



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



Podstawy Procesów i Konstrukcji Inżynierskich

Dynamika

Prowadzący: dr inż. Marta Walczyńska



Mechanika klasyczna

Mechanika klasyczna to dział mechaniki w fizyce opisujący :

- ruch ciał - kinematyka,
- **zależności między wzajemnymi oddziaływaniami ciał i zmianami ruchu wywołanymi przez te oddziaływania – dynamika,**
- oraz badaniem równowagi ciał materialnych - statyka.



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIAMATERIALOWAPL

Mechanika klasyczna

Mechanika klasyczna oparta jest na prawach ruchu

- **zasadach dynamiki** -

sformułowanych przez Isaaca Newtona, dlatego też jest ona nazywana „mechaniką Newtona” (*Principia*).

- **mechanika relatywistyczna** – ogólna teoria względności i szczególna teoria względności - opisuje zachowanie się obiektów poruszających się z prędkością porównywalną z prędkością światła,

- **mechanika kwantowa** opisuje zachowanie się mikroskopijnych obiektów (cząsteczki, atomy, cząstki elementarne).



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

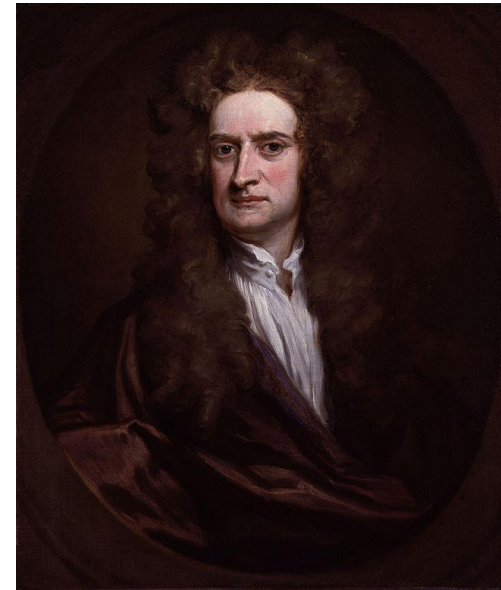


INZYNIERIAMATERIALOWAPL

Zasady dynamiki Newtona

To trzy zasady leżące u podstaw mechaniki klasycznej sformułowane przez **Isaaca Newtona** i opublikowane w *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Matematyczne zasady filozofii przyrody) w 1687 roku.

Zasady dynamiki określają związki między ruchem ciała a siłami działającymi na nie, dlatego zwane są też *prawami ruchu*



Is. Newton



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

Oddziaływanie ciał

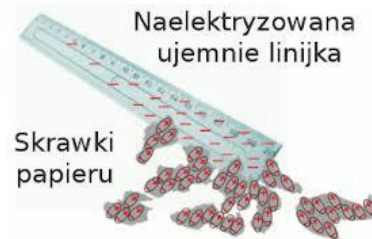
- mechaniczne



- grawitacyjne



- elektrostatyczne



- magnetyczne



I zasada dynamiki Newtona

Istnieje taki układ odniesienia, w którym

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

Układ inercjalny – układ odniesienia, względem którego każde ciało, niepodlegające zewnętrznemu oddziaływaniu z innymi ciałami, porusza się bez przyspieszenia (tzn. ruchem jednostajnym prostoliniowym) lub pozostaje w spoczynku.



Bezwładność ciał

Bezwładność jest to cech ciała polegająca na tym, że ciało dąży do zachowania stanu spoczynku lub stanu ruchu jednostajnego prostoliniowego.

- nie wynika ona z żadnego oddziaływania
- jest siłą pozorną
- siła bezwładności pojawia się tylko w nieinercjalnych układach odniesienia.

Masa jest miarą bezwładności ciała. Im większa masa, tym trudniej wprawić je w ruch oraz trudniej zatrzymać

Przykład: zachowanie pasażerów podczas hamowania autobusu



Pomiar siły bezwładności na wadze łazienkowej w windzie



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

Masa

- masa stanowi czynnik powodujący powstawanie **ciężkości**, czyli wywołujący zjawisko **grawitacji**.
- masa jest **miarą bezwładności** ciała

Masa jest **wielkością addytywną**

Masa jest tym większa, im większe jest ciało (ma większą objętość) i im większa jest jego gęstość.



INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

II zasada dynamiki Newtona

Przyspieszenie jakie nadaje niezerowa siła F ciału o masie m jest wprost proporcjonalne do tej siły, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

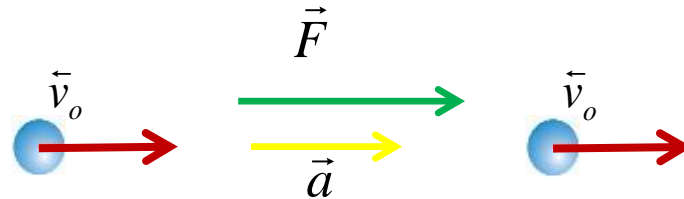
$$a = \frac{F}{m}$$



II zasada dynamiki Newtona

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

Kierunek i zwrot wektora przyspieszenia jest taki sam jak kierunek i zwrot wektora siły.



- siła wypadkowa $a = \frac{F_{wypadkowa}}{m}$

- II zasada dynamiki Newtona obowiązuje tylko w układach inercjalnych
- II zasada dynamiki definiuje siłę



Siła

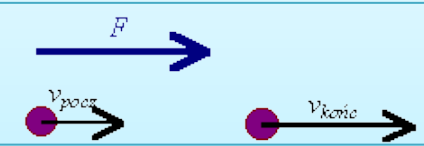
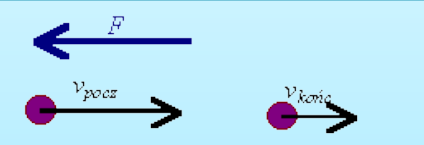
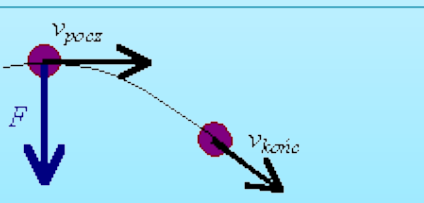
O sile możemy mówić gdy:

- mamy przynajmniej **dwa ciała**
- pomiędzy tymi ciałami musi istnieć **oddziaływanie**

Gdy działa siła – zmienia się stan ruchu ciała

Gdy brak siły – ciało pozostaje w spoczynku lub zachowuje swój poprzedni ruch

Gdy działa siła nierównoważona – ciało zmienia swój stan ruchu

Nierównoważona siła może:	
1. przyspieszyć ciało gdy działa zgodnie ze zwrotem prędkości	
2. opóźnić ruch ciała gdy działa przeciwnie do prędkości	
3. zmienić kierunek ruchu ciała gdy działa pod kątem w stosunku do prędkości	



Definicja siły

Z przyspieszenia (II zasada dynamiki Newtona)

$$a = \frac{F}{m}$$

wzór skalarny	wzór wektorowy
$F = m \cdot a$	$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

Siła działająca na ciało o masie m związana z danym oddziaływaniem równa jest iloczynowi masy ciała i przyspieszenia nadawanemu ciału przez to oddziaływanie



Pęd

Pęd to iloczyn masy i prędkości ciała

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

Pęd jest wielkością wektorową. Kierunek i zwrot wektora pędu jest zgodny z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości.

$$[p] = [kg \cdot \frac{m}{s}]$$

Zasada zachowania pędu

W układzie odizolowanym suma wektorowa pędów wszystkich elementów układu pozostaje stała

Jeżeli $\mathbf{F} = 0$ to $\mathbf{p} = \text{const.}$



Definicja siły

Z pędu

wzór skalarny	wzór wektorowy
$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

Siła związana z jakimś oddziaływaniem jest równa **szybkości zmiany pędu** ciała wywołanej przez to oddziaływanie.

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = \frac{p}{t}$$



Jednostka siły

Siłę wyraża się w niutonach N

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

Jeden niuton jest to siła, która jednemu kilogramowi nadaje przyspieszenie o wartości 1 m/s^2

$$1 \text{ dyna} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2$$

$$1 \text{ dyna} = 0,001 \text{ kg} \cdot 0,01 \text{ m/s}^2 = 0,000 01 \text{ N} \quad \rightarrow \quad 1\text{N} = 100 000 \text{ dyn}$$

Przykłady:

- Żeby utrzymać w dłoni ciężarek 1 kg potrzeba na to siły ok. 10N.
- Ciężar człowieka o masie 70 kg to około 700N.



Kilka ważnych sił

- Siła ciężkości
- Ciężar
- Siła normalna
- Naprężenie
- Tarcie



Siła ciężkości

- Siła ciężkości (grawitacji) F_g jest to siła jaką dane ciało jest przyciągane przez inne ciało. Siła ciężkości będzie więc skierowana w dół. Jeśli ciało o masie m swobodnie spada z przyspieszeniem ziemskim g i pomijamy opory powietrza to jedyną siłą działającą jest siła ciężkości .
- Z drugiej zasady dynamiki.

$$F_g = m \cdot g$$



Ciężar

ciężar = siła ciężkości???

Ciężar to wartość bezwzględna siły ciężkości działającej na ciało

- **Przykład 1: Ile wynosi siła ciężkości działająca na ciężar o masie 1 kg?**

Z wzoru na ciężar wynika, że ciało o masie 1 kg ma ciężar ok. 10 niutonów.

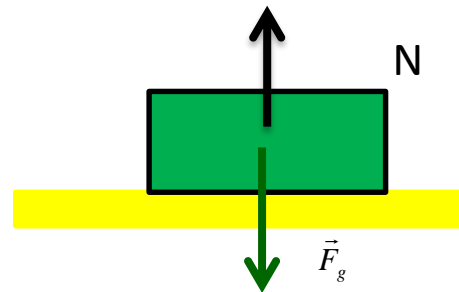
- **Przykład 2: Ile wynosi siła ciężkości działająca na człowieka o masie 70 kg?**

$$P = 70 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 686,7 \text{ N}$$



Siła normalna

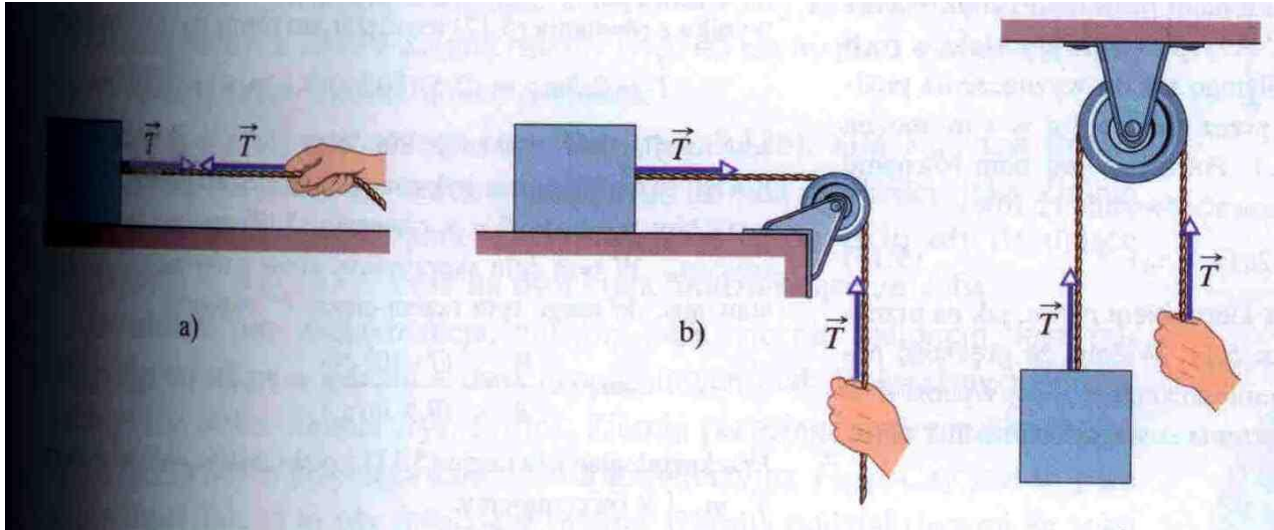
Gdy ciało naciska na powierzchnię, choćby pozornie bardzo sztywną, ta ulega deformacji i działa na ciało siłą normalną N , prostopadłą do powierzchni.



Siłę normalną oznaczamy przeważnie przez N a nazwa jej pochodzi od terminu matematycznego normalny.



Naprężenie



Gdy nić jest przymocowana do ciała i naciągnięta tak, że jest wyprostowana, działa ona na ciało siłą, skierowaną wzdłuż nici. Siłę tę nazywamy **naprężeniem**.

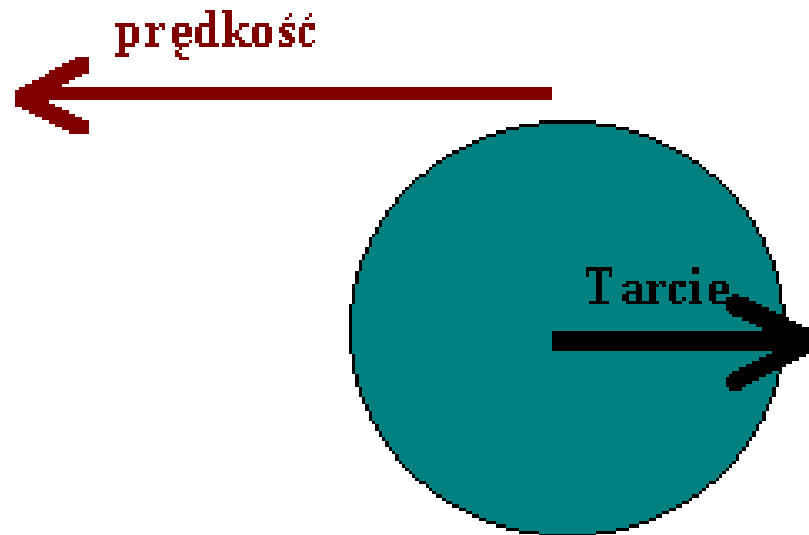
Naprężenie nici ma wartość T równą wartości siły działającej na ciało



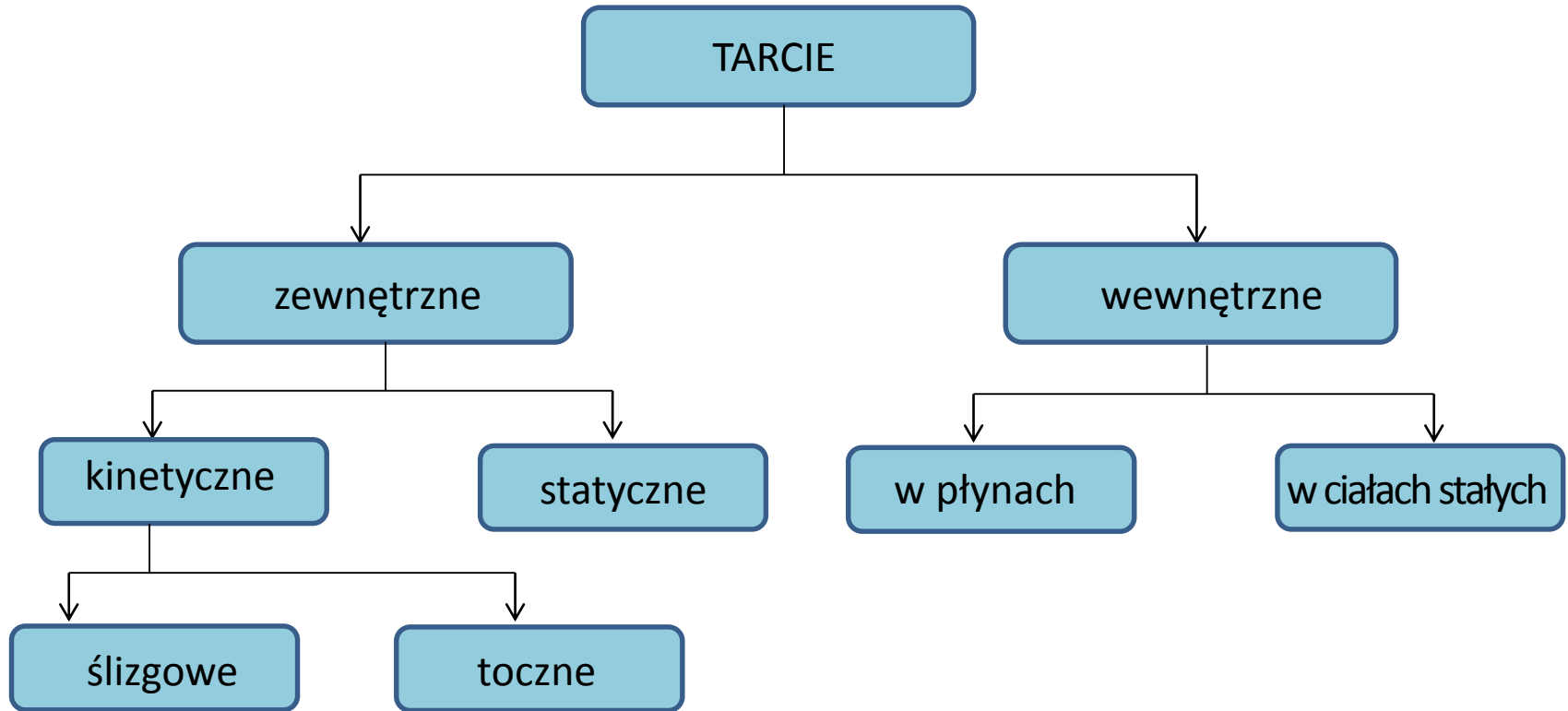
Tarcie

Tarcie jest **siłą**, która przeciwstawia się ruchowi obiektów.

Siła ta jest zawsze **skierowana przeciwnie do prędkości**

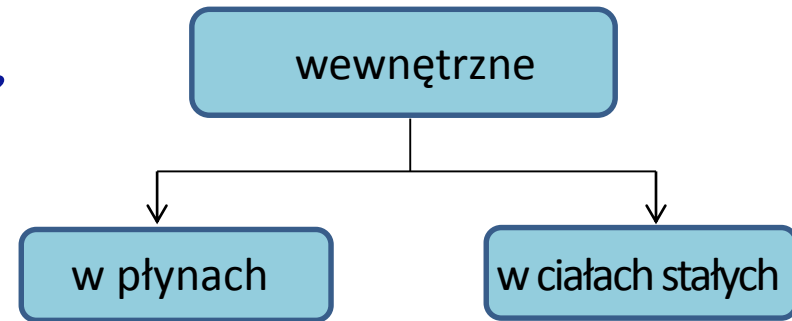


Rodzaje tarcia



Tarcie wewnętrzne

Tarciem wewnętrznym nazywamy oddziaływanie zachodzące między warstwami cieczy lub gazu, poruszającymi się względem siebie. W tarciu wewnętrznym nie występuje tarcie statyczne



Prawo Stokesa – obowiązuje dla kulki poruszającej się w płynie z małą prędkością

$$F_T = 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta \cdot v$$

F_T – siła oporu płynu
 R – promień kulki
 η – lepkość płynu
 v – prędkość kulki

Opór płynu dla średnich prędkości ruchu obiektu

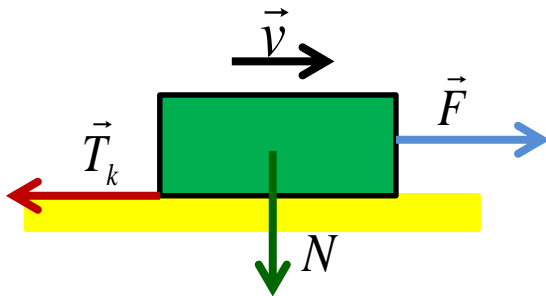
$$F_e = C \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S$$

v – prędkość poruszającego się obiektu
 ρ – gęstość płynu
 S – pole przekroju poprzecznego obiektu
 C – współczynnik zależny od kształtu ciała (niemianowany)



Tarcie zewnętrzne

Tarcie kinetyczne występuje wówczas, gdy ciała przemieszczają się względem siebie

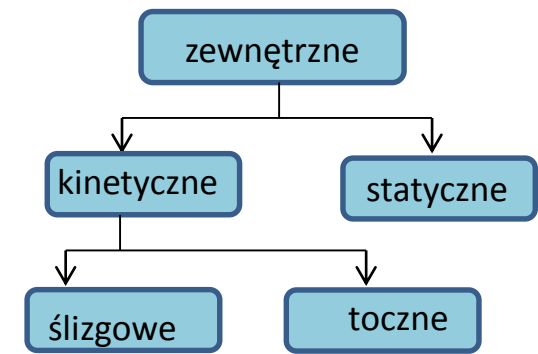


$$f = \frac{T}{N}$$

f – współczynnik tarcia (wielkość niemianowana)

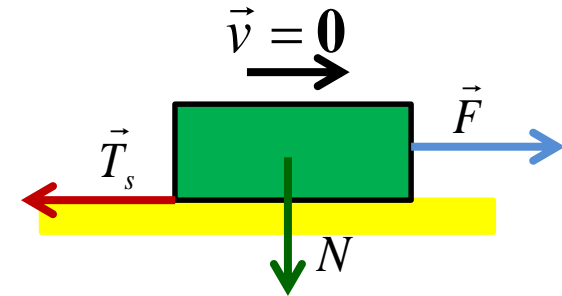
T – siła tarcia posuwistego (W układzie SI w niutonach N)

N – siła dociskająca trące powierzchnie (W układzie SI w niutonach N)



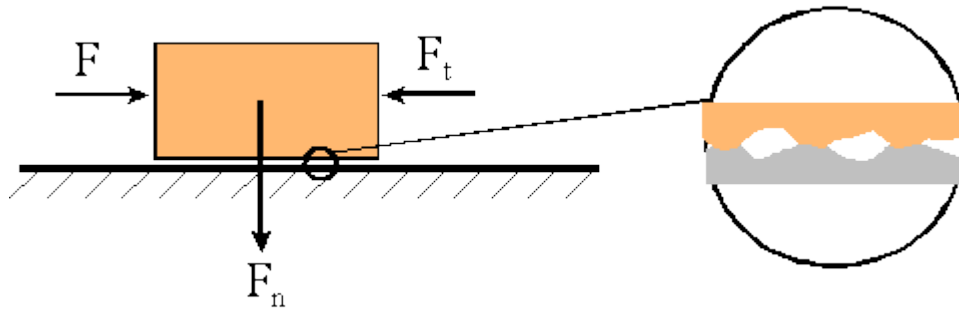
Tarcie statyczne

ciało nie porusza się – siła tarcia statycznego równoważy siłę działającą na ciało. Maksymalna wartość, jaką może osiągnąć siła tarcia statycznego równa jest wartości siły potrzebnej aby poruszyć ciało



Tarcie kinetyczne ślizgowe i toczone

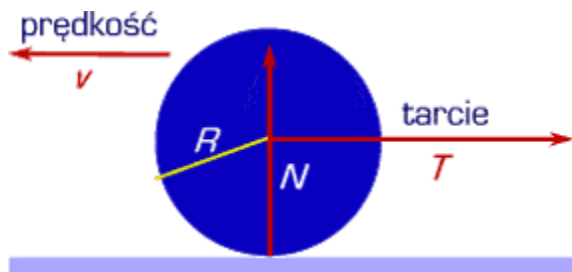
Tarcie ślizgowe



gdy ruch polega na przesuwaniu jednego ciała po drugim

$$f = \frac{T}{N}$$

Tarcie toczone



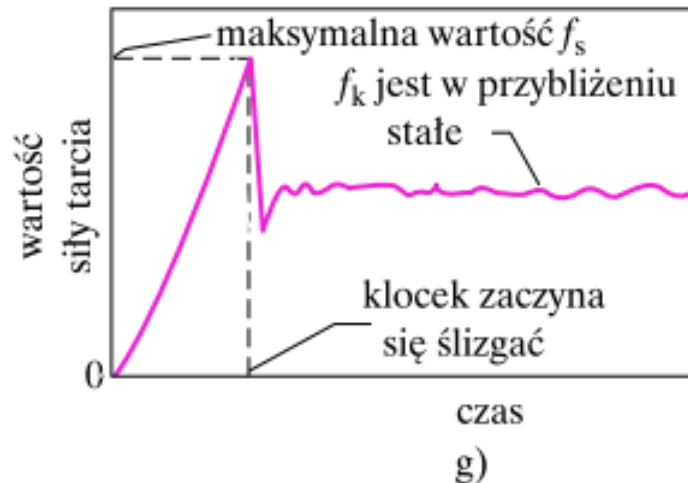
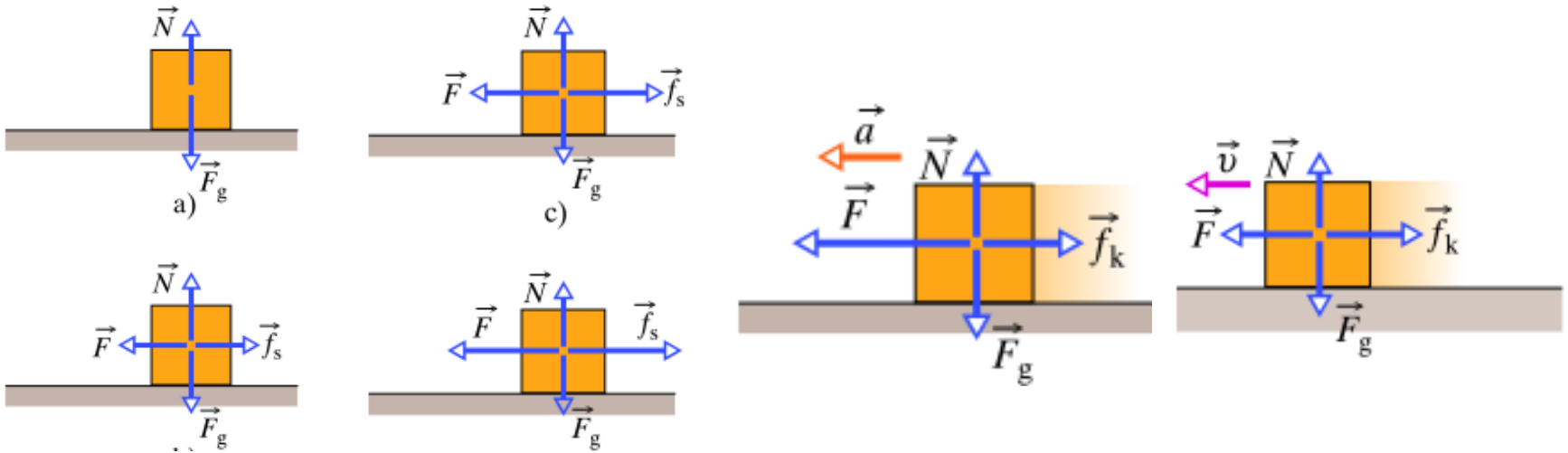
$$f = \frac{T}{N} R$$

gdy ruch polega na toczeniu się jednego ciała po powierzchni drugiego

f - współczynnik tarcia tocznego
 T - siła tarcia tocznego
 N - siła dociskająca powierzchnie
 R - promień toczącego się koła lub walca



Sily działające na klocek



III zasada dynamiki Newtona

Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą F_{AB} , to ciało B działa na ciało A siłą F_{BA} , o takim samym kierunku i wartości jak F_{AB} , ale przeciwnym zwrocie.

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

