

RUCH W PRZESTRZENI

OGÓLNA KLASYFIKACJA

Ruch ciał w przestrzeni:

- formy: kinematyka
- przyczyny: dynamika



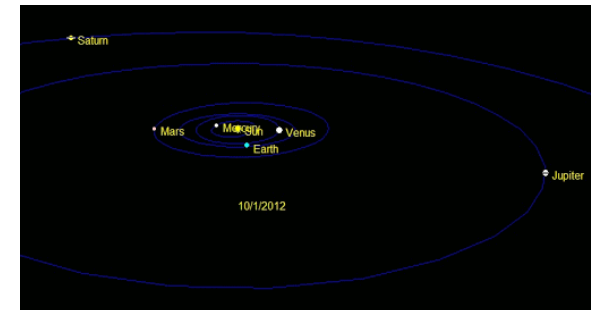
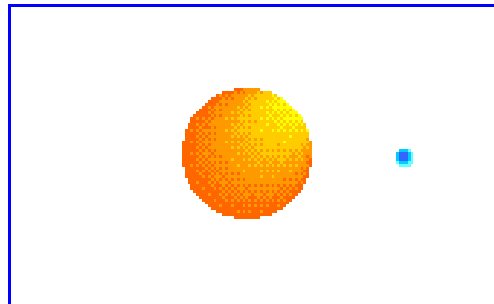
Opis ruchu ciał w przestrzeni: możliwy tylko przy znacznych przybliżeniach (uproszczeniach)

Podstawowa idea (Newton - 1685): **punkt materialny**
obiekt materialny posiadający masę, dla którego wymiar (wielkość) względem przestrzeni może być pominięty !

Ruch ciała: ruch punktu materialnego opisany (modelowany) przy pomocy parametrów fizycznych powiązanych relacjami matematycznymi

Przykłady:

- elektron w atomie np. H
- piłka tenisowa względem kortu
- planety w Układzie Słonecznym



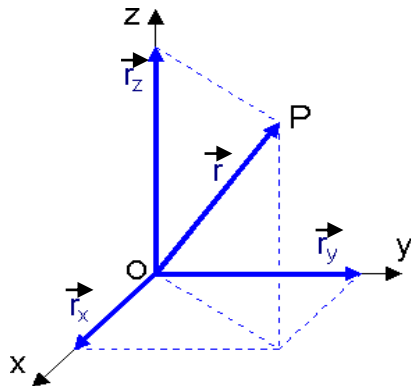
KINEMATYKA

Ruch punktu materialnego w przestrzeni: podstawowe koncepcje i parametry

POZYCJA W PRZESTRZENI

Położenie w układzie współrzędnych – układzie odniesienia

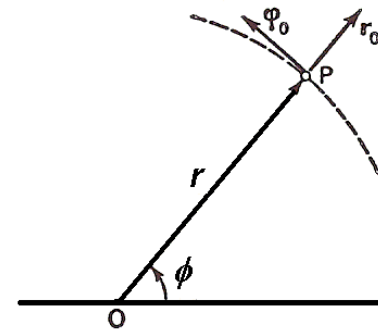
Prostokątny (Kartezjański)



$$\vec{r} = \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z$$

$$|\vec{r}| = \sqrt{|\vec{r}_x|^2 + |\vec{r}_y|^2 + |\vec{r}_z|^2}$$

Biegunowy



$$d\vec{r} = \vec{r} \times d\phi$$

Airspeed = Ground Speed - Wind Speed

Wind Speed **-20**



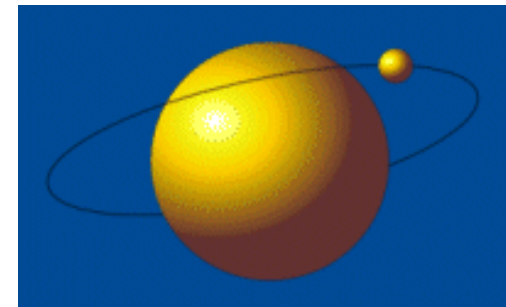
Ground Speed **0**

Wind Speed **+20**



Ground Speed **0**

Lift-off Airspeed = 120



KINEMATYKA

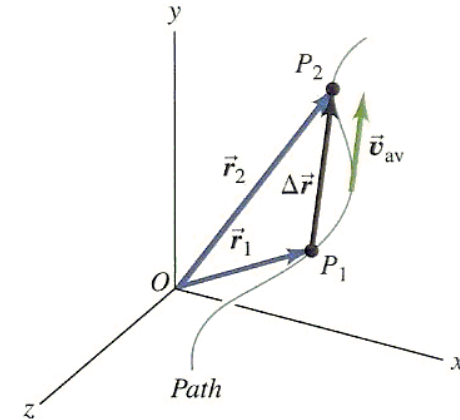
RUCH

Względna zmiana położenia cząstki w układzie odniesienia

PRZEMIESZCZENIE

wektor względnej zmiany położenia w układzie odniesienia

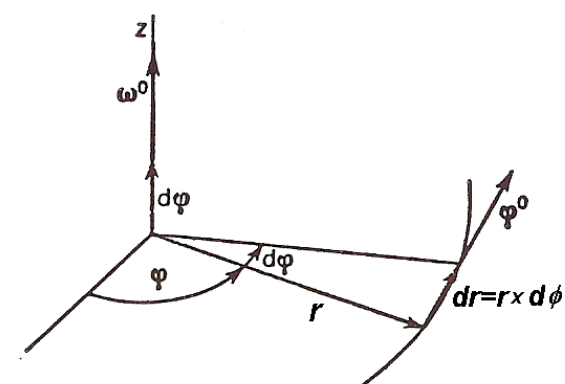
- **liniowe:**
wartość wektora przemieszczenia
interwał przestrzenny dwóch punktów (1 i 2)



$$r_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

- **kątowe:**
wartość wektora przemieszczenia
interwał kątowy dwóch punktów (1 i 2)

$$d\vec{r} = \vec{r} \times d\vec{\phi}$$

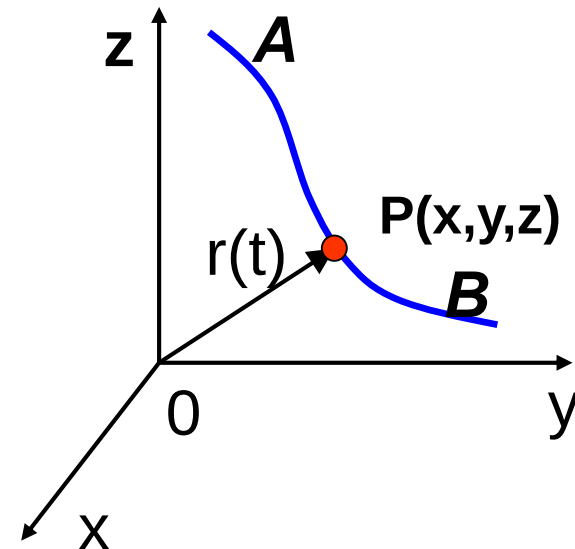


KINEMATYKA

TOR RUCHU (TRAJEKTORIA)

Linia zataczana przez cząstkę w trakcie ruchu - miejsce geometryczne punktów łączących końce wektora przemieszczenia

$$\vec{r}(t) = x(t) \cdot \vec{i} + y(t) \cdot \vec{j} + z(t) \cdot \vec{k}$$



ODLEGŁOŚĆ

wewnętrzna długość trajektorii (toru ruchu) pokonanej przez cząstkę pomiędzy wybranymi punktami (A-B) w przestrzeni

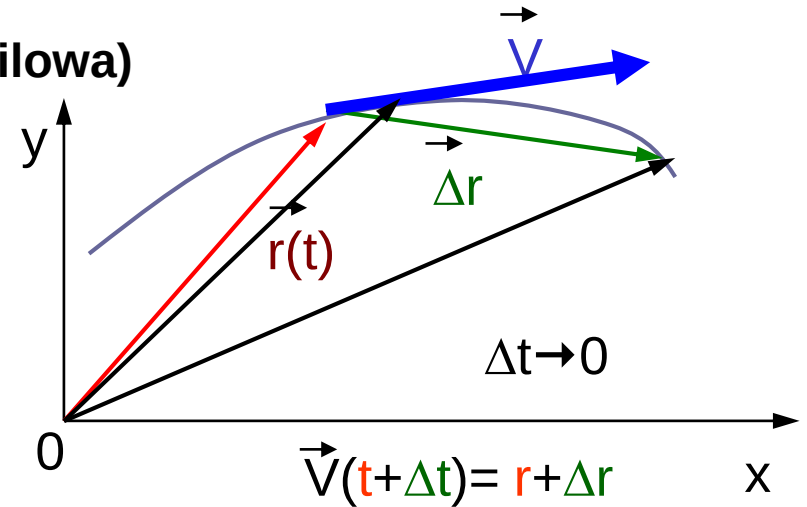
$$S_{AB} = \int_A^B \frac{dr}{dt} dt = \int_A^B v \cdot dt$$

KINEMATYKA

PRĘDKOŚĆ

pierwsza pochodna położenia w czasie (chwilowa)

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$



- liniowa

pierwsza pochodna współrzędnych w czasie

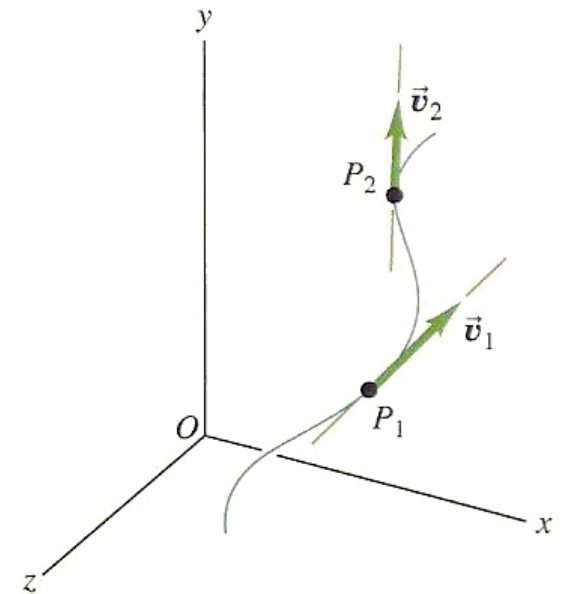
$$\vec{v}_x = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad \vec{v}_y = \frac{d\vec{y}}{dt} \quad \vec{v}_z = \frac{d\vec{z}}{dt}$$

- kątowa

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt}$$

- liniowa vs kątowa

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\alpha}{dt} \times \vec{r} = \omega \times \vec{r}$$



KINEMATYKA

PRZYSPIESZENIE

Pierwsza pochodna wektora prędkości w czasie – druga pochodna wektora położenia w czasie

- liniowe

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

- kątowe

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$$

liniowe vs kątowe

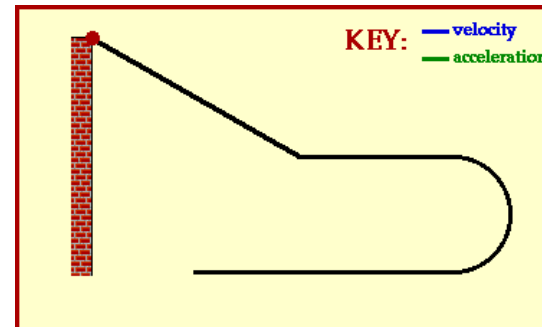
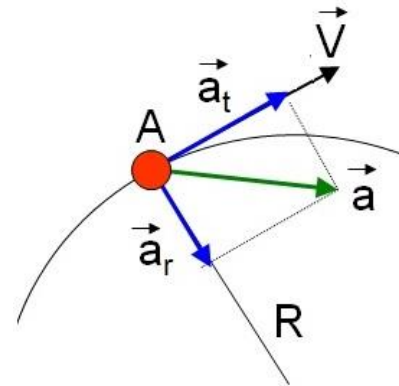
$$\varepsilon = \frac{a}{r}$$

Kombinacja ruchów:
liniowego i kątowego



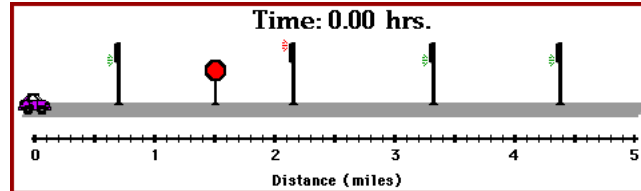
dwie składowe:

- radialne a_r
- styczne a_t



KINEMATYKA

GEOMETRYCZNA KLASYFIKACJA RUCHÓW



- prostoliniowy :

- stała prędkość

$$x = x_0 + v(t - t_0)$$

- stałe przyspieszenie

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$$

gdzie:

$$v - v_0 = a(t - t_0)$$

- krzywoliniowy :

- stała prędkość kątowna

$$\phi = \phi_0 + \omega(t - t_0)$$

- stałe przyspieszenie kątowe

$$\phi = \phi_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\varepsilon(t - t_0)^2$$

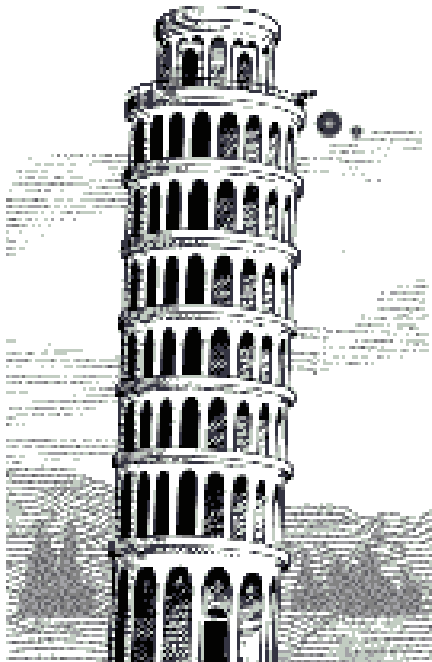
gdzie:

$$\omega - \omega_0 = \varepsilon(t - t_0)$$

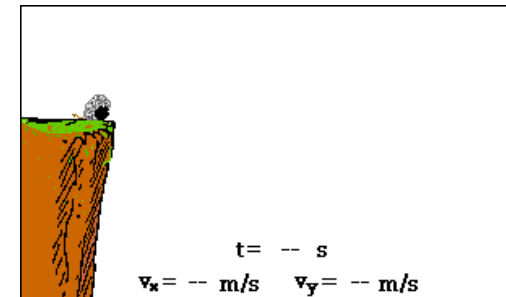
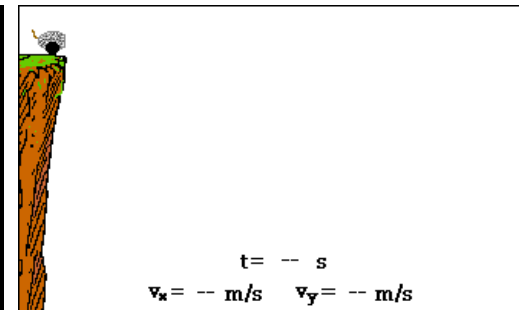
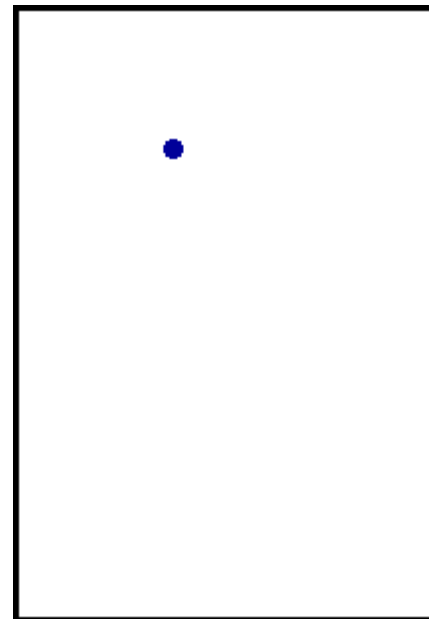
KINEMATYKA

RUCHY W POLU GRAWITACYJNYM

SPADEK SWOBODNY (stałe g)



RZUT POZIOMY (stała v i stałe g)



Równania ruchu – zależności na prędkość i drogę w funkcji czasu:

$$v_y = g \cdot t$$

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$v_x = v_o = \textit{const}$$

$$x = v_o \cdot t$$

KINEMATYKA

RUCHY W POLU GRAWITACYJNYM

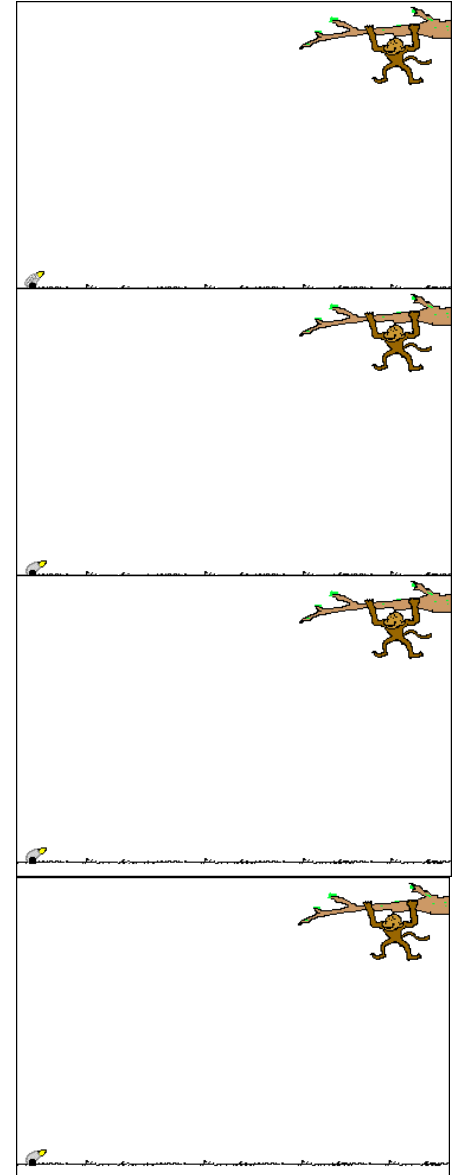
- **RZUT UKOŚNY** (stałe g)

Przykład:

Spadająca małpa próbuje złapać banana:

Możliwości: 2

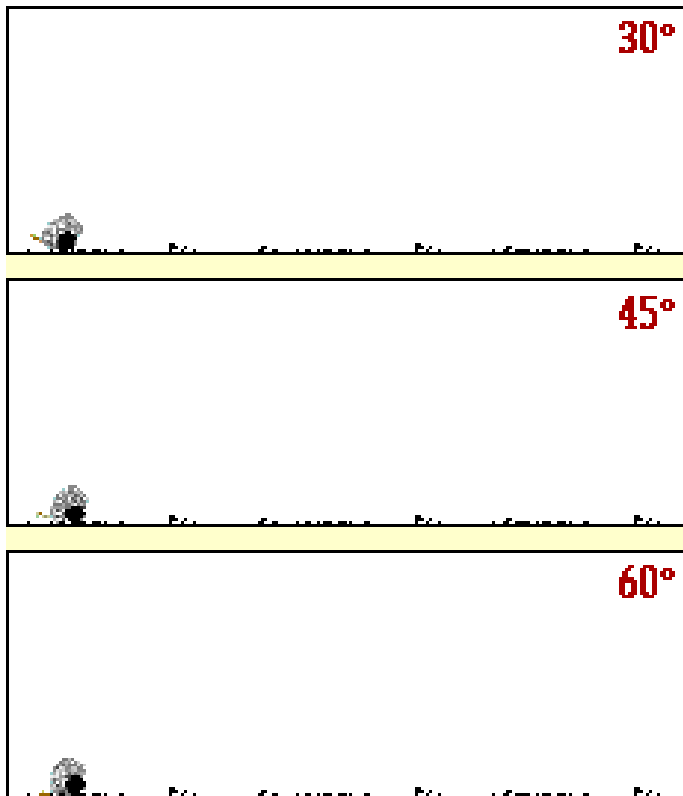
- tory ruchu małpy i banana nigdy się nie przecinają !
- tory ruchu małpy i banana (dla różnych kątów) przecinają się **w jednym odpowiednim momencie !**



KINEMATYKA

RUCHY W POLU GRAWITACYJNYM

- RZUT UKOŚNY** (stałe g)



Równania ruchu:

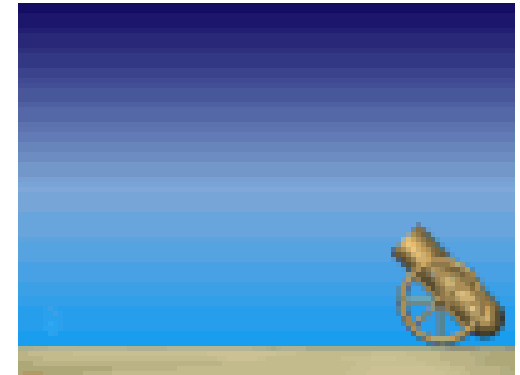
$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt$$

Warunki brzegowe:

dla $v_y = 0$

dla $y = 0$



$$x = v_0 t \cos \alpha$$

$$y = v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$y_m = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$
$$x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

RUCH W PRZESTRZENI

OGÓLNA KLASYFIKACJA

- formy: kinematyka
- przyczyny: dynamika



Opis ruchu ciał w przestrzeni: możliwy przy istotnych przybliżeniach (uproszczeniach)

Podstawowa idea (Newton): **punkt materialny**

Ruch ciała - ruch **punktu materialnego** opisany (modelowany) przy pomocy parametrów kinematycznych powiązanych relacjami matematycznymi - **dynamika**

Wszelka zmiana w ruchu (położenie, prędkość) cząstki możliwa po pokonaniu jej **oporu bezwładności (bezwładności)**

Miara bezwładności: **masa ciała (cząstki, punktu materialnego)**

względny parametr operacyjny: masa jednostkowa - **1 kg**

Podstawowa koncepcja (pojęcie) dynamiki: **pęd ciała (p.m.)**

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} = m \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Ruch ciała (cząstki, p.m.): **zlokalizowany transport pędu (energii)**

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

DYNAMIKA

Opis przyczyn ruchu - zmian położenia ciała w przestrzeni
przyczyna zmian w ruchu: oddziaływanie innych ciał (pól) poprzez **siłę**

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \frac{m \cdot d\vec{v} + \vec{v} \cdot dm}{dt}$$

Kolejne istotne uproszczenie: **masa w ruchu pozostaje niezmienna - $m = \text{constant}$**

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

Pod wpływem siły działającej na ciało doznaje ono przyspieszenia, ale jedynie **niezrównoważonej (wypadkowej)**!

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

II prawo Newtona (II zasada dynamiki punktu materialnego?)

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

II prawo (zasada) Newtona dynamiki punktu materialnego

PRZYKŁAD 1:

- Spadek swobodny słonia i piórka (opór powietrza pomijamy)

Pomijając opór powietrza oba ciała (o różnych masach i kształtach) doznają przyspieszenia grawitacyjnego

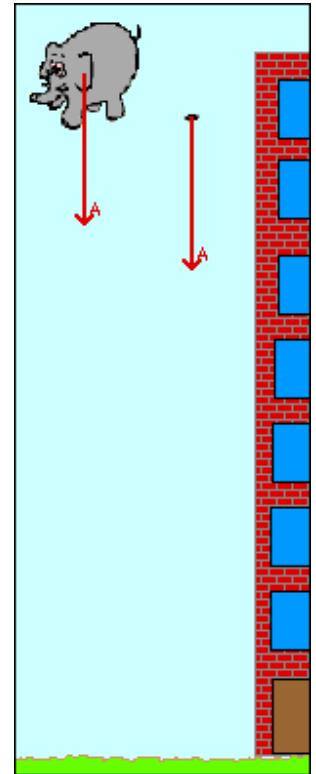
$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m}$$

Gdyby prędkość końcowa obu ciał była zależna tylko od czasu

$$\vec{v} = \vec{g} \cdot t$$

to powinna być identyczna dla obu ciał !

EWIDENTNA BZDURA !



Pytanie: czy możemy przyjąć takie założenie dla obu ciał?

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

II prawo (zasada) Newtona dynamiki punktu materialnego

PRZYKŁAD 2:

- Spadek swobodny słonia i piórka (opór powietrza uwzględniamy)

Oba ciała (o istotnie różnych masach i kształtach) poruszają się zupełnie inaczej - doświadają różnego przyspieszenia g

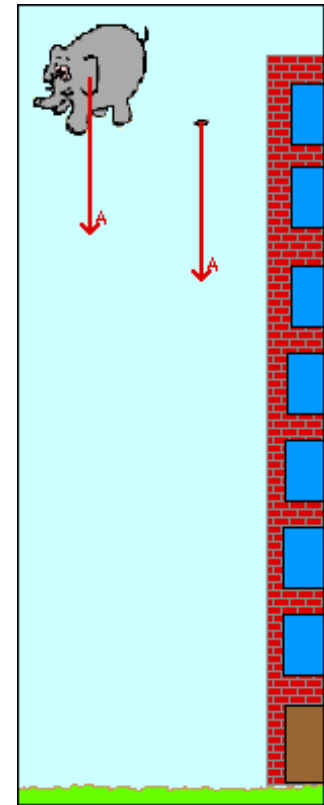
$$\vec{F}_{wyp} = G - F_{op}(\vec{v})$$

Prędkość końcowa obu ciał zależna od siły oporu powietrza jest zupełnie inna dla obu ciał !

$$\vec{v}_s \gg \vec{v}_p$$

przy czym prędkość piórka w trakcie opadania

$$\vec{v}_p = \text{const}$$



Ruch ciał w powietrzu silnie zależny od otoczenia (środowiska) !

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

Ruch ciała silnie zależny od otoczenia (środowiska)

Przypadek szczególny:

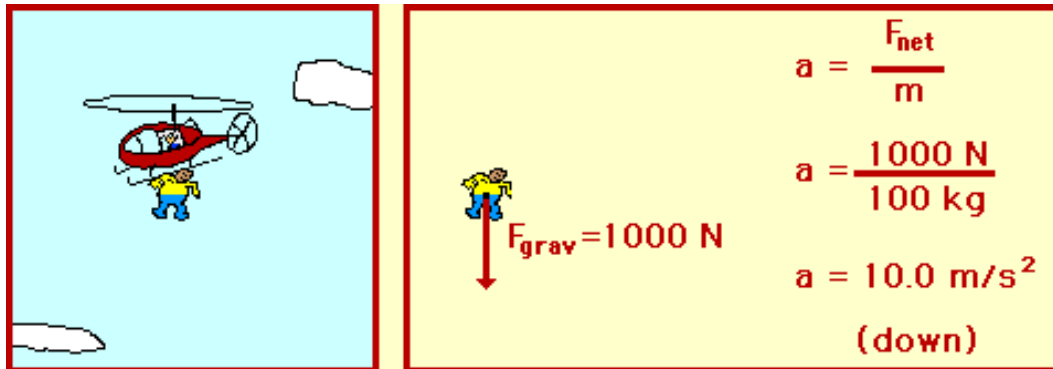
gdy na ciało nie działa żadna siła (lub wszystkie siły się równoważą - ruch piórka w powietrzu) - prędkość (wektor prędkości) ciała w czasie jest stała – cząstka izolowana

$$\vec{v}(t) = \text{const}$$

- I prawo (zasada) Newtona dynamiki punktu materialnego

PRZYKŁAD 1:

- spadek (swobodny) na spadochronie


$$a = \frac{F_{\text{net}}}{m}$$
$$a = \frac{1000 \text{ N}}{100 \text{ kg}}$$
$$a = 10.0 \text{ m/s}^2$$

(down)

Dwa etapy ruchu (spadku):

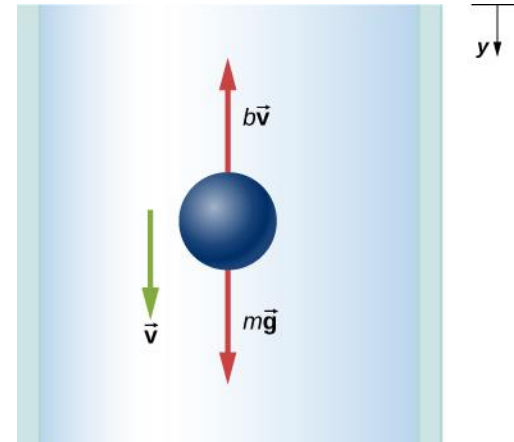
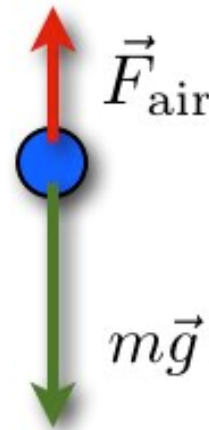
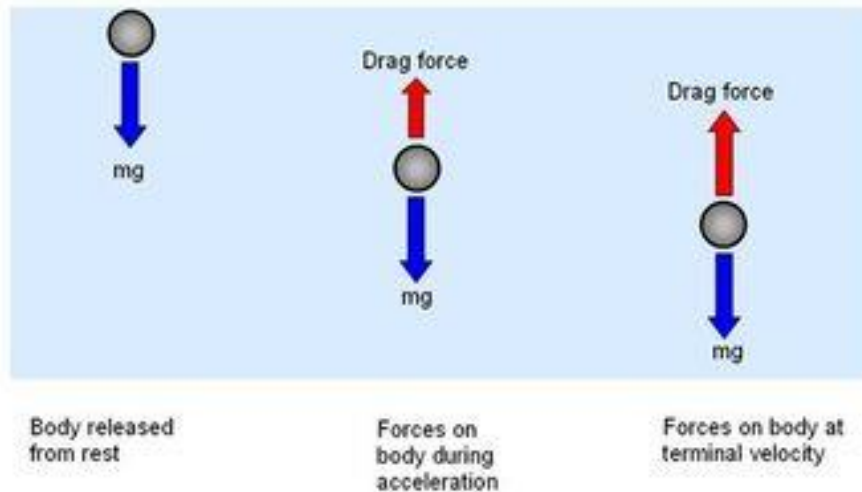
- Ruch przyspieszony pod wpływem grawitacji (ciężaru) z prędkością $\vec{v}_g = \vec{g} \cdot t$ $\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$
- Ciężar równoważony przez siłę oporu powietrza (Stokesa) $F_{\text{air}} = 6\pi\eta r v$

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

- I prawo (zasada) Newtona dynamiki punktu materialnego

PRZYKŁAD 2:

- spadek (swobodny) kropli deszczu w powietrzu



Dwa etapy ruchu (spadku):

- Ruch przyspieszony pod wpływem grawitacji (ciężaru) z prędkością $\vec{v}_g = \vec{g} \cdot t$
- Ciężar równoważony przez opór powietrza - siła Stokesa

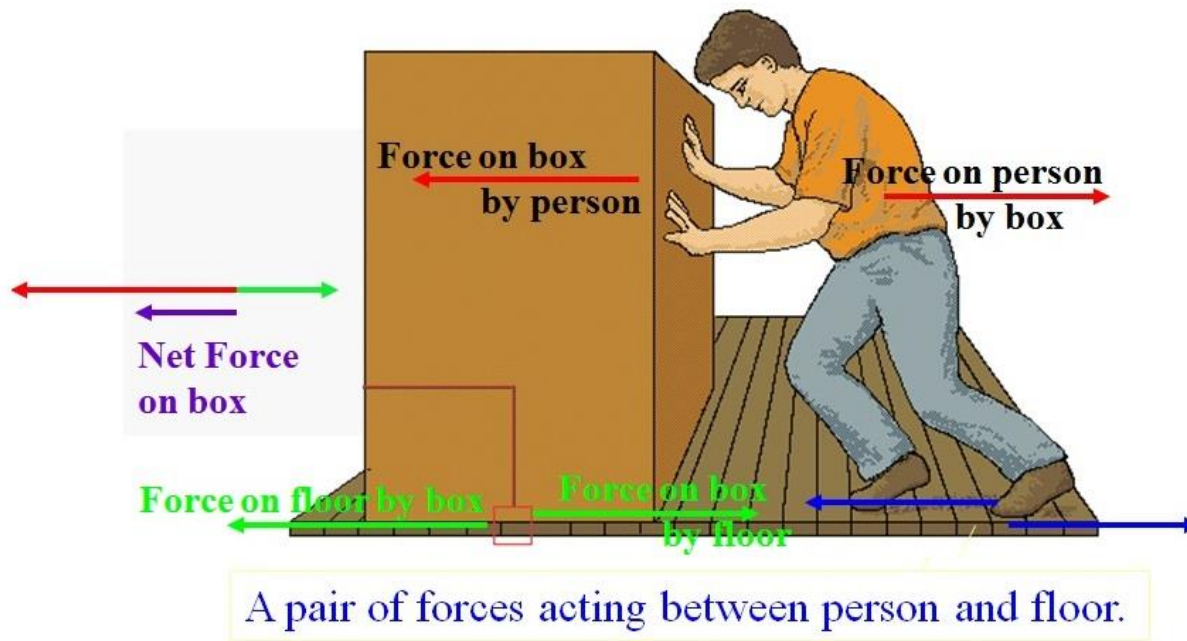
$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$$

$$F_{\text{air}} = 6\pi\eta r v$$

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

Ruch ciała zależny od oddziaływania z innymi ciałami

- **ruch ciał w obecności sił tarcia**
na płaszczyźnie (prostopadle do ciężaru)



Opis ruchu:

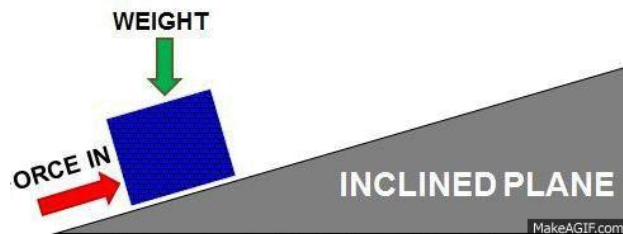
Równania ruchu - II prawo Newtona w odniesieniu do wszystkich sił działających na określonym kierunku

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F}_{comp}$$

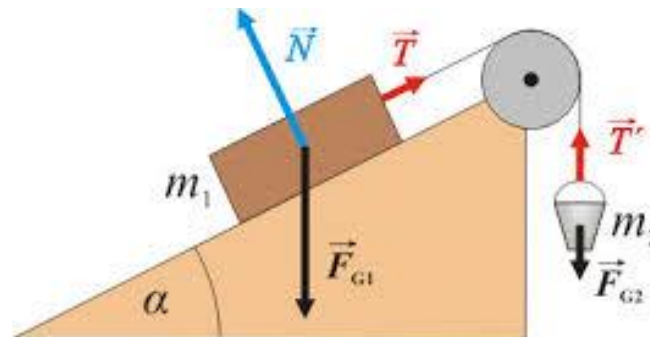
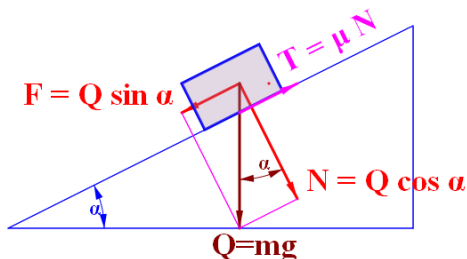
DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

Ruch ciała zależny od oddziaływania z innymi ciałami

- **ruch ciał w obecności sił tarcia**
przesuwanie ciał na równi pochyłej



Rozkład sił na równi z tarcie

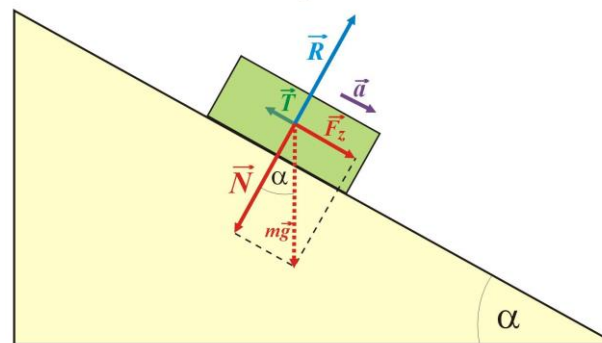


Analiza ruchu ciała

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \vec{N} + \vec{F}_z + \vec{R} + \vec{T} & \vec{N} + \vec{R} &= 0 \\ \vec{F} &= \vec{F}_z + \vec{T} & F_z &= mg \cdot \sin \alpha \\ & & T &= \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

$$F = F_z - T \rightarrow F = mg \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$$

Przyspieszenie $a = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$



Opis ruchu:

Równania ruchu - II prawo Newtona w odniesieniu do wszystkich sił działających na określonym kierunku

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F}_{comp}$$

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

Gdy I zasada dynamiki Newtona spełniona - inercjalny układ odniesienia

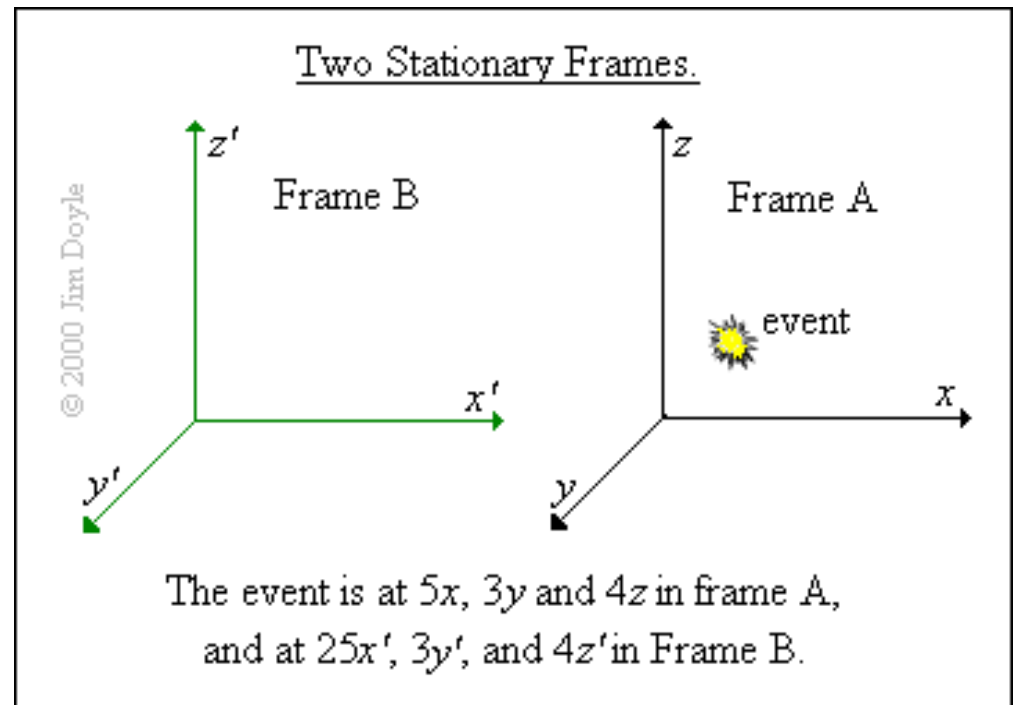
Dwa inercjalne układy odniesienia - zasady (prawa) dynamiki są niezmiennie w trakcie poruszania się ciała względem dwóch inercjalnych układów odniesienia - transformacja Galileusza

PRZYKŁADY:

- dwa układy odniesienia w spoczynku

zdarzenie (event) zachodzi
Identycznie w obu układach
odniesienia ale przy różnych
współrzędnych:

ruch cząstki jest niezmienny
w obu układach odniesienia



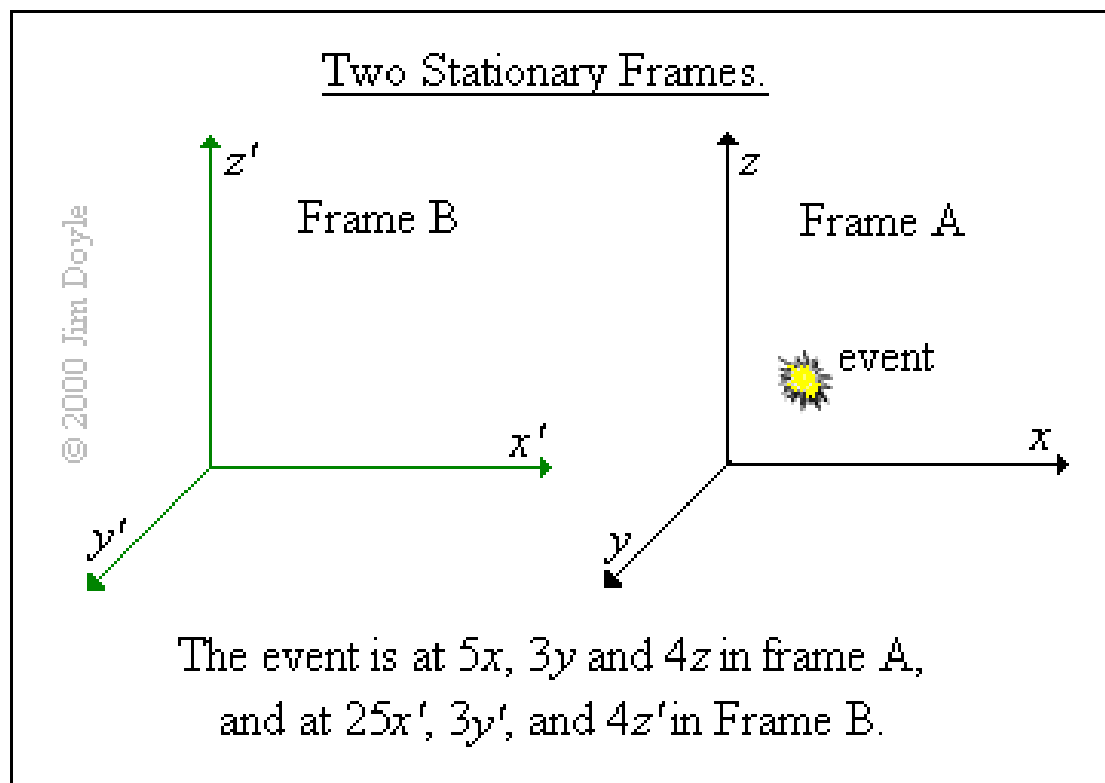
DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

Ruch ciała zależy nie tylko od oddziaływania z innymi ciałami –
kluczowy wpływ układów odniesienia – powszechne efekty:

- dwa układy stacjonarne

Zdarzenie zachodzi identycznie
w obu układach ale przy różnych
współrzędnych – ruch ciała
niezmienniczy w obu układach

- Transformacja Galileusza



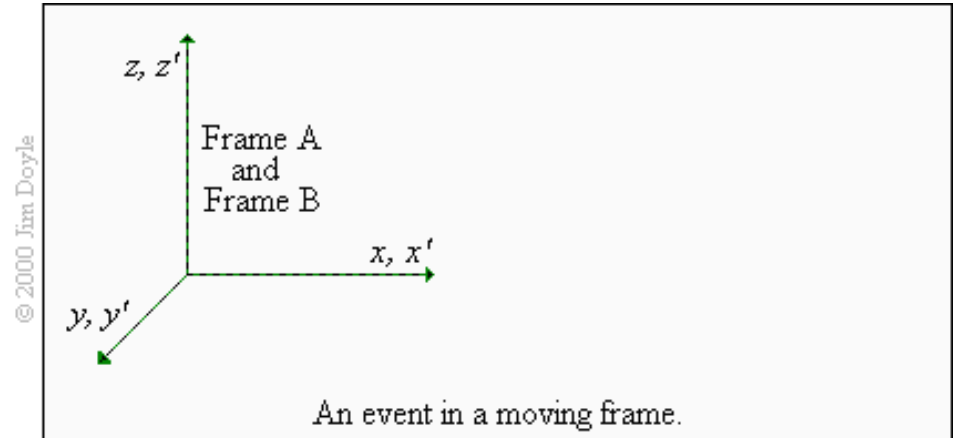
Dwa układy stacjonarne – przejście pomiędzy układami niezmiennicze
– spełnione I prawo Newtona

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

- względny ruch układów odniesienia ze stałą prędkością unoszenia-dryfu

3 transformacje:

- położenia: $x' = x - v \cdot t$
- prędkości: $v' = v - v_d$
- przyspieszenie: $a' = a$



- ruch cząstki w obu układach odniesienia jest niezmienny

PRZYKŁADY:

- ruch ciała w wagonie poruszającym się ze stałą prędkością v
- względny ruch dwóch wagonów na stacji kolejowej (statków na morzu)

Gdy II zasada dynamiki nie jest spełniona - nieinercjalny układ odniesienia -
ruch ciała odbywa się ze stałym przyspieszeniem pod wpływem dodatkowej
siły bezwładności - dwa szczególne przypadki:

- ruch postępowy
- ruch obrotowy (rotacja)

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU POSTĘPOWYM

Układ inercjalny: ciało w spoczynku lub w ruchu ze stałą prędkością $\vec{v}$

$$\vec{a}_i = 0$$

Układ nieinercjalny: ruch jednostajnie przyspieszony ze stałym $\vec{a}_o$

PRZYKŁAD 1:

Zderzenie samochodu (motocykla) ze ścianą



Człowiek w samochodzie (na motocyklu) po zderzeniu porusza się ruchem obrotowym (bryła sztywna) z opóźnieniem środka ciężkości

$$\vec{a}_i = -\vec{a}_o$$

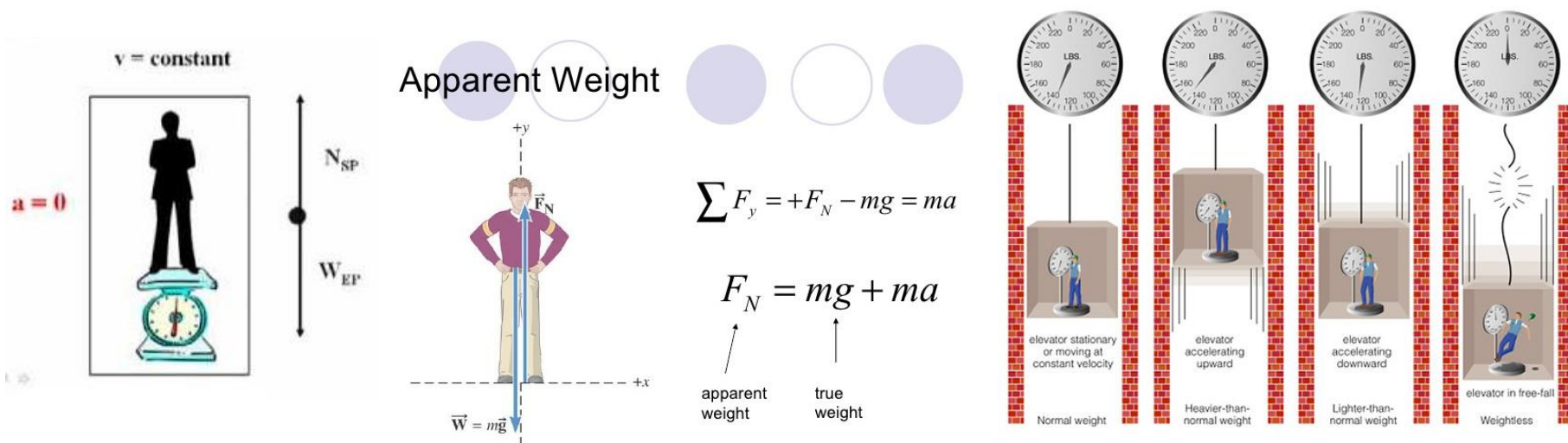
- pojawia się dodatkowa **siła bezwładności** - działa zawsze przeciwko -
w celu zachowania poprzedniego stanu ruchu przy stałej prędkości ! $\vec{v}$

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU POSTĘPOWYM

PRZYKŁAD 2:

- ruch obiektów w poruszającej się windzie - efekt pozornego ciężaru



Etapy ruchu:

- Start windy w górę (wznoszenie) - ruch przyspieszony - pozorny ciężar wzrasta
- Ruch jednostajny ze stałą prędkością - prawdziwy ciężar
- Zatrzymywanie windy (hamowanie) - ruch opóźniony - pozorny ciężar wzrasta
- Start windy w dół (opadanie) - ruch przyspieszony - pozorny ciężar maleje
- Ruch jednostajny ze stałą prędkością - prawdziwy ciężar
- Zatrzymywanie windy (hamowanie) - ruch opóźniony - pozorny ciężar wzrasta

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

SIŁY W RUCHU OBROTOWYM

Podstawowa siła w ruchu obrotowym: **siła dośrodkowa**
- ruch cząstki o masie **m** po okręgu o promieniu **r** względem środka okręgu (siła widząca „środek”) - dwie składowe:

- **radialna (normalna):** $F_r = m \cdot \vec{a}_r = m\vec{\omega} \times \vec{v}$
- **styczna** $F_t = m \cdot \vec{a}_t = m\vec{\varepsilon} \times \vec{r}$

Przyspieszenie całkowite w ruchu po okręgu

$$\vec{a}_{rot} = \vec{a}_r + \vec{a}_t$$

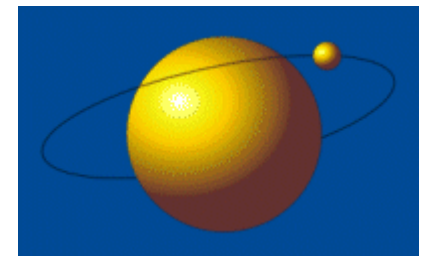
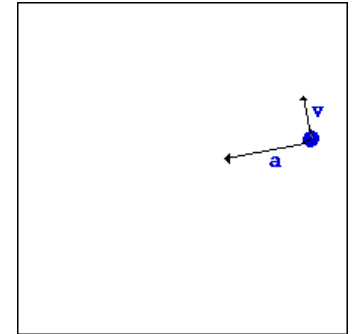
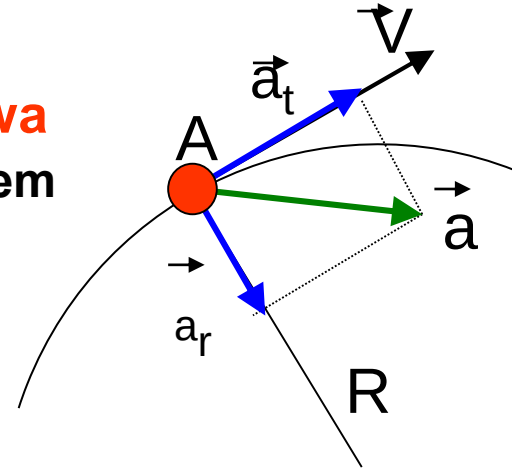
PRZYKŁADY:

- Przyciąganie grawitacyjne: Ziemia-Księżyc

$$F_g = G \frac{M_Z \cdot m_K}{r_{ZK}^2}$$

- Przyciąganie elektrostatyczne elektronu i jądra w atomie

$$F_C = \frac{Q_j \cdot q_e}{4\pi\epsilon_0 \cdot r_{je}^2}$$



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA ODŚRODKOWA

Ruch cząstki o masie m wewnątrz układu odniesienia obracającego się ze stałą prędkością kątową ω wzdłuż promienia r od środka

$$F_{cf} = -m \cdot \omega \times (\omega \times r)$$

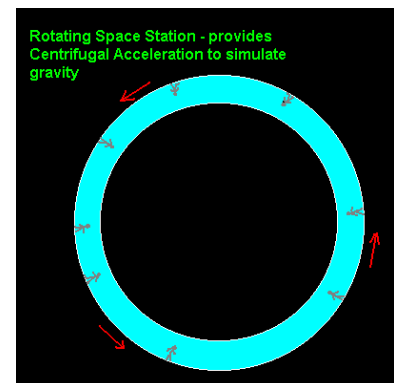
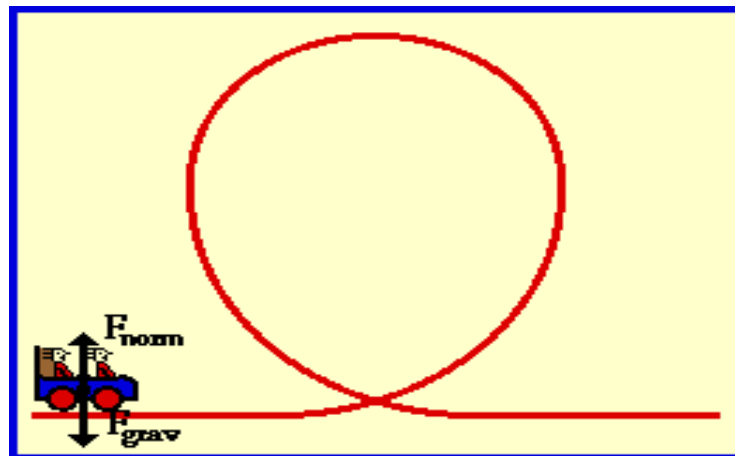
Przypadek uproszczony: promień $\perp$ osi obrotu

$$F_{cf} = -m \cdot \omega^2 \cdot r$$

PRZYKŁAD 1:

• Martwa pętla

W najwyższym punkcie równowaga siły odśrodkowej bezwładności i ciężaru ciała



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

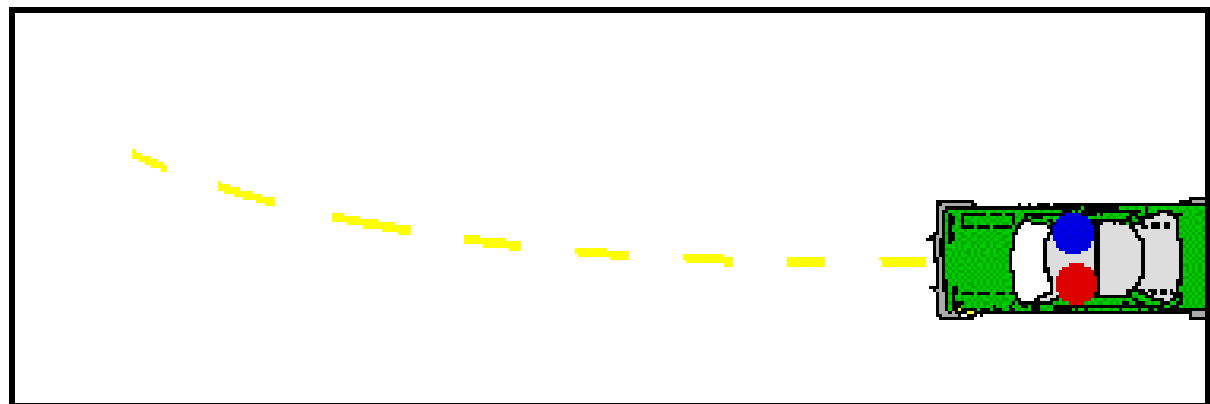
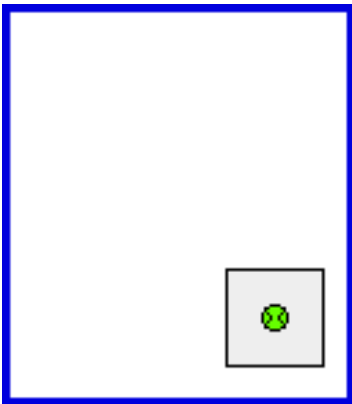
Przypadek uproszczony: promień $\perp$ osi obrotu

$$F_{cf} = -m \cdot \omega^2 \cdot r$$

PRZYKŁAD 2:

- **Samochód na zakręcie**

Zachowany ruch wzdłuż prostej odchylenie względem pierwotnej trajektorii ruchu



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

Ruch cząstki o masie m z prędkością v na zewnątrz względem układu odniesienia obracającego się ze stałą prędkością obrotową ω , np. Ziemi

Ruch ciała na drodze

$$s = d \cdot \varphi = v \cdot t \cdot \omega \cdot t = v \cdot \omega \cdot t^2 = \frac{1}{2} a_C \cdot t^2$$

z przyspieszeniem $a_C = \frac{2s}{t^2} = 2v \cdot \omega$

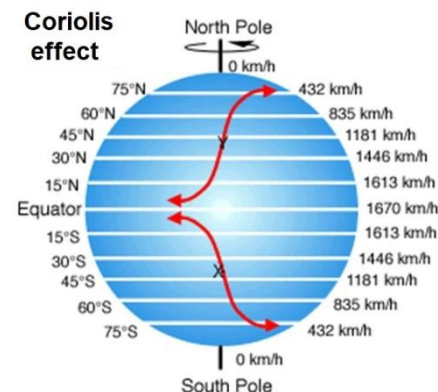
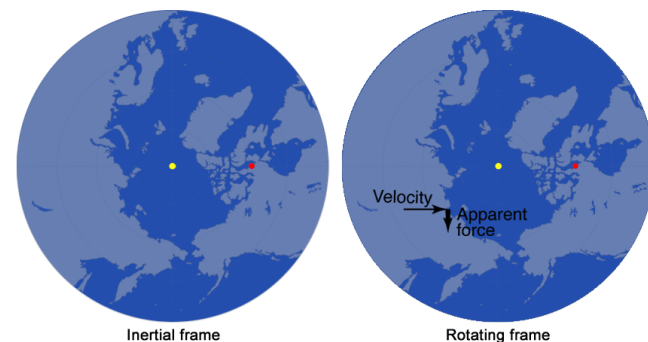
pod wpływem siły Coriolisa

$$\vec{F}_{Cor} = m \cdot \vec{a}_{Cor} = 2m(\vec{v} \times \vec{\omega})$$

Efekt końcowy: odchylenie trajektorii ruchu ciała

Warunek wyjściowy: $v > 0$;

Wartość maksymalna gdy $v \perp \omega$ (równik)

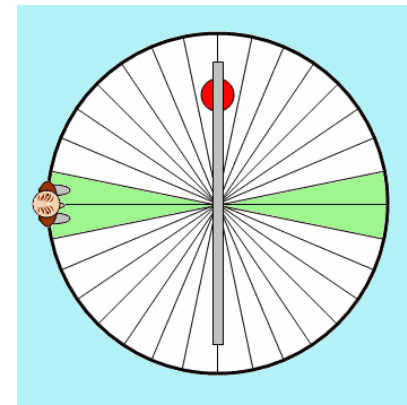


DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

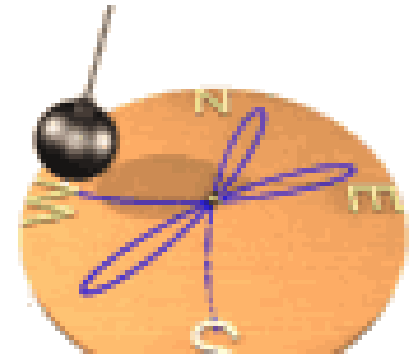
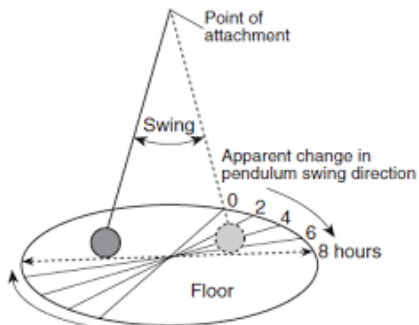
PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

Demonstracja - weryfikacja - **Wahadło Foucaulta** - Panteon - Paryż (1850)



Przemieszczanie wahadła względem obracającej się tarczy (podłoża) w wyniku obrotu Ziemi - wypadkowa rotacji płaszczyzny wahań - pętla (rozeta)



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

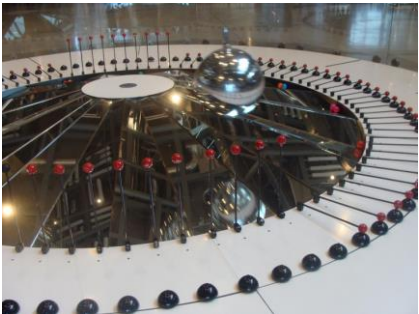
Demonstracja - **Wahadło Foucaulta**

Przemieszczanie wahadła względem obracającej się tarczy (podłoża) w wyniku obrotu Ziemi - pętla



Wahadła Foucaulta w Polsce (m.in. CNT PŚ Gliwice, oraz)

Centrum Kopernika Politechnika Gd. Kościół PP Kraków Planetarium Toruń



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

Powszechne zjawiska: ruch ciał względem obracającej się Ziemi

Spadek swobodny w pobliżu powierzchni Ziemi

Odchylenie trajektorii ruchu względem pionu

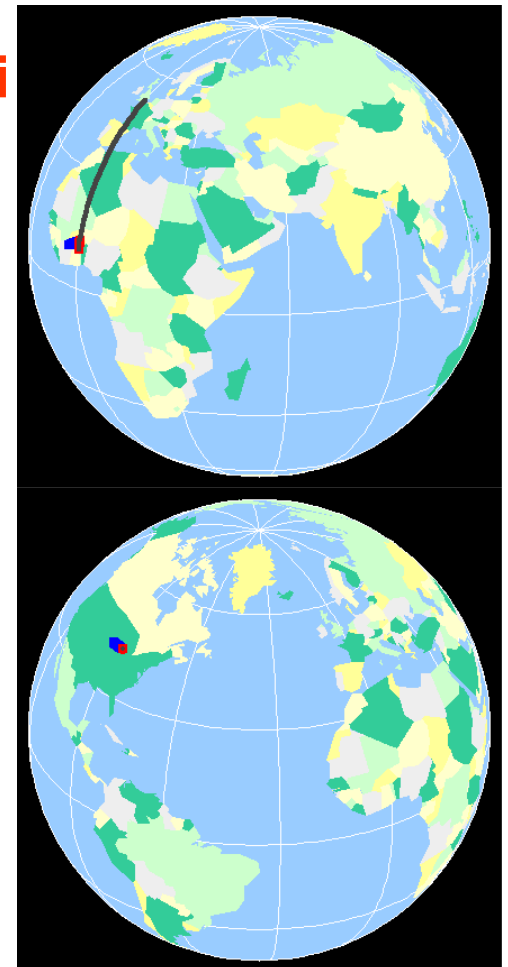
- kierunek zależy od hemisfery (półkuli):

- północna: **na wschód**
- południowa: **na zachód**

Efekty łatwe do zaobserwowania
przy spadku swobodnym (wznoszeniu) obiektów
odchylenie Coriolisa zależy od szerokości !

PRZYKŁAD:

Odchylenia toru rakiet (satelitów) - obserwacje
TV na Przylądku Canaveral (Florida, USA)



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

Wpływ na ruch ciał względem obracającej się Ziemi

PRZYKŁAD 1:

- Oddziaływanie strumienia wody na brzegi rzek

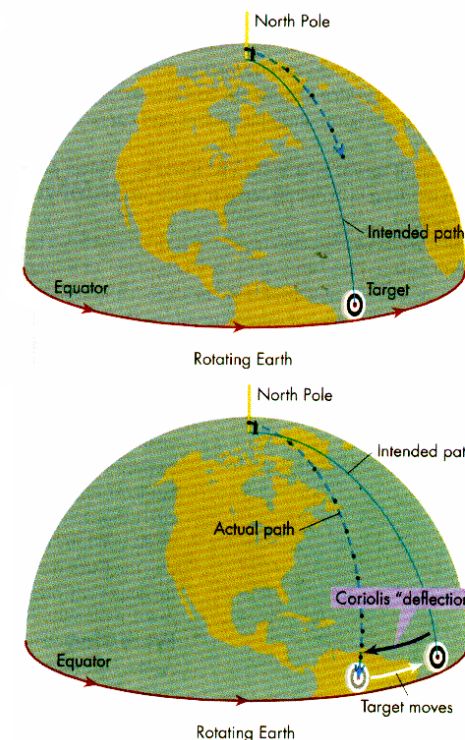
Zależy od hemisfery (półkuli) Ziemi i kierunku Geograficznego strumienia wody:

- Hemisfera południowa - strumień na południe: prawy brzeg
- Hemisfera północna - strumień na północ: lewy brzeg (Nil)

PRZYKŁAD 2:

- Wypływ wody ze zlewu (wanny)

Zależy tylko od hemisfery (półkuli) Ziemi ponieważ woda wypływa pionowo - na półkuli północnej: wir lewy



DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

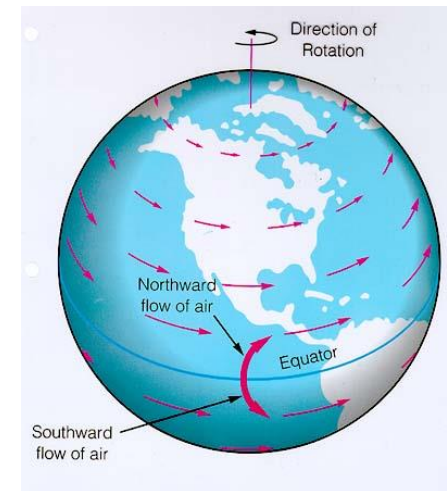
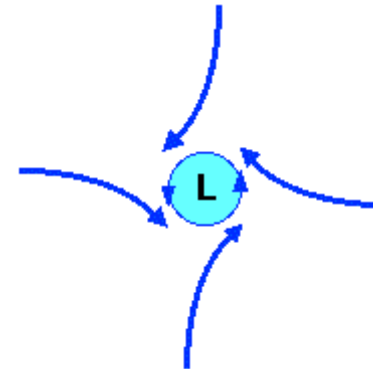
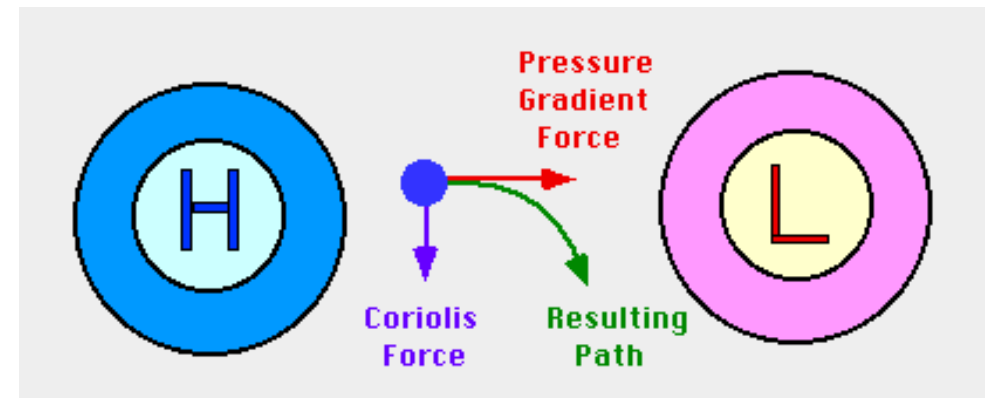
Wpływ na ruch ciał (obiektów) względem obracającej się Ziemi

PRZYKŁAD 3:

• Zjawiska meteorologiczne

Zależne od hemisfery oraz od lokalnego położenia centrów wyżu i niżu

Hemisfera północna:



Wypadkowy kierunek strumienia powietrza (wiatru) zależy od typu ośrodka ciśnienia – **podstawa prognoz pogody, sztormów, huraganów**

DYNAMIKA PUNKTU MATERIALNEGO

PRAWDZIWE SIŁY BEZWŁADNOŚCI W RUCHU OBROTOWYM

• SIŁA CORIOLISA

Wpływ na ruch ciał (obiektów) względem obracającej się Ziemi

PRZYKŁAD 4:

• Zjawiska meteorologiczne

Zależne od hemisfery oraz od lokalnego położenia centrów wyżu i niżu

Hemisfera północna:

Wypadkowy kierunek strumienia powietrza (wiatru) zależy od ośrodka ciśnienia –
podstawa prognoz pogody, sztormów, huraganów

