

Fizyka1A – NS

Wykład #3

Janusz Andrzejewski

Plan

- Kinematyka a dynamika
- Dynamika – wprowadzenie
 - Pojęcie masy oraz siły
 - 1 zasada dynamiki Newtona (nieformalnie)
 - 2 zasada dynamiki Newtona (nieformalnie)
 - 3 zasada dynamiki Newtona (nieformalnie)
- **Współczesne sformułowanie zasad dynamiki**
- Przykłady sił
 - Siła ciężkości
 - Siła normalna
 - Siła tarcia
 - Siła naprężenia

Kinematyka a dynamika

- Kinematyka
 - Matematyczny opis ruchu
 - Definicja położenia, prędkości i przyśpieszenia oraz relacji pomiędzy nimi
 - Określa też ewolucję w czasie położenia, prędkości czy przyśpieszenia
- Dynamika
 - Dlaczego ciała się poruszają
 - Co powoduje że ciało przyśpiesza

Własności tego co powoduje przyśpieszenie oraz relacje pomiędzy tym co powoduje przyśpieszenie a samym przyśpieszeniem są treścią zasad dynamiki Newtona

Bezwładność



Bezwładność (inercja)

PWN 1998:
właściwość układu fizycznego (ciała)
charakteryzująca jego podatność na
zmiany stanu (ruchu)

- dążenie układu do zachowania w stanie, w którym się znajduje
- dążenie ciał do pozostawania w spoczynku lub w ruchu
- „opór” stawiany przez układ, gdy próbujemy zmienić jego stan
np. gdy próbujemy wprowadzić w ruch lub zatrzymać ciało

Co wywołuje ruch?



Zmiana prędkości pochodzi od oddziaływania ciała z innym ciałem.

Oddziaływanie, które może nadać ciału przyspieszenie nazywamy **siłą**.

Siła może także zmienić kształt ciała

Definicje

Siła - w powszechnym użyciu służy przy opisywaniu jak ciągniemy lub pchamy
Siła to wielkość wektorowa, która jest miarą oddziaływania mechanicznego innych ciał (otoczenia) na dane ciało.

Jest to oddziaływanie, które może nadać ciału przyspieszenie lub zmienić jego kształt

Masa ciała to wielkość fizyczna, charakteryzująca ciało:

- miara „liczebności” materii (stąd stare definicje typu wzorca masy w Sèvres pod Paryżem albo definicje oparte na izotopie węgla C¹²);
- miara bezwładności ciała, czyli jego reakcja na działającą nań siłę oraz prędkość, osiągnięta pod działaniem tej siły.

Jest to wielkość **skalarna**.

„Masa ciała jest tą jego cechą, która wiąże siłę przyłożoną do ciała z uzyskiwanym przez nie przyspieszeniem”.

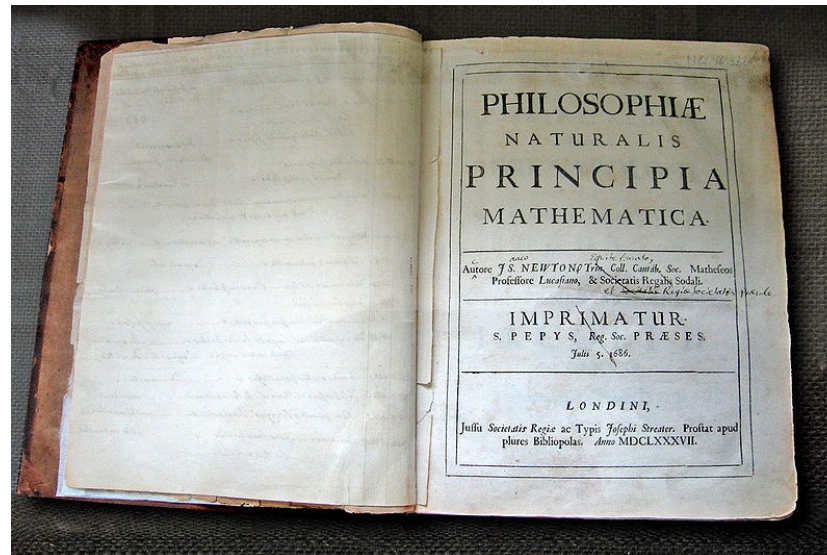
Masa jest addytywna

$$m = m_1 + m_2$$

Zasady dynamiki

Zasady dynamiki - relacje pomiędzy siłami i wynikającymi z nich ruchem.

Trzy podstawowe prawa – zasady dynamiki Newtona



Isaac Newton, 'Matematyczne zasady filozofii naturalnej', pierwsze wydanie - 1687

1 zasada (zasada bezwładności) – nieformalnie

Każde ciało trwa w swym stanie spoczynku lub w ruchu Prostoliniowym jednostajnym, jeśli siły przyłożone nie zmuszają ciała do zmiany tego stanu.

I zasada: Jeżeli wypadkowa sił działających na ciało jest równa zero, to porusza się ono z zerowym przyspieszeniem.

Jeżeli ciało spoczywa, to pozostanie w spoczynku, a jeśli się porusza, to będzie się nadal poruszać z tą samą prędkością (o tej samej wartości i kierunku).

1 zasada dynamiki

Zasada bezwładności w ujęciu Newtona ma dwie „wady”:

- przyjmuje, że można zdefiniować bezwzględny spoczynek i ruch
- zakłada, że na ciało mogą nie działać żadne siły

Układ odniesienia

Newton zakładał że istnienie „przestrzeń absolutna”, która „pozostaje zawsze taka sama i nieruchoma”, że istnieje „absolutny” układu odniesienia

Dziś wiemy, że taki układ nie istnieje.

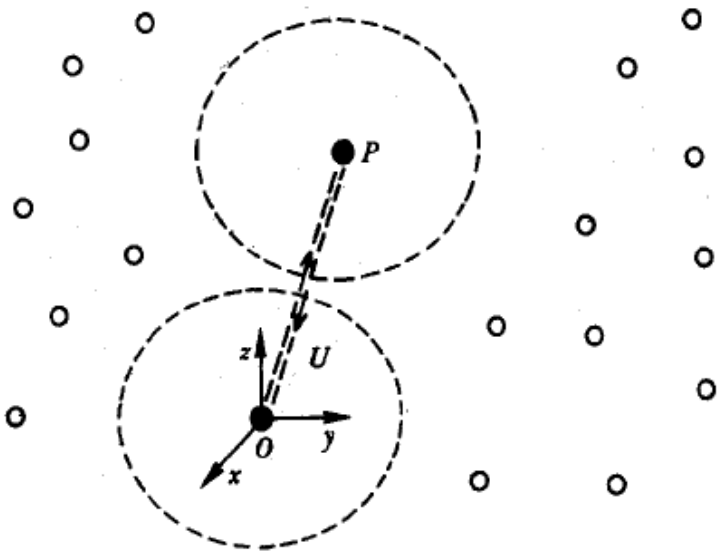
Względem jakiego układu spełniona jest I zasada dynamiki ?

Zasad ta, obala naukę Arystotelesa: gdy nie ma sił zewnętrznych, ciała muszą się zatrzymać!

Ciało izolowane

Aby na ciało nie działały żadne siły musi być odizolowane od wpływu innych ciał. Bardzo trudno o „doskonałą” izolację.

Wszystkie znane nam siły maleją z odległością
ciało uznamy za izolowane jeśli będzie dostatecznie daleko od innych ciał.



Aby zweryfikować zasadę bezwładności musimy mieć **dwa ciała izolowane:**

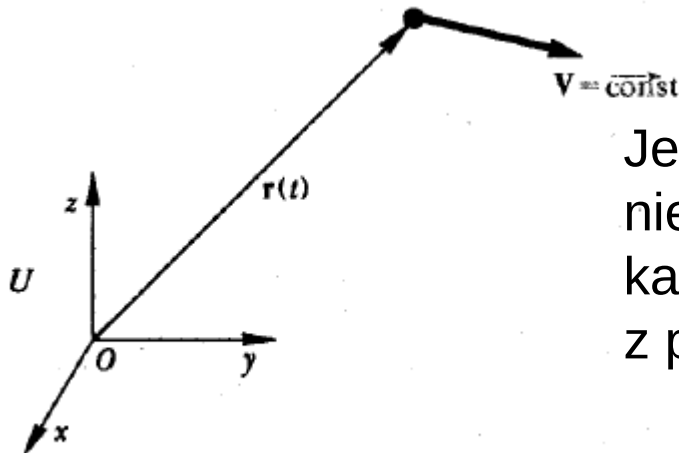
ciało obserwowane i układ odniesienia.

Ale każda obserwacja jest związana z jakimś **oddziaływaniem !...**

Nigdy nie spełnimy idealnych warunków...

Układ inercjalny

Układ w którym obowiązuje I zasada dynamiki nazywamy **układem inercjalnym**.

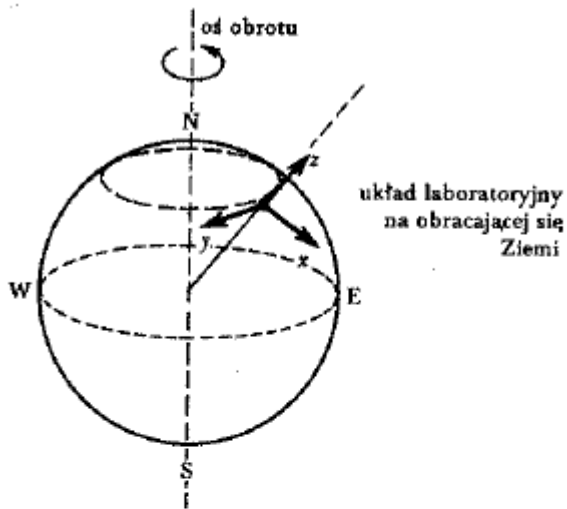


Jeśli istnieje jeden układ inercjalny to istnieje nieskończenie wiele układów inercjalnych. każdy inny układ poruszający się względem niego z prędkością $V = \text{const}$

Zasada bezwładności jest równoważna z postulatem:

Istnieje układ inercjalny

Układ inercjalny

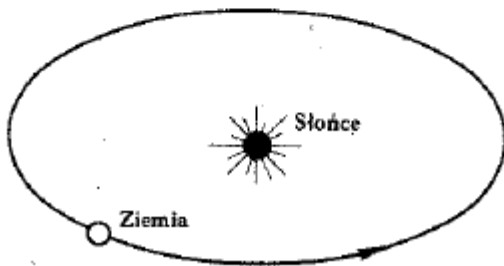


Jaki układ możemy uznać za inercjalny ?
Wszystko zależy od zagadnienia
i dokładności pomiaru

Rotacja Ziemi: $a_z \approx 0.03 \text{ m/s}^2 \approx 0.003g$

Obieg wokół słońca: $a_s \approx 0.006 \text{ m/s}^2$

Rotacja Galaktyki: $a_G \approx 0.000\ 000\ 000\ 3 \text{ m/s}^2$

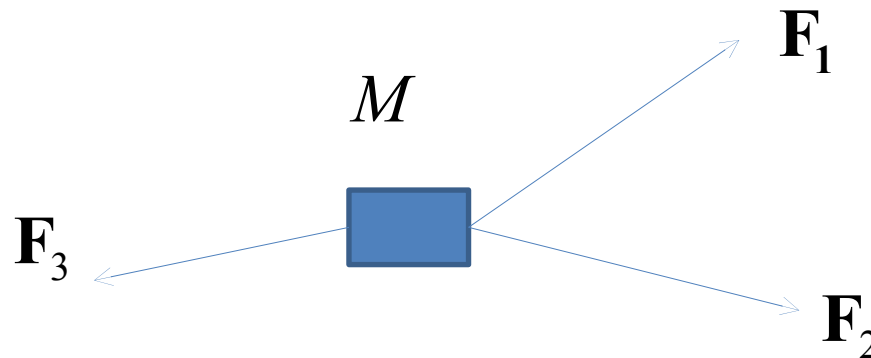


Na ogół wystarczy układ laboratoryjny
(związany z Ziemią)

2 zasada dynamiki

Zmiana ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i odbywa się w kierunku prostej, wzdłuż której siła jest przyłożona.

Problem:



Zasada superpozycji:

Jeśli na ciało działa jednocześnie wiele sił, wtedy przyśpieszenie ciała wywołane przez te siły jest takie samo jak przyśpieszenie wywołane przez siłę wypadkową

$$\mathbf{F}_{\text{wyp}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3$$

Superpozycja sił

Gdy na ciało działają dwie lub więcej sił, ich siłę wypadkową otrzymujemy, dodając wektorowo poszczególne siły składowe.

Zasada superpozycji: działanie siły wypadkowej na ciało jest takie samo, jak łączne działanie sił składowych.



2 zasada dynamiki – nieformalnie

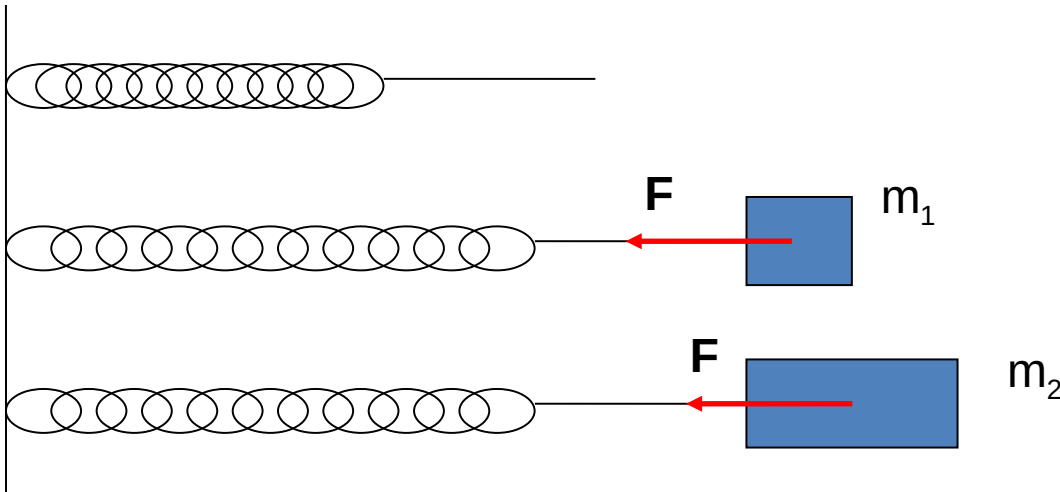
II zasada: Siła wypadkowa działająca na ciało jest równa iloczynowi masy tego ciała i jego przyspieszenia.

Można to zapisać w postaci równania:

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

Masa ciała jest tą jego cechą, która wiąże siłę przyłożoną do ciała, z uzyskiwanym przez nie wówczas przyspieszeniem

Jak mierzyć masę?



Wynik doświadczenia: $m_1 a_1 = m_2 a_2$

Niech $m_1 = 1 \text{ kg}$, $a_1 = 1 \text{ m/s}^2$, ile wynosi m_2 ?

Aby to stwierdzić musimy zmierzyć a_2 .

Niech $a_2 = 0.25 \text{ m/s}^2$. Dostajemy:

$$m_2 = m_1 \frac{a_1}{a_2} = (1 \text{ kg}) \frac{1 \text{ m/s}^2}{0.25 \text{ m/s}^2} = 4 \text{ kg}$$

3 zasada(zasada akcji i reakcji) – nieformalnie

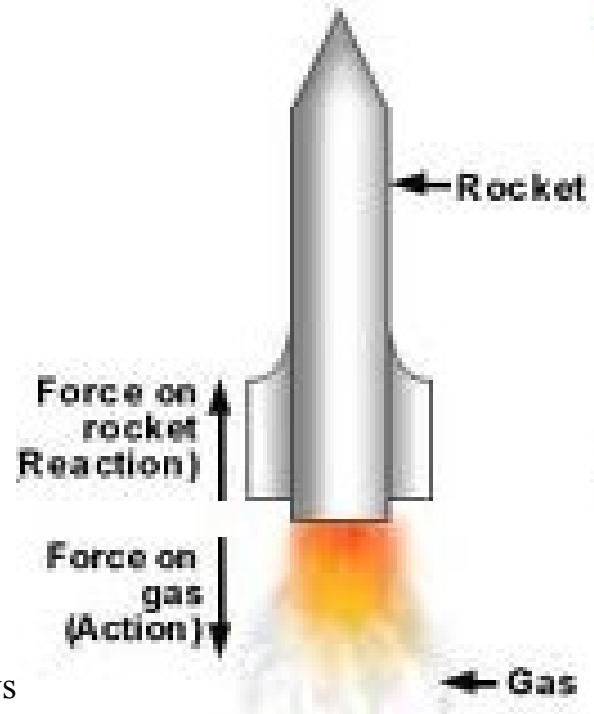
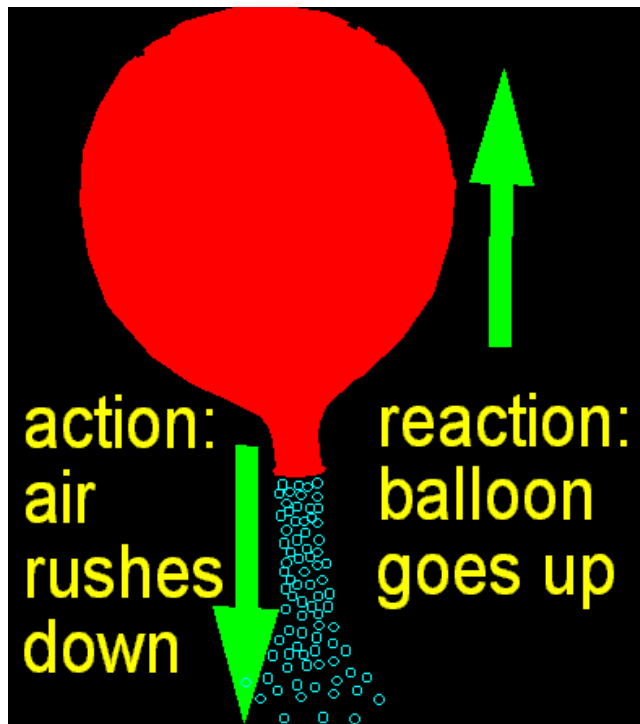
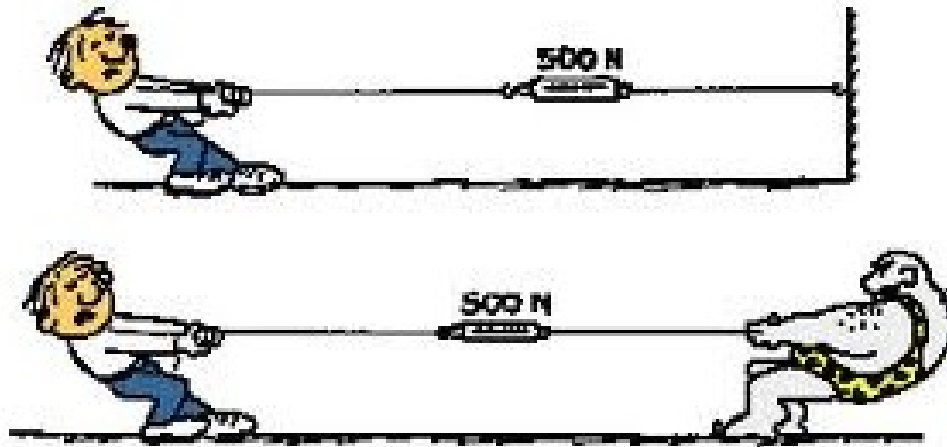
III zasada: Gdy dwa ciała oddziałują ze sobą, siły, jakim działają one na siebie mają taką samą wartość bezwzględną i przeciwne kierunki.



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

Siły występują tylko między obiektami. Nie ma siły działającej tylko na jedno ciało. Siły występują parami.

3 zasada - przykłady



3 zasada - Uwagi

- Para sił akcja-reakcja działa na różne obiekty
- Para sił akcja-reakcja się nie równoważą
- Ciało jest przyspieszane tylko pod wpływem siły działającej na nie
- Siła mająca źródło w danym ciele nie wpływa na ruch tego ciała

3 zasady dynamiki – ujęcie współczesne

1) W inercjalnym układzie odniesienia, jeśli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

2) W inercjalnym układzie odniesienia jeśli siły działające na ciało nie równoważą się (czyli wypadkowa sił jest różna od zera), to ciało porusza się z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

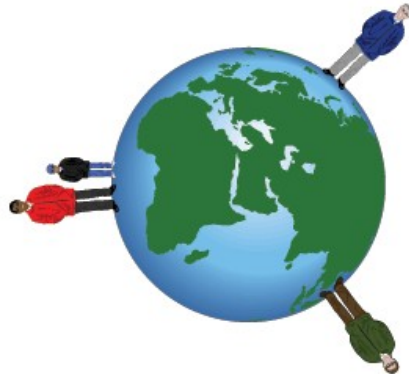
3) Oddziaływania ciał są zawsze wzajemne. W inercjalnym układzie odniesienia siły wzajemnego oddziaływania dwóch ciał mają takie same wartości, taki sam kierunek, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (każda działa na inne ciało).

Kilka ważnych sił – siła ciężkości

Siła ciężkości (grawitacji) – siła jaką dane ciało jest przyciągane przez Ziemię.

$$F_g = mg$$

Siła ciężkości jest skierowana do środka Ziemi.



Kilka ważnych sił - ciężar

Ciężar W ciała – wartość bezwzględna siły potrzebnej do zapobieżenia spadkowi ciała, mierzonej przez obserwatora na Ziemi.

Z II zasady dynamiki:

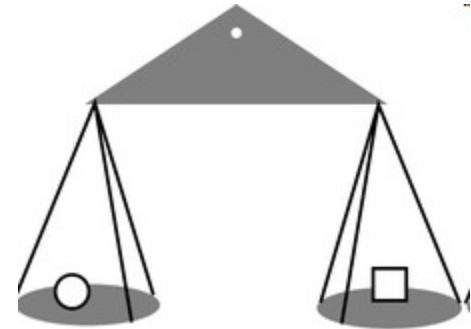
$$F_{\text{wyp},y} = ma_y$$

czyli:

$$W - F_g = m \cdot 0$$

$$W = F_g$$

$$W = mg$$



Ważenie ciała jest to wyznaczenie jego ciężaru. Waga równoramienna jest w równowadze, gdy siły ciężkości działające na ciało ważone, jest równa sile ciężkości działającej na odważniki na drugiej szalce. Ponieważ g jest takie samo w miejscach obu szalek, równość ciężarów oznacza równość mas.²²

Masa i ciężar

Ciężar ciała to inna wielkość fizyczna niż jego masa.

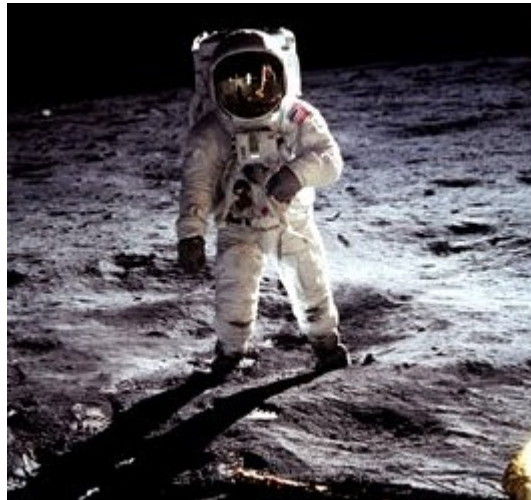
Ziemia



$$m = 136 \text{ kg}$$

$$W = 136 \cdot 9.8 = 1332 \text{ N}$$

Księżyc



$$m = 136 \text{ kg}$$

$$W = 136 \cdot 1.7 = 231 \text{ N}$$

Przestrzeń
kosmiczna

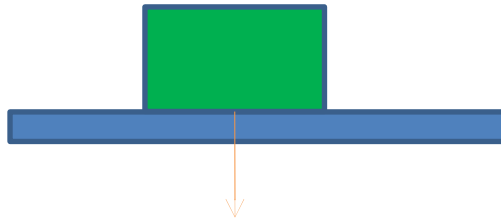


$$m = 136 \text{ kg}$$

$$W = ?$$

Kilka ważnych sił – siła normalna

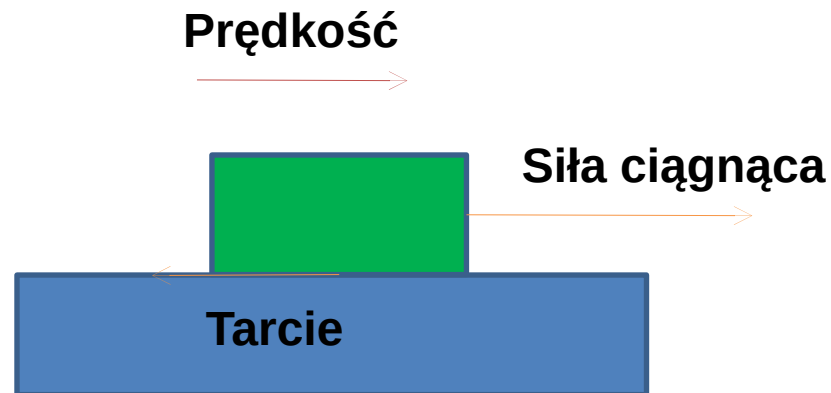
Siła normalna – siła skierowana prostopadle do powierzchni



Siła normalna może pochodzić od różnych sił. Opisuje ona cechy jakie ma siła.

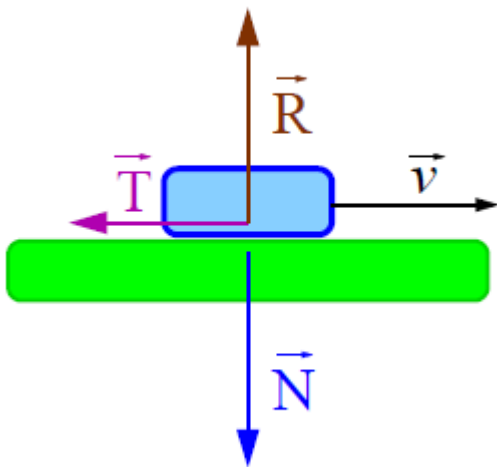
Kilka ważnych sił – siła tarcia

Gdy ciało porusza się po powierzchni, ruchowi temu przeciwdziała oddziaływanie między ciałem, a powierzchnią. Oddziaływanie to wytwarza **siłę tarcia**. Jest ona skierowana wzdłuż powierzchni, przeciwnie do kierunku ruchu.



Tarcie kinematyczne

- Siła pojawiająca się między dwoma powierzchniami poruszającymi się względem siebie, dociskanymi siłą N .



Ścisły opis sił tarcia jest bardzo skomplikowany .
W praktyce opisujemy poprzez **prawo empiryczne**

$$\vec{T} = -\mu_k \vec{i}_v N \quad \vec{i}_v = \frac{\vec{v}}{v}$$

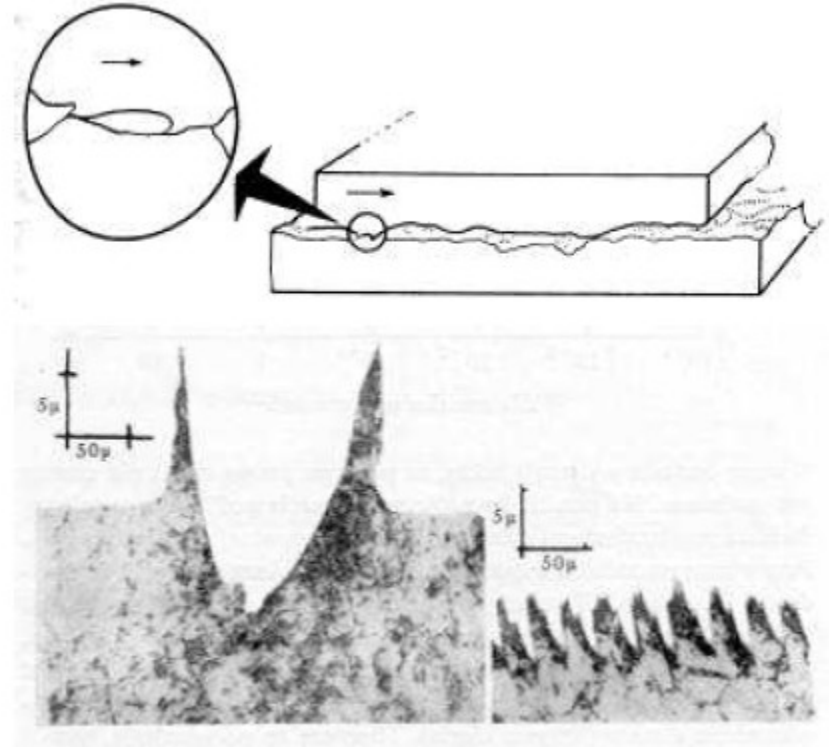
Siła tarcia kinetycznego:

- jest proporcjonalna do siły nacisku
- nie zależy od powierzchni zetknięcia
- nie zależy od prędkości

Tarcie

Obraz mikroskopowy

Tarcie wywołane jest przez oddziaływanie elektromagnetyczne cząstek stykających się ciał.
Powierzchnie nigdy nie są idealnie równe na poziomie mikroskopowym
cząstki jednego ciała „blokują drogę”
cząstkom drugiego ciała
muszą zostać “odepchnięte”

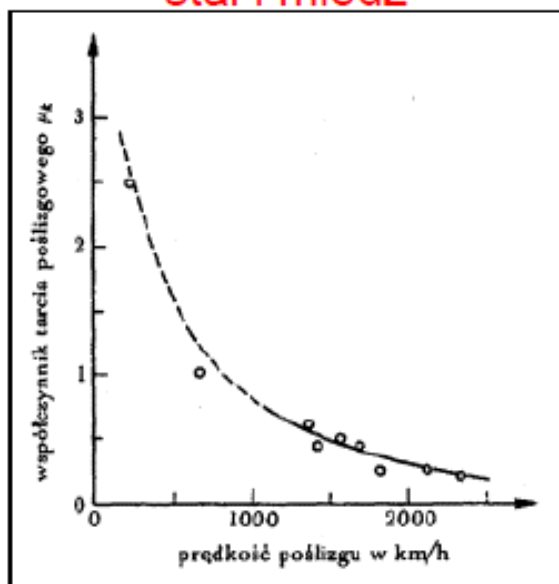


Wypolerowana miedź

Tarcie – odstępstwo od praw empirycznych

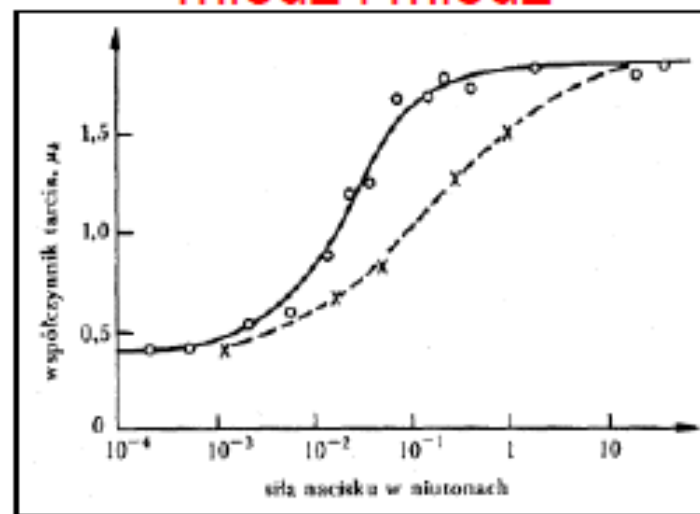
Przy dużych prędkościach może się pojawić zależność μ_k od prędkości v :

stal i miedź



Przy dużych siłach dociskających mogą się pojawić odstępstwa od zależności liniowej:

miedź i miedź

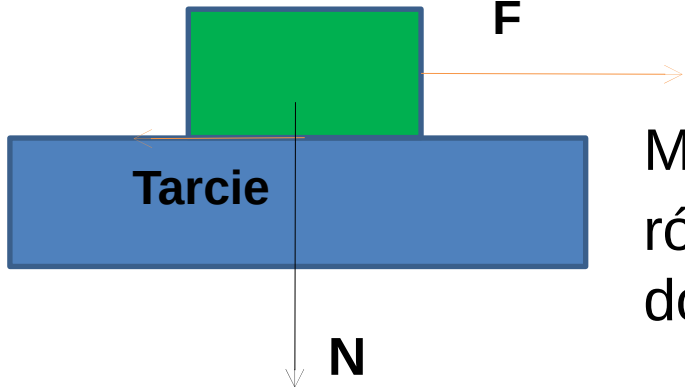


Przy bardzo dużych prędkościach miedź ulega chwilowemu stopieniu...

Przy dużym nacisku zniszczeniu ulega warstwa tlenków na powierzchni miedzi...

Tarcie statyczne

Prędkość=0 !!!



-siła działająca między dwoma powierzchniami nieruchomymi względem siebie, dociskana siłą N .

Maksymalna siła tarcia statycznego T_{\max}^s jest równa najmniejszej sile F jaką należy przyłożyć do ciała, aby ruszyć je z miejsca.

Ciało się nie przesuwa pod wpływem działania siły F , ponieważ działa tarcie statyczne

Prawo empiryczne

$$\vec{T}_{\max}^s = -\mu_s \vec{i}_F N \quad \vec{i}_F = \frac{\vec{F}}{F}$$

Tarcie statyczne

Póki przyłożona siła F jest mała, tarcie statyczne utrzymuje ciało w spoczynku:

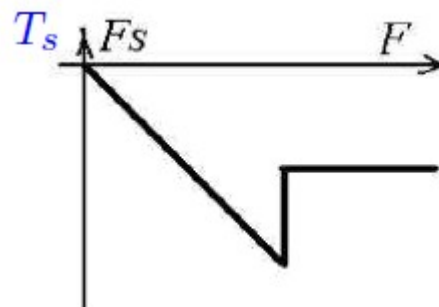
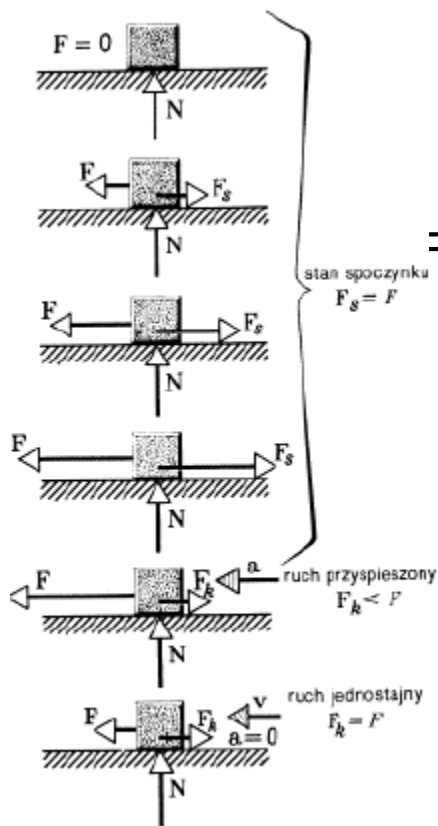
$$\mathbf{T}_s = -\mathbf{F}$$

=> siła tarcia rośnie proporcjonalnie do przyłożonej siły

Gdy przyłożona siła przekroczy wartość

$$\mathbf{T}_{\max} = \mu_s \cdot \mathbf{N}$$

ciało zaczyna się poruszać => tarcie kinetyczne



Tarcie kinetyczne na ogół słabsze od spoczynkowego: $\mu_k < \mu_s$

Tarcie

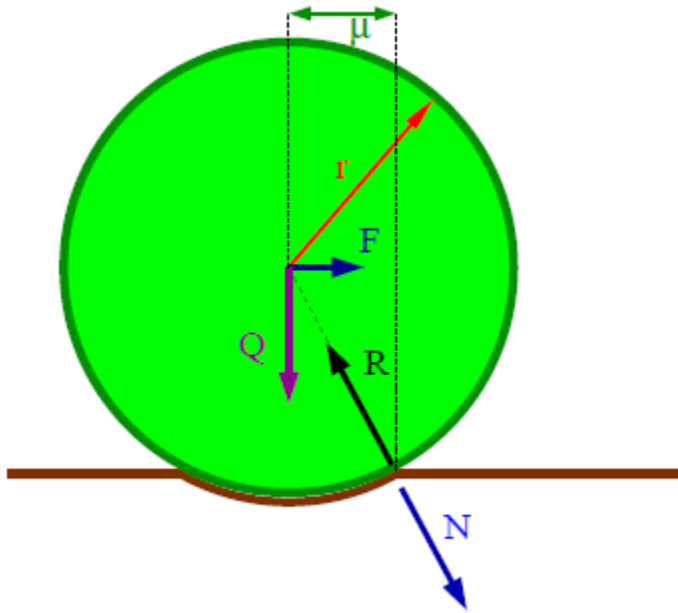
Przykładowe współczynniki dla wybranych materiałów:

materiały	μ_s	μ_k
stal o stal	0,15	0,03 – 0,09
stal o lód	0,027	0,014
drewno o drewno	0,65	0,2 – 0,4
guma o beton suchy	1,0	0,7
guma o beton mokry	0,7	0,5

Hamowanie samochodu:
ważne aby koła nie zaczęły się ślizgać

- poślizg $\Rightarrow \mu_k$
 - dobry kierowca lub ABS $\Rightarrow \mu_s$
- zysk 40% na drodze hamowania**

Tarcie toczne



Poza tarciem statycznym i kinetycznym (poślizgowym) mamy tarcie toczne:

$$\mathbf{T}_t = -\mu_t \dot{i}_F \frac{N}{r}$$

Współczynnik tarcia tocznego μ_t jest zwykle bardzo mały.

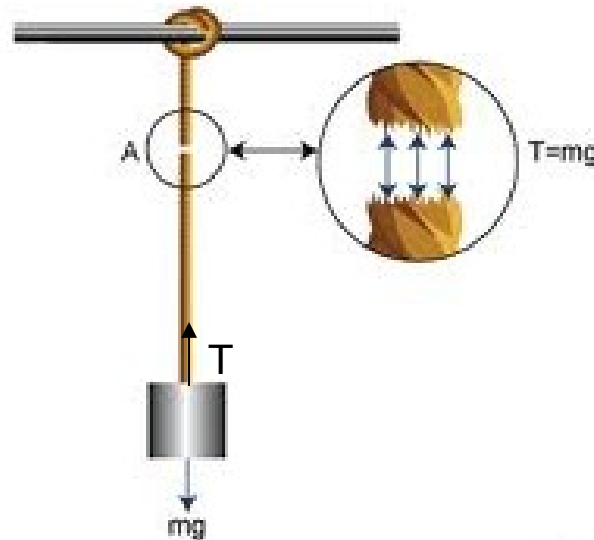
Przykładowo:

- drewno + drewno $\Rightarrow \mu_t = 0,0005$ m
- stal hartowana + stal $\Rightarrow \mu_t = 0,00001$ m
(wymiar długości!)

Toczące się ciało odkształca zawsze powierzchnię po której się toczy.

Kilka ważnych sił – naprężenie

Gdy nić jest przymocowana do ciała i naciągnięta, działa ona na ciało siłą T , skierowaną wzdłuż nici. Siłę tę nazywamy naprężeniem. Naprężenie nici ma wartość T , równą wartości siły działającej na ciało.



Dziękuję za uwagę.