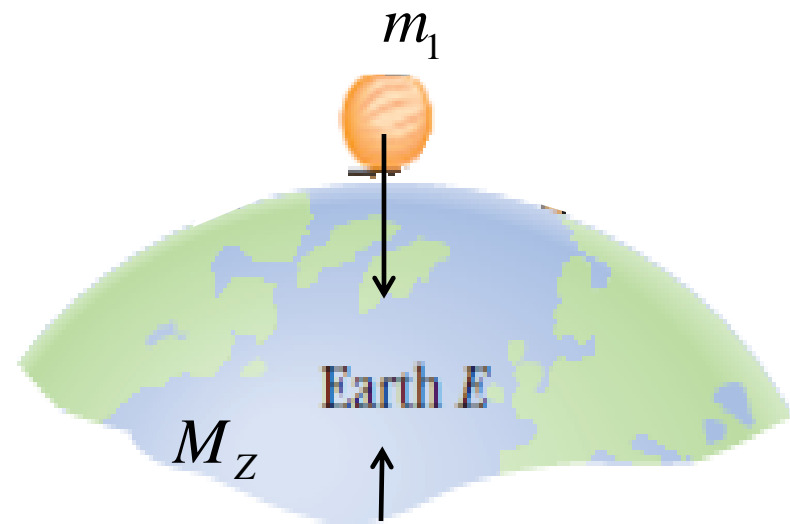
Prawo powszechnego ciążenia (prawo grawitacji)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1N)$$

gdzie: m_1 i m_2 - masy ciał, r - odległość między środkami mas, G - **stała grawitacji**.

Na powierzchni Ziemi: Dane :

$$m_1 = 5 \text{ kg}, \quad M_Z = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}, \quad R_Z = 6378,14 \text{ km}$$



Otrzymujemy:

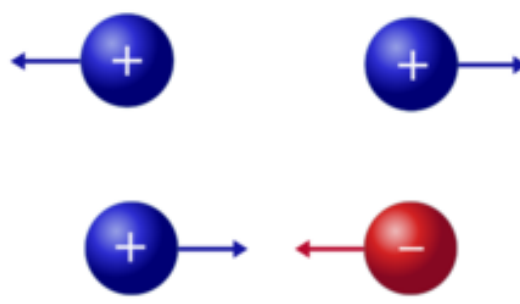
$$G \frac{m_1 M_Z}{R_Z^2} = m_1 g$$

$$G = \frac{g R_Z^2}{M_Z}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

ODDZIAŁYWANIA PODSTAWOWE

→ **Oddziaływanie elektromagnetyczne** - są to siły działające między ładunkami elektrycznymi:

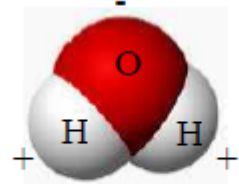


Oddziaływanie to jest dalekozasięgowe.

Siły międzyatomowe mają charakter elektromagnetyczny ponieważ atomy zawierają naładowane elektrony i protony.

Większość sił z jakimi spotykamy się na co dzień np. tarcie, siła sprężystości jest wynikiem oddziaływania atomów, są to więc siły elektromagnetyczne. Oddziaływanie elektromagnetyczne ma wielokrotnie większe natężenie od grawitacyjnego;

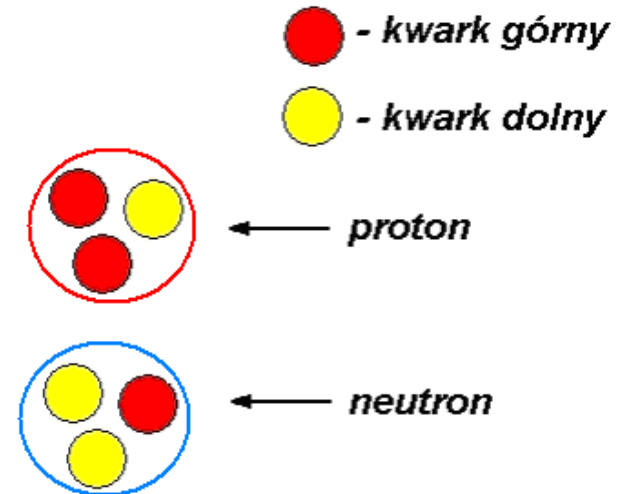
Przykładowe skutki: uderzenia piorunów, prąd elektryczny, struktura atomów, cząsteczek, ciał stałych.



ODDZIAŁYWANIA FUNDAMENTALNE

→ **Oddziaływanie jądrowe (silne)** - występuje na poziomie jądra atomowego i cząstek elementarnych. Siła utrzymująca w całości jądra atomowe pomimo odpychania między protonami (ładunki dodatnie).

Jądro atomowe



Kwarki łączą się w protony i neutrony dzięki gluonom, które przenoszą oddziaływanie silne.

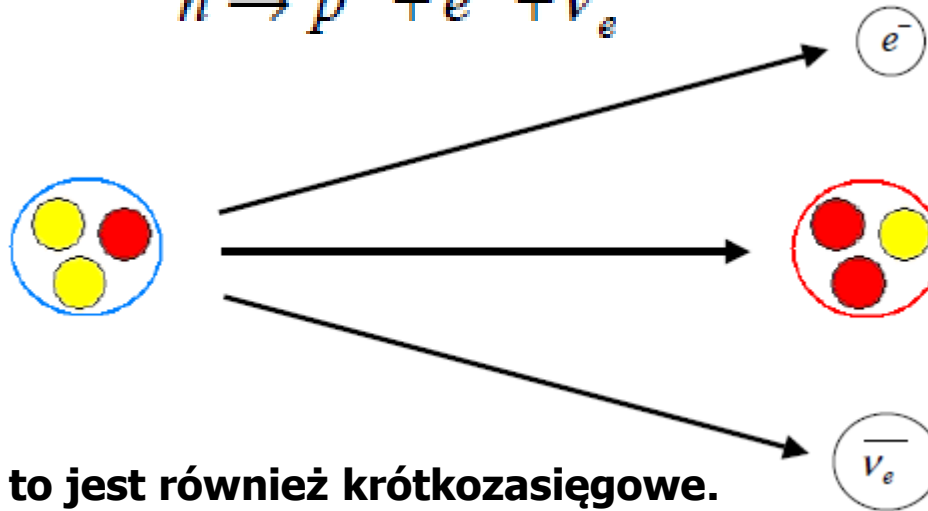
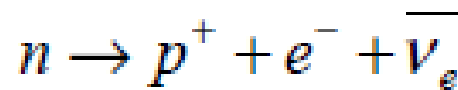
Protony i neutrony noszą wspólną nazwę „nukleony”.

Nukleony łączą się w jądra również przez oddziaływanie silne

Oddziaływanie to ma bardzo krótki zasięg i największe względne natężenie.

→ **Oddziaływanie słabe** - temu oddziaływaniu podlegają wszystkie cząstki elementarne, w szczególności oddziaływanie to odpowiada za rozpad niektórych cząstek elementarnych.

np. neutronu



Oddziaływanie to jest również krótkozasięgowe.

Tab. Cztery oddziaływania fundamentalne

Oddziaływanie	Źródło oddziaływania	Względne natężenie	Zasięg
Grawitacyjne	Masa	około 10^{-38}	Długi
Elektromagnetyczne	Ładunek elektryczny	około 10^{-2}	Długi
Jądrowe	min. protony, neutrony	1	Krótki (około 10^{-15} m)
Słabe	cząstki elementarne	około 10^{-15}	Krótki (około 10^{-18} m)

▪ Co to właściwie jest masa ciała?

DEFINICJE:

❖ **Masa m (1 kg)**- to skalarna wielkość fizyczna, miara ilości materii (ciała); miara „liczebności”.



Rys. źródło: <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector>

Masa nie zmienia się w zależności od położenia w polu grawitacyjnym.

$$\text{Gęstość: } \rho = \frac{m}{V} \quad \Rightarrow \quad m = \rho \cdot V$$

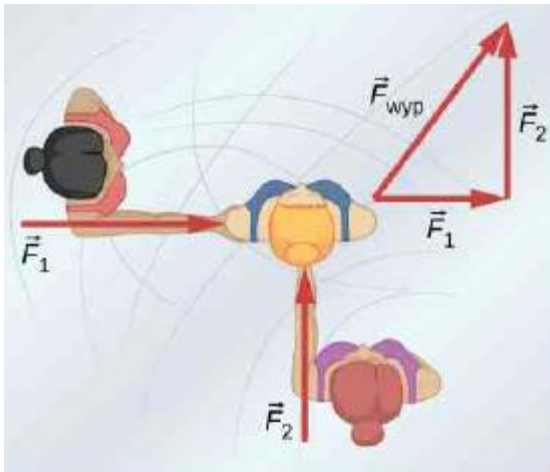
$$[\rho] = \left[1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

❖ Pęd

Pęd ciała definiujemy jako iloczyn jego masy i jego prędkości (*wektorowej*).

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

❖ Siła



Jest wielkością wektorową, która jest miarą oddziaływania innych ciał na dane ciało. Może być zdefiniowana jako zmiana pędu w czasie:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1N)$$

Rys. Rozkład sił działających na trzeciego łyżwiarza.

□ SIŁA - równanie dynamiczne

Podstawiając wyrażenie (3.2) i wykonując różniczkowanie otrzymujemy:

$$\mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\mathbf{v} + m\frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

Dla ciała o stałej masie $m = const.$, **równanie dynamiczne siły**:

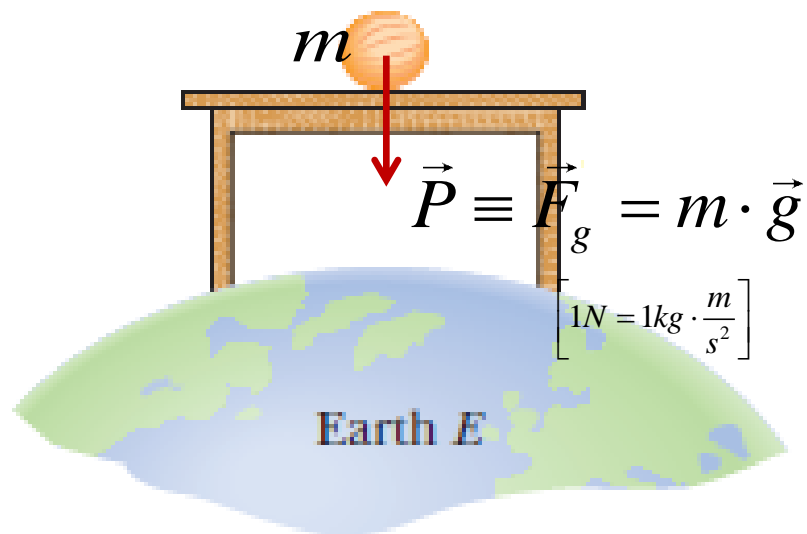
$$F = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot a$$

Jednostka siły

$$[1N] = \left[1kg \cdot \frac{m}{s^2} \right]$$

Siła, która nadaje ciału wzorcowemu o masie 1 kg ,przyspieszenie 1m/s², ma wartość 1 N

Ciężar ciała i siła grawitacji



$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$g_z \approx 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ - przyspieszenie ziemskie}$$

$$g_k \approx 1.62 \frac{m}{s^2} \text{ - przyspieszenie księżycowe}$$

Ciężar ciała \vec{P} , to siła działająca na ciało o masie m wskutek przyciągania grawitacyjnego.

* Oprócz przyciągania grawitacyjnego na ciężar mają też wpływ inne efekty, np. ruch obrotowy Ziemi, siły wyporu itp..

3.3. ZASADY DYNAMIKI NEWTONA



Sir Isaac Newton, (4 January 1643 - 31 March 1727)

Isaac Newton „*Phylosophiae Naturalis Principia Mathematica*” - „Matematyczne zasady filozofii przyrody” w 1687r.

I. ZASADA DYNAMIKI NEWTONA (z. bezwładności)

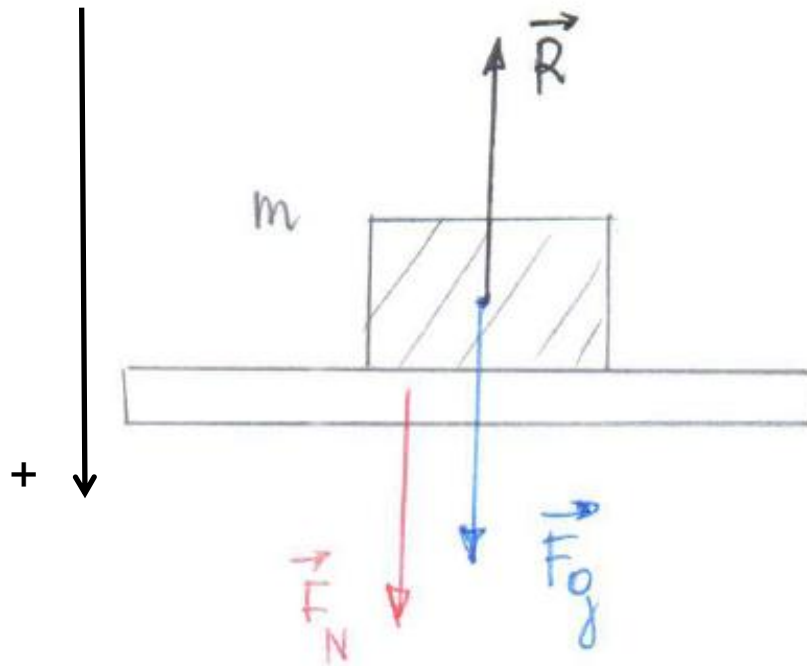
Jeżeli na ciało nie działają siły zewnętrzne lub działające siły równoważą się to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

$$\left(\text{Jeżeli } \sum \vec{F}_{zew} = 0 \right) \Rightarrow v = const. \quad (\vec{a} = 0)$$

Zapamiętaj:

- Układ odniesienia, w którym spełniona jest I zasada dynamiki, nazywamy **układem inercyjnym**.
- Każdy układ poruszający się względem układu inercyjnego z prędkością o stałej wartości i kierunku jest też układem inercyjnym.
- Stany spoczynku oraz ruchu jednostajnego, prostoliniowego są równoważne z punktu widzenia zasad dynamiki.

Przykład 1- I ZASADA DYNAMIKI NEWTONA (z. bezwładności)



Statyka masy m

$$\sum \vec{F}_{zew} = 0$$

$$w: \vec{F}_{zew} = \vec{F}_g + \vec{R}$$

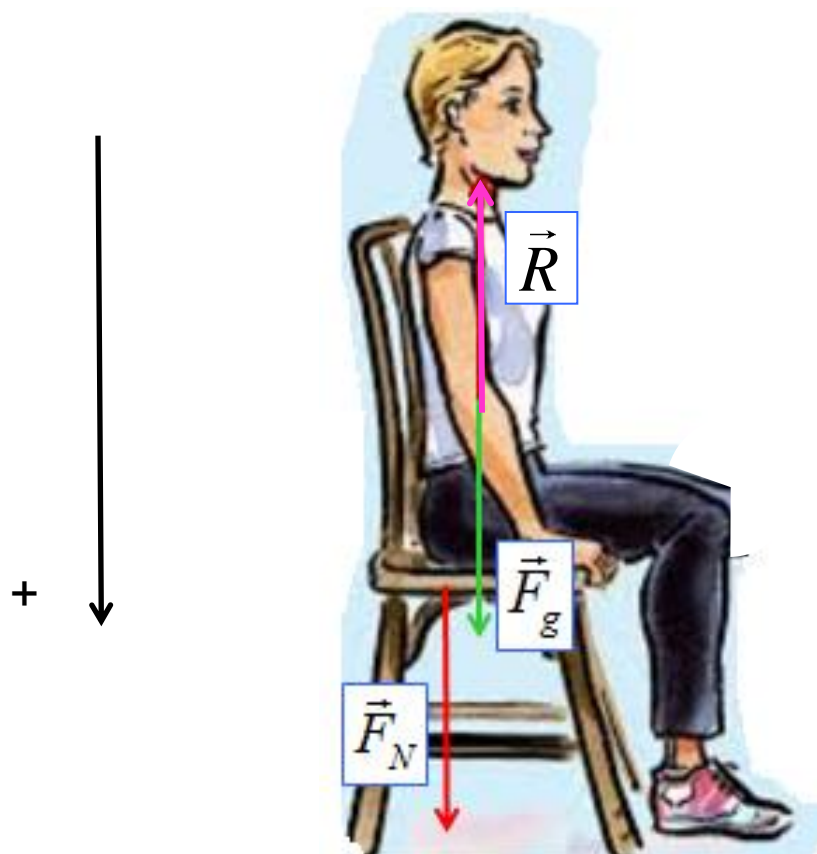
$$s: F_g - R = 0$$

$$F_g = R$$

Pojęcie masy jest mocno związane z bezwładnością. Przez **bezwładność** rozumie się właściwość ciała decydującą o tym, czy ciało łatwo czy trudno wprowadzić w ruch, a rozpędzone łatwo czy trudno zatrzymać lub w ogóle zmienić jego prędkość. Ciało bez działania sił nie może zmienić ani wartości, ani kierunku swej prędkości, nie może być również wprowadzone w ruch.

Przykład-2 I ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

Dlaczego osoba siedząca na krześle pozostaje w spoczynku ?



$$\sum \vec{F}_{zew} = 0$$

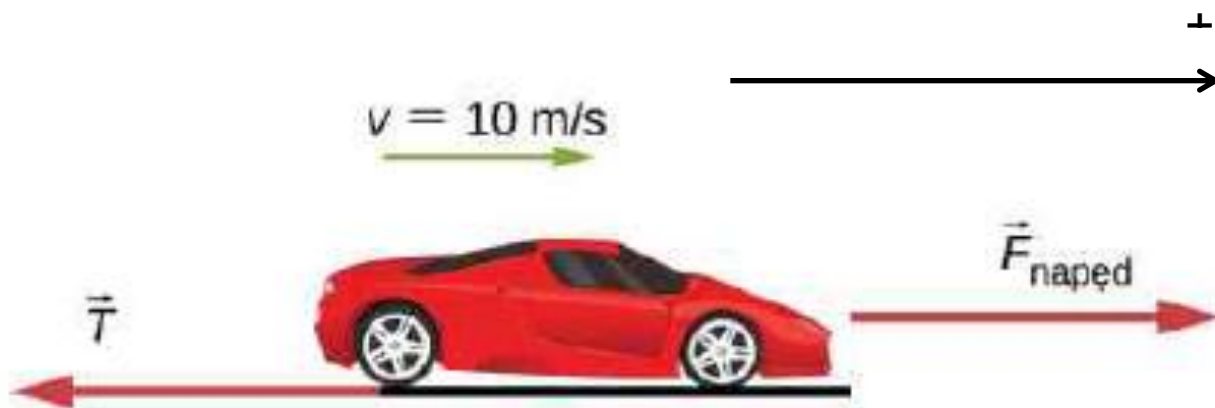
$$w : \vec{F}_{zew} = \vec{F}_g + \vec{R}$$

$$s : F_g - R = 0$$

$$F_g = R$$

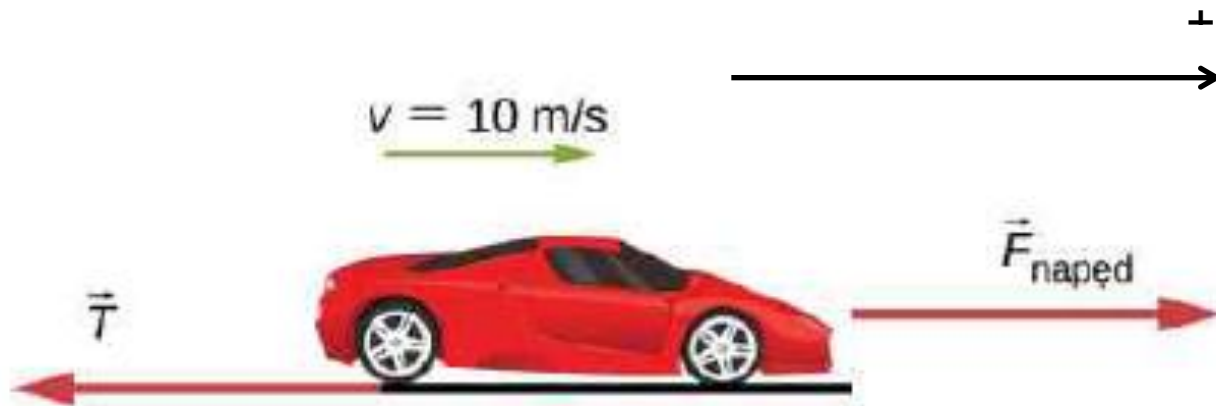
Przykład-3 I ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

a) Samochód przedstawiony na rysunku porusza się ze stałą prędkością. Która siła jest większa: $\vec{F}_{\text{napędu}}$ czy T ? Wyjaśnij dlaczego.



Przykład-3 I ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

a) Samochód przedstawiony na rysunku porusza się ze stałą prędkością (rys.).
Która siła jest większa: $\vec{F}_{\text{napędu}}$ czy \vec{T} ? Wyjaśnij dlaczego.



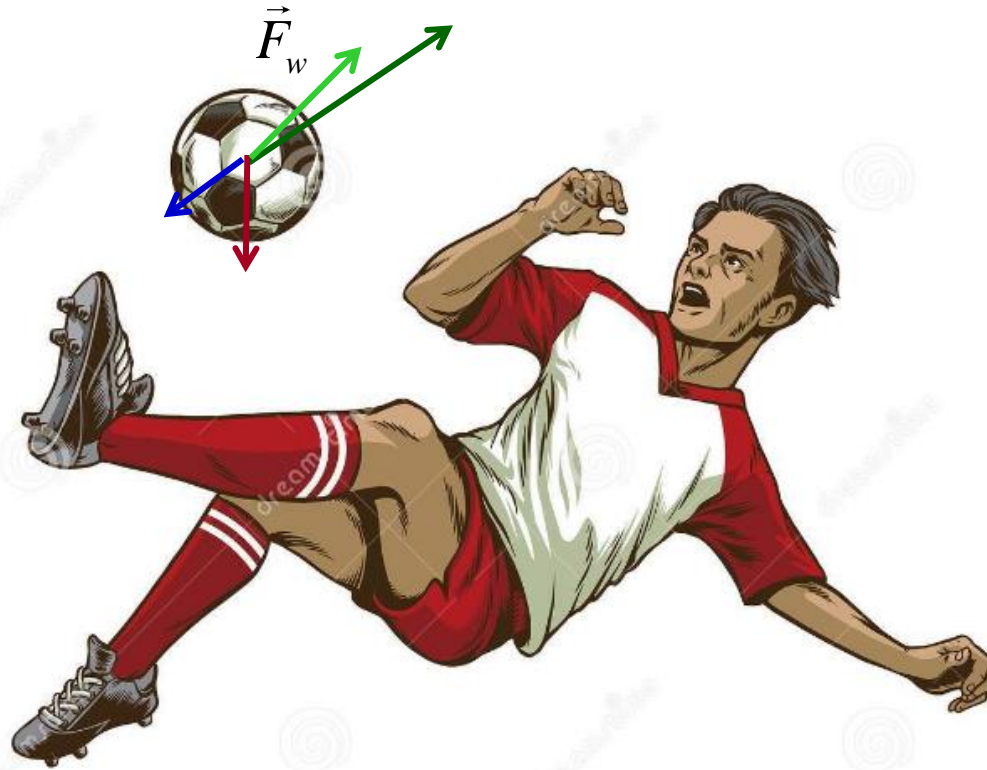
$$\sum \vec{F}_{\text{zew}} = 0$$

$$w: \vec{F}_{\text{zew}} = \vec{F}_{\text{naciągu}} + \vec{T}$$

$$F_{\text{napędu}} = T$$

DZIAŁAJĄCA SIŁA A PRZYSPIESZENIE CIAŁA

Badając zależność między siłą (jako przyczyną) przyłożoną do ciała a wynikającą stąd zmianą ruchu tego ciała, tzn. zmianą jego prędkości- czyli przyspieszeniem- (jako skutkiem), otrzymujemy wniosek:

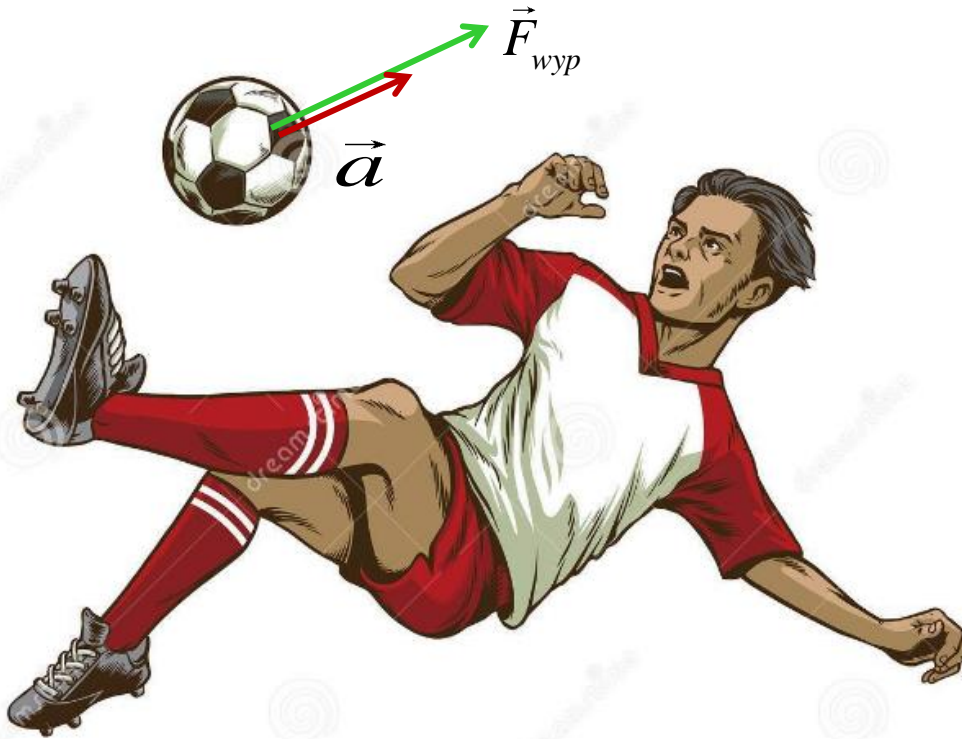


$$\vec{a} \sim \vec{F}_w$$

Rys. Wszelkie zmiany prędkości ciała mogą zachodzić jedynie pod działaniem siły.

Zależność pomiędzy działającą siłą a przyspieszeniem formułuje II zasada dynamiki Newtona.

II. ZASADA DYNAMIKI NEWTONA



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

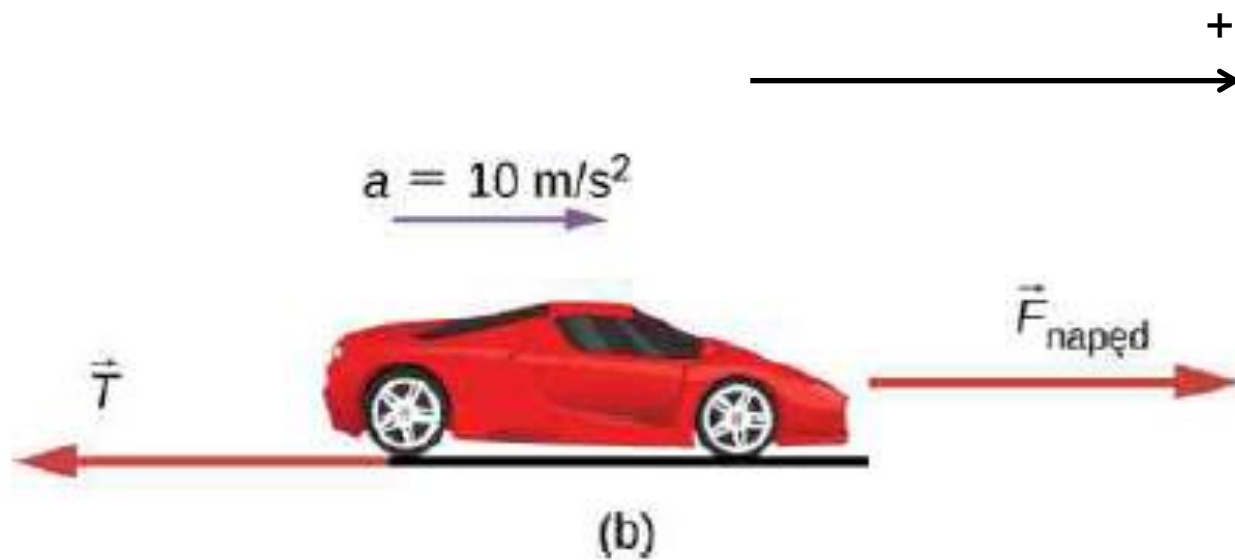
Jeżeli na ciało działa stała, niezrównoważona siła wypadkowa ($F_{wyp} = const.$), to ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem (a) wprost proporcjonalnym do tej siły, a odwrotnie proporcjonalnym do masy (m) tego ciała.

➤ **Zapamiętaj:** Kierunek i zwrot wektora przyspieszenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem siły wypadkowej przyłożonej do ciała.

Przykład 3b)- II ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

b) Ten sam samochód (z P.3a) przedstawiony na rysunku porusza się ze stałym przyspieszeniem w prawo.

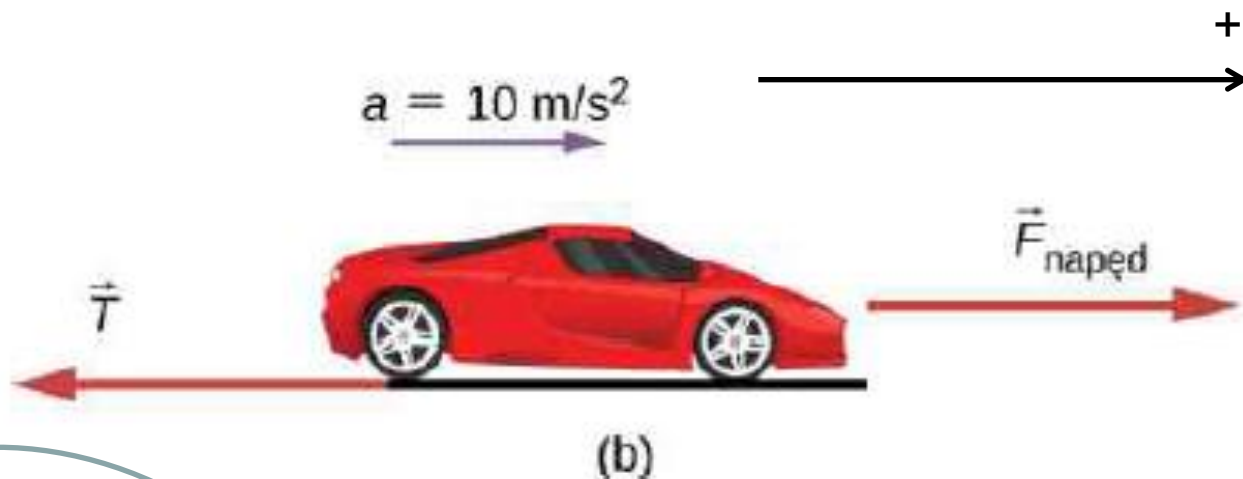
Która siła jest większa: $\vec{F}_{\text{napędu}}$ czy \vec{T} ? Wyjaśnij dlaczego.



Przykład 3b)- II ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

b) Ten sam samochód (z P.3a) przedstawiony na rysunku porusza się ze stałym przyspieszeniem w prawo.

Która siła jest większa: $\vec{F}_{\text{napędu}}$ czy \vec{T} ? Wyjaśnij dlaczego.



Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona niezerowa siła wypadkowa jest konieczna do występowania przyspieszenia ciała:

$$\sum \vec{F}_{zew} \neq 0 \text{ lub } \sum \vec{F}_{zew} = const$$

$$\sum \vec{F}_{zew} = m \cdot \vec{a}$$

$$s : \sum F_{zew} = F_{nap} - T$$

$$skoro a > 0 \Rightarrow$$

$$F_{nap} > T$$

Przykład 4- piłka nożna

Piłka o masie 400 g porusza się z przyspieszeniem $\vec{a} = (3,00\hat{i} + 7,0\hat{j}) \text{ m/s}^2$

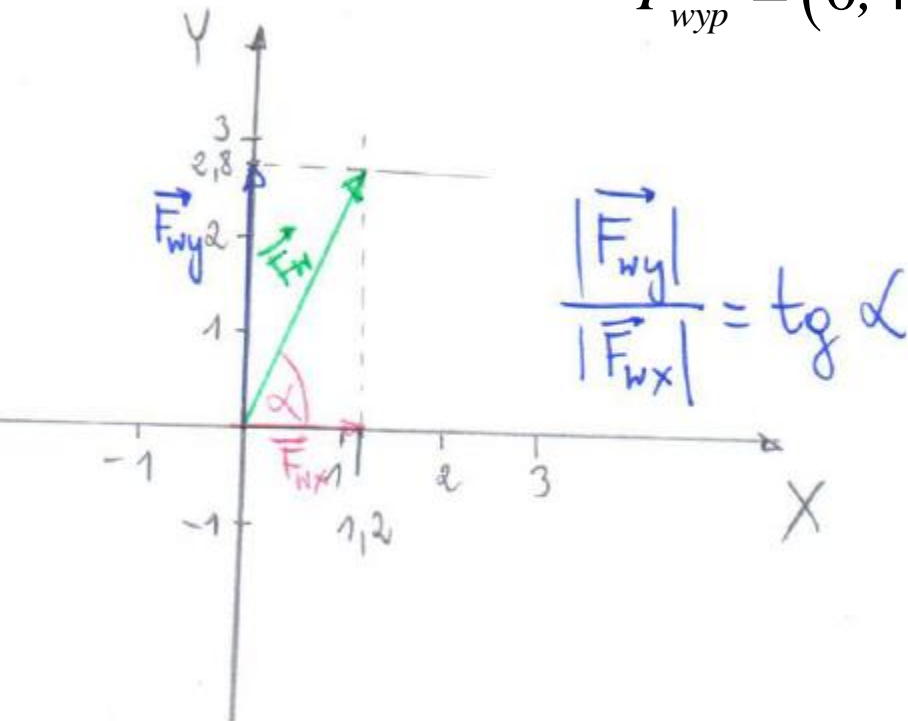
Znajdź: a) siłę działającą na piłkę; b) wartość i kierunek siły.

Rozwiązanie:

Zastosujemy II zasadę dynamiki Newtona :

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

$$\vec{F}_{\text{wyp}} = (0,400\text{kg}) \cdot [3\hat{i} + 7\hat{j}] \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = (1,2\hat{i} + 2,8\hat{j}) \text{ N}.$$



ad b) Wartość siły wypadkowej:

$$|\vec{F}_w| = \sqrt{(1,2)^2 + (2,8)^2} = 3,05 \text{ N}$$

Kierunek siły F_w :

$$\alpha = \text{arctg} \left(\frac{2,8}{1,2} \right) = 66,8^\circ$$

II. ZASADA DYNAMIKI NEWTONA W POSTACI UOGÓLNIONEJ

Zmiana pędu ciała jest proporcjonalna do siły wypadkowej działającej na to ciało i zachodzi wzdłuż kierunku jej działania:



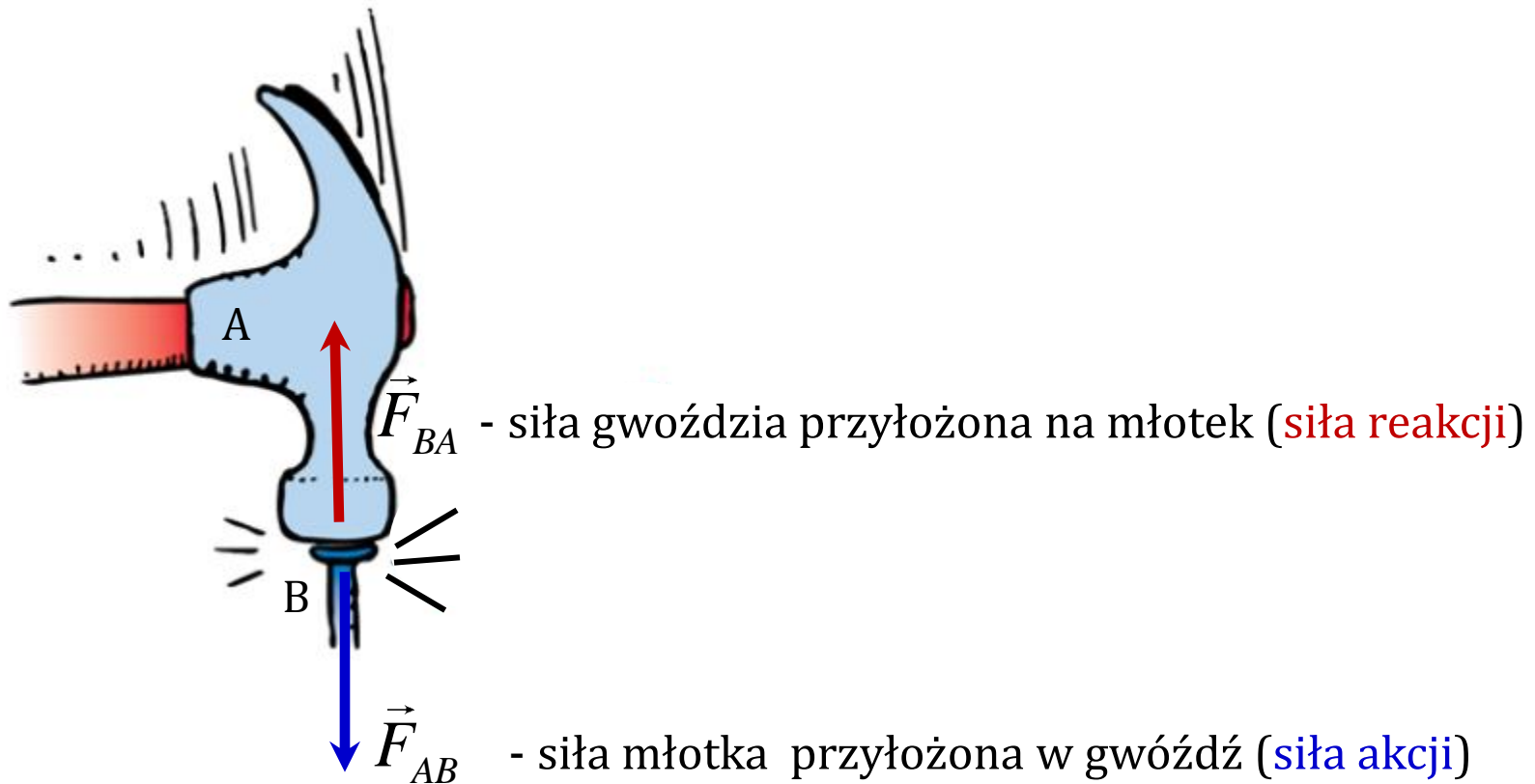
Samolot odrzutowy, źr. <https://all-free-download.com>

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

Po przekształceniach:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

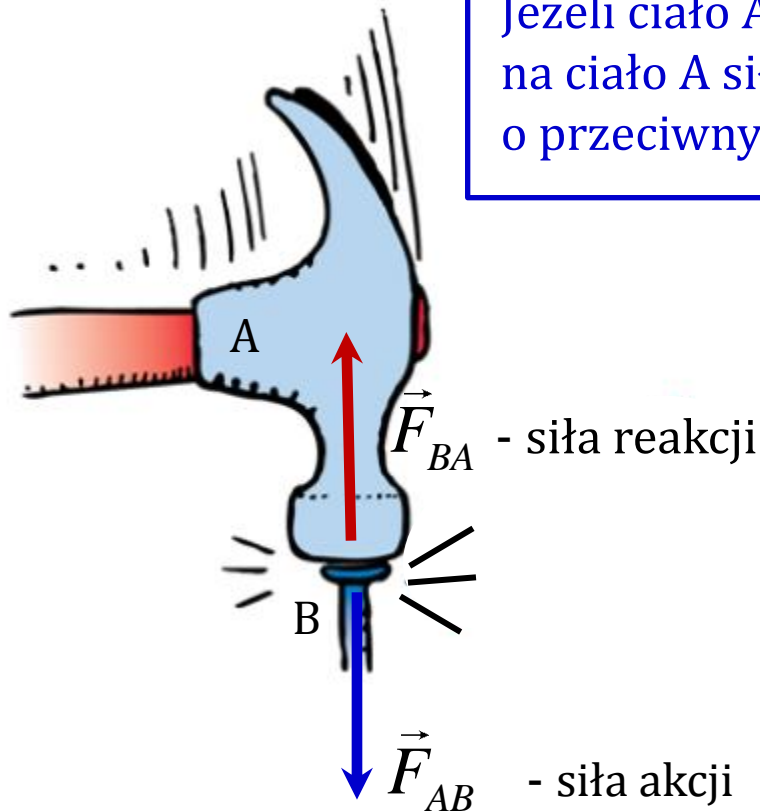
Siła akcji i siła reakcji



Rys. źródło: <http://www.ipodphysics.com>

III ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą F_{AB} , to ciało B działa na ciało A siłą F_{BA} równą co do wartości lecz o przeciwnym zwrocie.



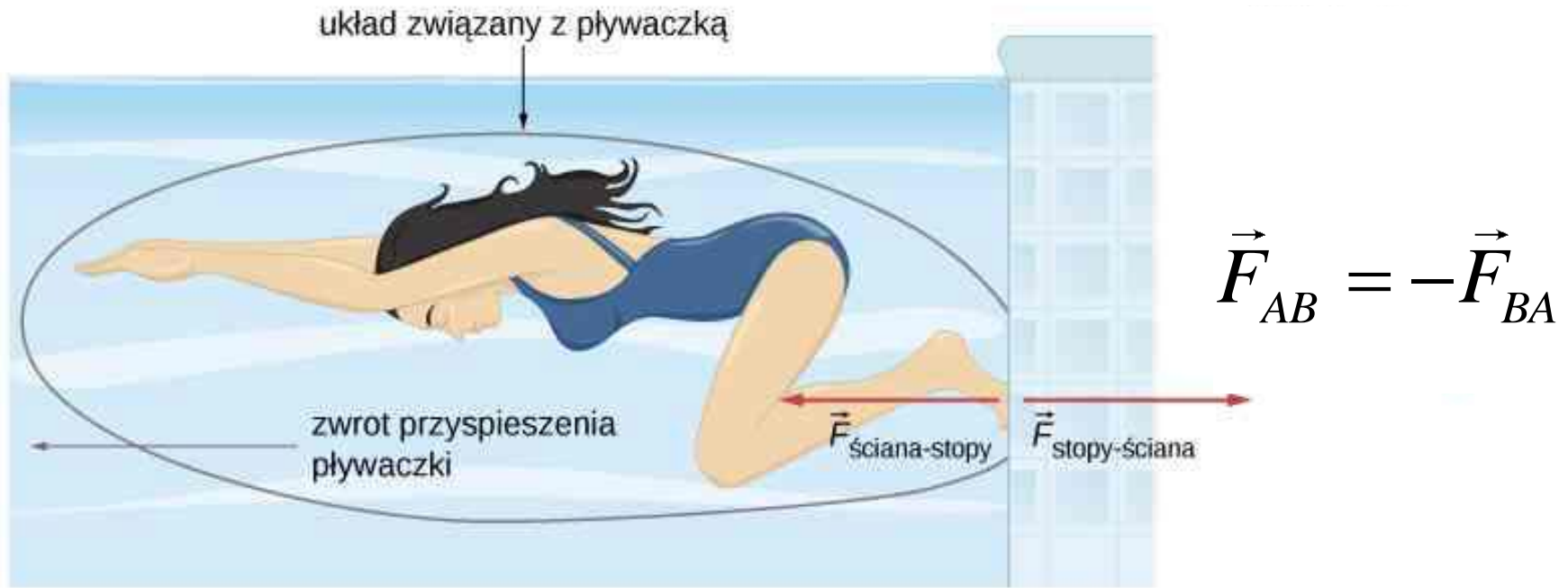
Wektorowo można to zapisać jako:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (3.11)$$

Skalarnie: $|\vec{F}_{AB}| = |-\vec{F}_{BA}|$

Uwaga: Siły akcji i reakcji nigdy nie równoważą się, ponieważ przyłożone są do innych ciał!

Przykład 1 - zastosowanie III zasady dynamiki NEWTONA



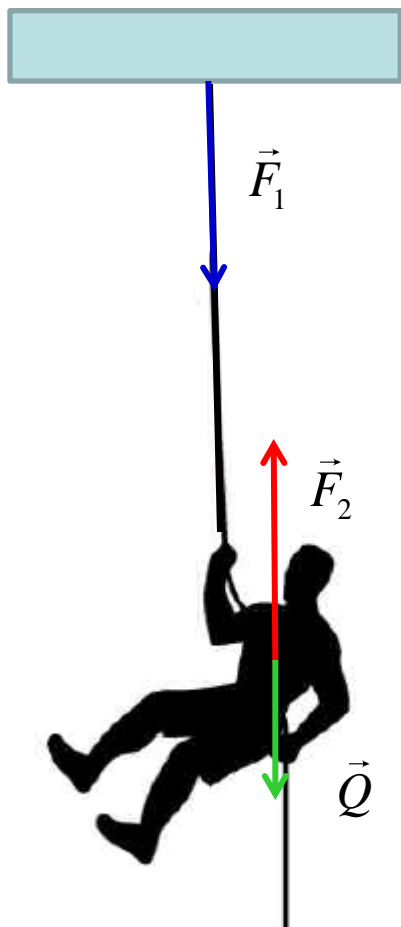
Rys. źródło: „Fizyka dla szkół wyższych” S. Ling, J. Sanny, W. Moebis



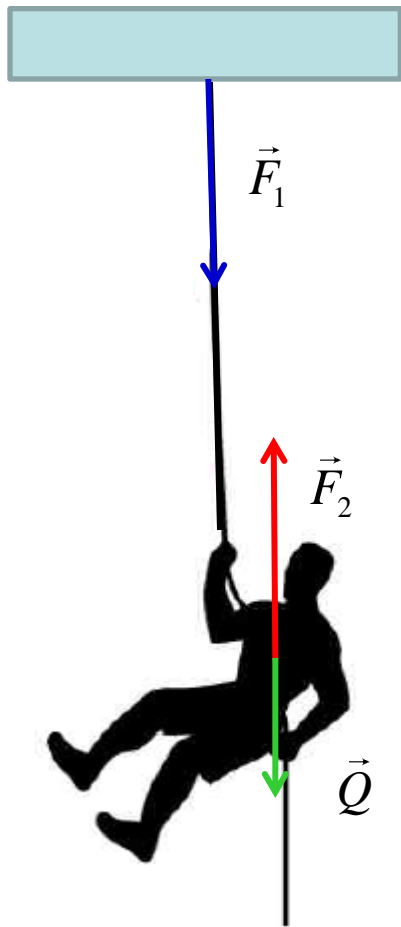
Siły akcji i reakcji działają na INNE ciała, więc siły wzajemnego oddziaływania nie równoważą się!

Przykład 2- zastosowanie III zasady dynamiki NEWTONA

Jakie siły działają na człowieka wchodzącego po linie ?



Jakie siły działają na człowieka wchodzącego po linie ?



- Wspinacz gdy wchodzi działa na linę siłą F_1 i ta siła przyłożona jest do liny (siła akcji).
- Lina działa na wspinacza siłą reakcji $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ i ta siła przyłożona jest do wspinacza.
- Do wspinacza przyłożona jest również siła jego ciężaru \vec{Q}

Jeżeli siła $\vec{F}_2 > \vec{Q}$ - wspinacz porusza się do góry ☺

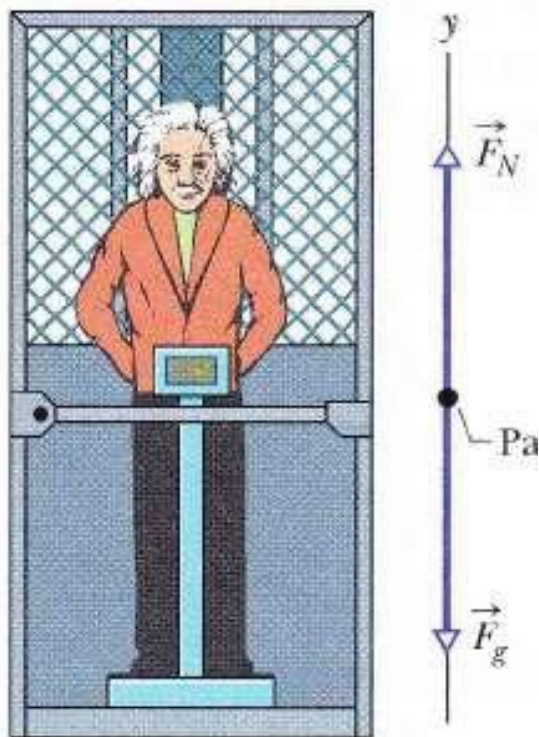
wówczas przyspieszenie :
$$a = \frac{F_2 - Q}{m_{wsp.}}$$

Przykład 3 - co ważniejsze siły

Pasażer o masie $m=72,2$ kg, stoi na wadze w kabinie windy. Jakie jest wskazanie siły normalnej F_N , działającej na pasażera ze strony wagi

- gdy winda pozostaje w bezruchu,
- gdy winda porusza się do góry z przyspieszeniem $a = 3,2\text{m/s}^2$ (lub w dół)?

Uwaga: Kabina windy nie jest układem inercyjnym, stąd wybieramy układ odniesienia związany z ziemią –układ inercjalny.



Wyrażenie ogólne na siłę F_N
(słuszne dla każdego rodzaju ruchu windy):

$$F_N - F_g = ma$$

$$F_N = F_g + ma.$$

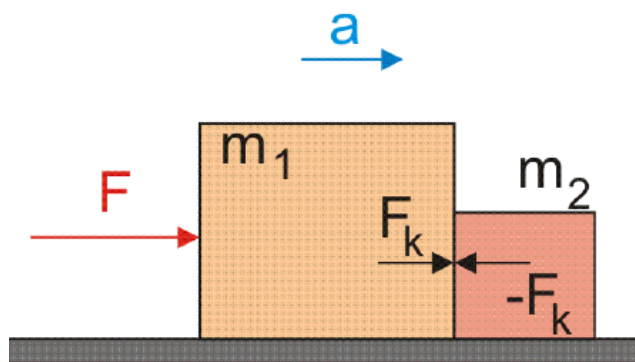
otrzymujemy: $F_N = m(g + a)$

Ad a) $a = 0$, otrzymujemy $F_N \approx 708$ N.

Ad b) dla $a > 0$, otrzymujemy $F_N \approx 939$ N

gdy $a < 0$, to $F_N \approx 477$ N.

□ Siły kontaktowe:



Gdy dwa ciała są dociskane do siebie, występują między nimi **siły kontaktowe**, których źródłem jest siła odpychająca między atomami obu ciał.

Siła F jest przyłożona do klocka o masie m_1 ale nadaje przyspieszenie a obu klocom, stąd:

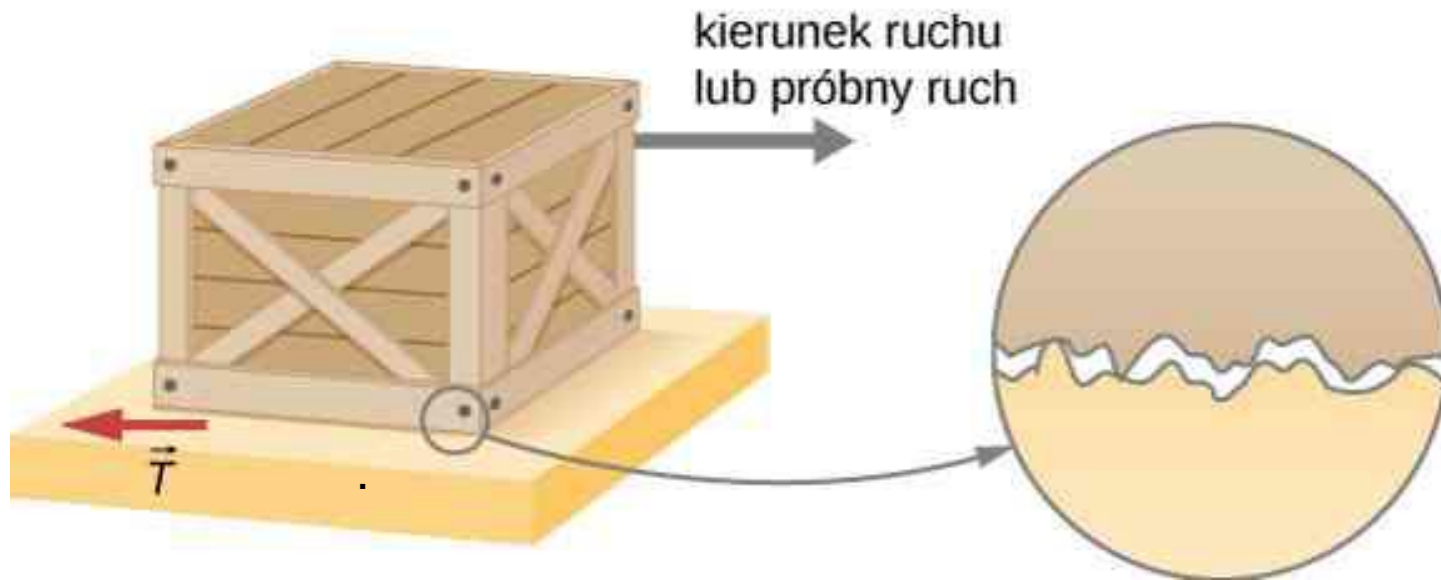
$$F = (m_1 + m_2)a$$

Siła kontaktowa F_k z jaką klocek o masie m_1 działa na klocek o masie m_2 nadaje przyspieszenie klockowi m_2 . Ponieważ klocek m_2 porusza się z przyspieszeniem a , więc siła kontaktowa wynosi :

$$F_k = m_2 \cdot a$$

Oczywiście, zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona klocek o masie m_2 *działa na klocek o masie m_1 siłą reakcji $-F_k$* .

SIŁA TARCIA

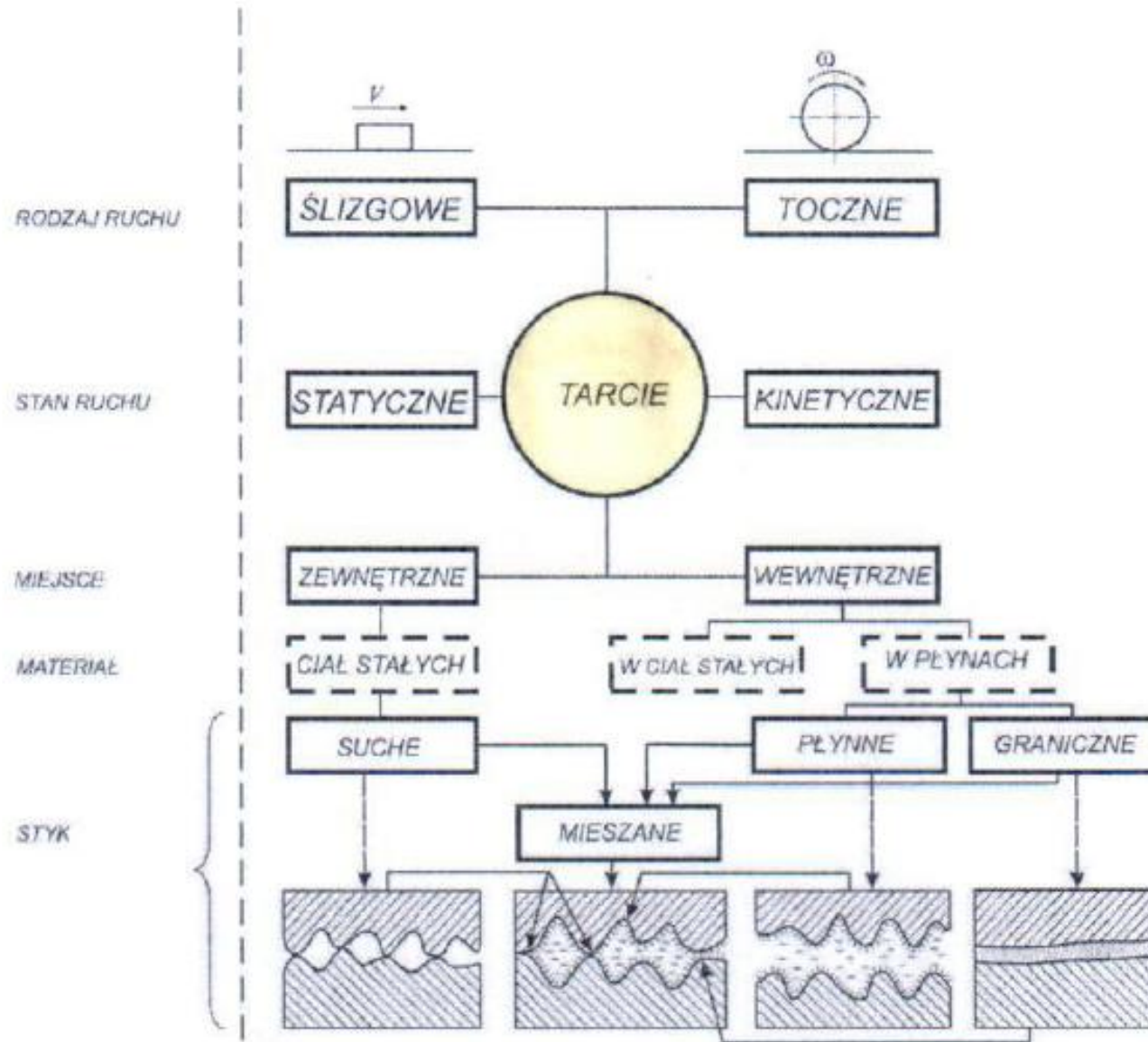


Rys. źródło: „Fizyka dla szkół wyższych S. Ling, J. Sanny, W. Moebis

Rys. Tarcie (T) jest siłą, która przeciwdziała ruchowi (lub próbie tego ruchu) między ciałami będącymi w kontakcie.

- Aby wprowadzić ciało w ruch, a następnie ten ruch podtrzymać konieczne jest przyłożenie siły.
- Największy wpływ na zjawisko występowania tarcia mają siły oddziaływania międzycząsteczkowego pomiędzy trącymi o siebie ciałami.

PODZIAŁ TARCIA

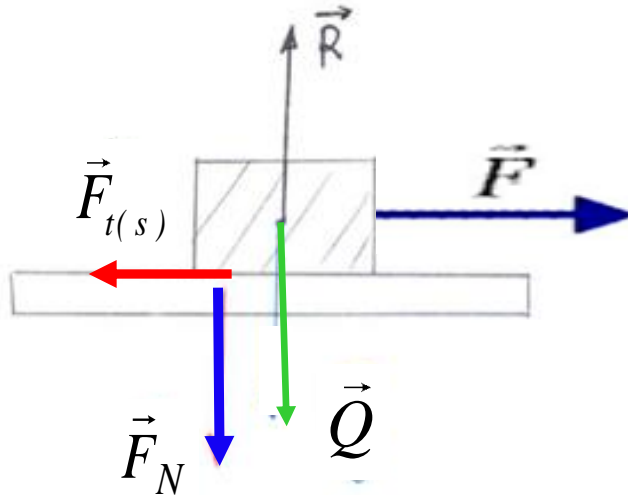


Rys. źródło: „Tribologia Tarcie, zużycie i smarowanie” Zbigniew Lawrowski

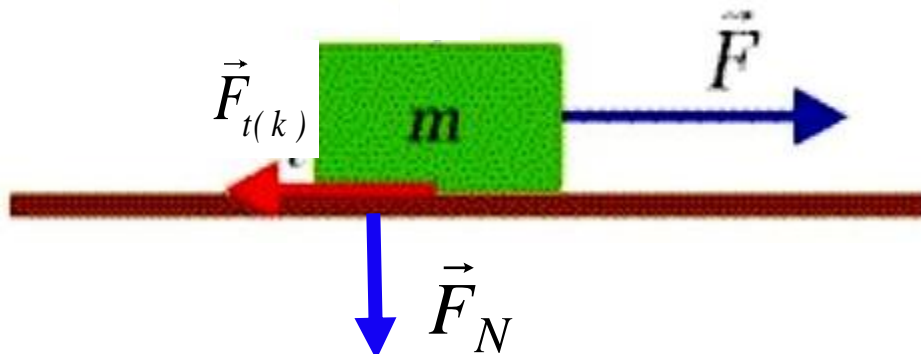
TARCIE ŚLIZGOWE

Siły kontaktowe, o których mówiliśmy są **normalne (prostopadłe)** do powierzchni.
Istnieje jednak składowa siły kontaktowej leżąca w płaszczyźnie powierzchni.

- Przed ruchem



- W trakcie ruchu



Tę siłę, która przeciwstawia się ruchowi nazywamy **siłą tarcia**.

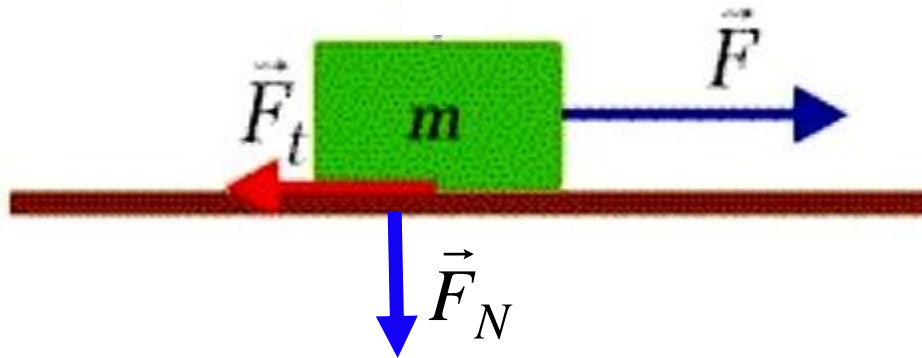
$$F_{t(s,k)} \sim F_N$$

$$F_{t(s,k)} = \mu_{s,k} \cdot F_N$$

gdzie μ - współczynnik tarcia
który zależy od własności
trących się powierzchni

TARCIE ŚLIZGOWE

Tarcie ślizgowe (tarcie suwne) - tarcie występujące na styku dwóch ciał stałych (jest tarcie zewnętrzne), gdy ciała przesuwają się względem siebie lub gdy ciała spoczywają względem siebie, a istnieje siła dążąca do przesunięcia ciał.



$$F_{t(s,k)} = \mu_{s,k} \cdot F_N$$

Siła tarcia :

- występuje w konsekwencji istnienia sił kontaktowych
- jest prostopadła do normalnej do powierzchni siły nacisku
- może istnieć nawet wówczas, gdy powierzchnie są nieruchome względem siebie.

• Współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego:

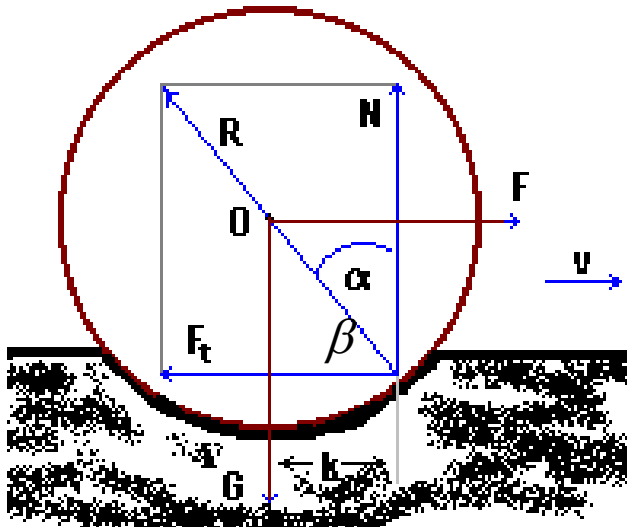
$$\mu_{s,k} \equiv \frac{F_{t(s,k)}}{F_N}$$

siła tarcia

siła nacisku ciała na drugie ciało

TARCIE TOCZNE

Tarcie toczne - opór ruchu występujący przy toczeniu jednego ciała po drugim. Występuje np. pomiędzy elementami łożyska tocznego, między oponą a nawierzchnią drogi. Tarcie toczne występuje na granicy dwóch ciał i dlatego jest sklasyfikowane jako tarcie zewnętrzne.



Moment siły tarcia F_t :

$$M_t = F_t \cdot r \cdot \sin \beta = F_t \cdot r \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \approx F_t \cdot r$$

Kąt α w porównaniu do kąta 90° jest mały i można go zaniedbać, a $\sin 90^\circ = 1$.

Moment siły N wynosi:

$$M_N = N \cdot r \cdot \sin \alpha = N \cdot k$$

Porównując momenty (M_t i M_N) otrzymamy :

$$F_t = k \cdot \frac{N}{r}$$

k - ramie działania siły N i równocześnie pełni rolę współczynnika tarcia tocznego

Rys. Wypadkowa siła reakcji podłoża R jest na ogół „prawie” pionowa, a kąt α jest niewielki; N- składowa siły R, równoważąca siłę nacisku); F_t - składowa siły R, której moment jest powodem hamowania ruchu obrotowego.

Rys. źródło:
<http://labor.zut.edu.pl/fileadmin/wfm12.html>

Przykłady współczynników tarcia statycznego i kinetycznego

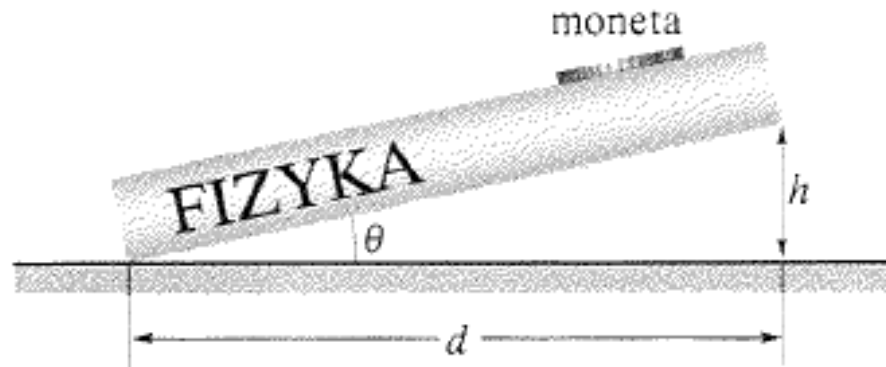
Przykładowy układ	Współczynnik tarcia statycznego μ_s	Współczynnik tarcia kinetycznego μ_k
Guma na mokrym betonie	0,5-0,7	0,3-0,5
Drewno na drewnie	0,5	0,3
Woskowane drewno na mokrym śniegu	0,14	0,1
Metal na drewnie	0,5	0,3
Stal na stali (sucha)	0,6	0,3
Stal na stali (naoliwiona)	0,05	0,03
Stal na teflonie	0,04	0,04
Kość nasmarowana mazią stawową	0,016	0,015
Buty na drewnie	0,9	0,7
Buty na lodzie	0,1	0,05
Lód na lodzie	0,1	0,03
Stal na lodzie	0,4	0,02

Tabela, źródło: „Fizyka dla szkół wyższych” S. Ling, J. Sanny, W. Moebis

Co ważniejsze siły

Przykład 2.(tablica)

Moneta o masie m , pozostaje w spoczynku na okładce książki, nachylonej do poziomu pod kątem $\theta = 13^\circ$. Wyznacz współczynnik tarcia statycznego μ_k między monetą a książką.



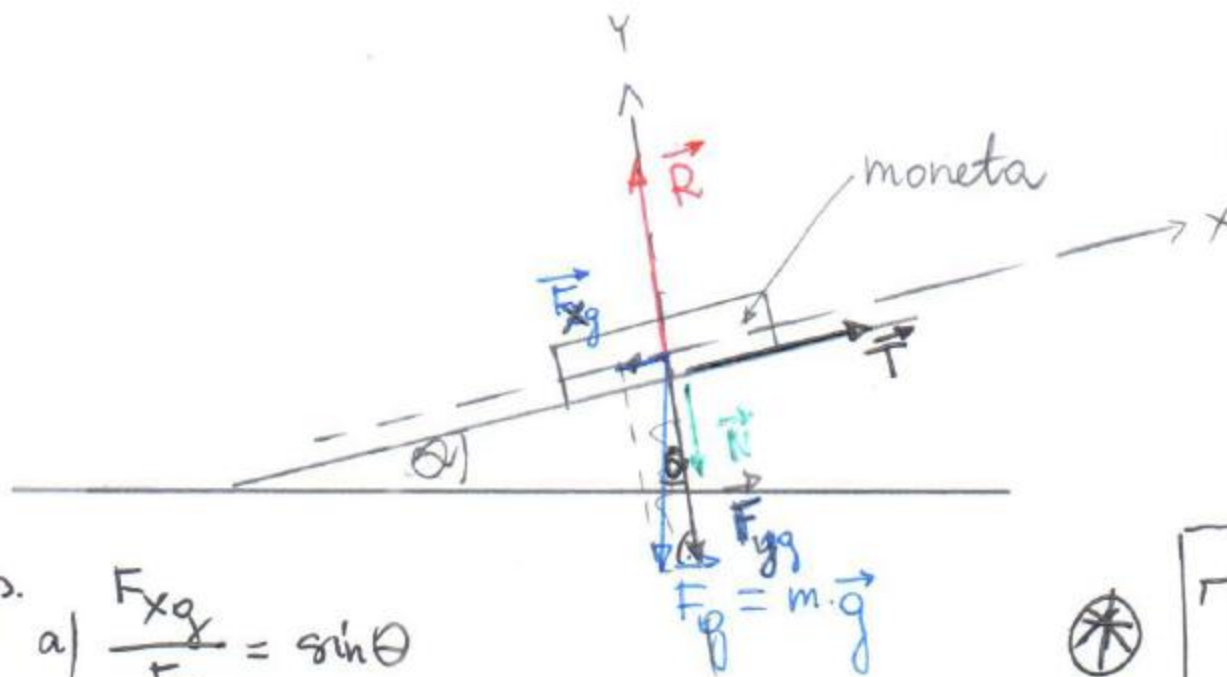
Odp.: $\mu_s = 0,23$

Przykład 2.(tablica)

P.2 w.3.

Dane:

m, θ



Szukane $\mu_s = ?$

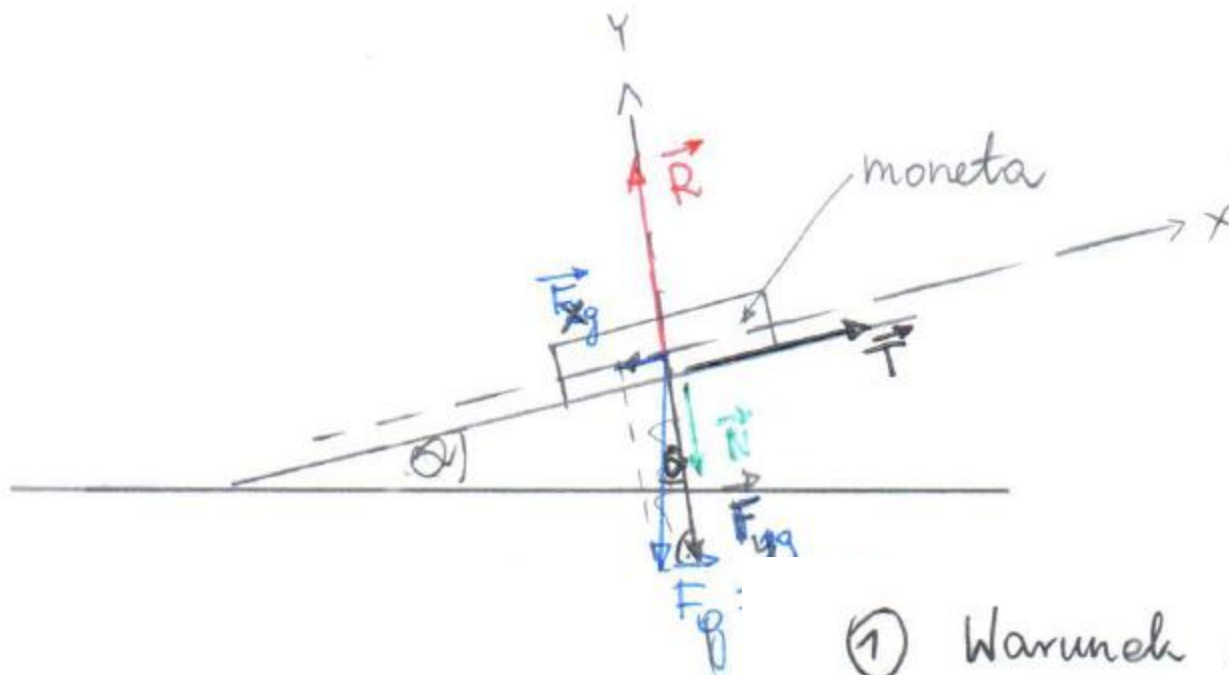
z rys. a) $\frac{F_{gx}}{F_g} = \sin \theta$

b) $F_{yg} = F_g \cos \theta$

\otimes $T = \mu \cdot N$

$\otimes \otimes$ $\mu = \frac{T}{N}$

28 x 11,69 cale



① Warunek równowagi: ② $\vec{F}_w = 0$

$$\textcircled{3} \int \vec{F}_{wx} = 0$$

$$\textcircled{4} \int \vec{F}_{wy} = 0$$

Zatem w: $Ox: \int \vec{F}_{xg} + \vec{T} = 0$;

$Oy: \int \vec{F}_{yg} + \vec{R} = 0$

Przykład 2 (c.d.)

$$\text{Zatem w: } \begin{cases} \text{OX: } \vec{F}_{xg} + \vec{T} = 0 \\ \text{OY: } \vec{F}_{yg} + \vec{R} = 0 \end{cases} ;$$

$$\text{skojarzmy } \begin{cases} \textcircled{5} -F_{xg} + T = 0 & \Rightarrow \textcircled{7} F_{xg} = T = mg \sin \theta \\ \textcircled{6} -F_{yg} + R = 0 & \textcircled{8} F_{yg} = R = mg \cos \theta \end{cases}$$

Z III zasady dynamiki Newtona:

$$\textcircled{9} |\vec{R}| = |\vec{N}|$$

Przykład 2 – c.d.

Podstawiając odpowiednio (7) i (8) (przy uwzgl. (9))

do (***) otrzymujemy:

$$\mu = \frac{\cancel{mg} \sin \theta}{\cancel{mg} \cos \theta} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

Odp.:

$$\underline{\mu_s = 0,23}$$

Gdzie znajduje się zwrot i kierunek siły tarcia ?



Rys. źródło: „Fizyka dla szkół wyższych” S. Ling, J. Sanny, W. Moebis

Dziękuję za uwagę !

