

Ruch w układzie nieinercyjnym

Przykłady układów inercjalnych:

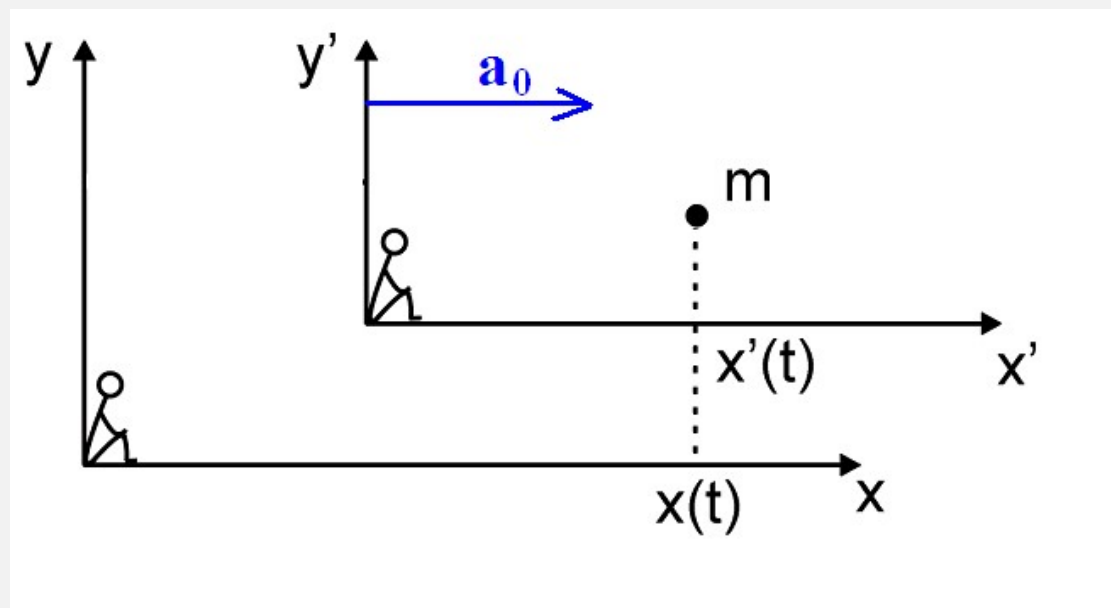
- stojąca łódka na jeziorze lub płynąca ze stałą prędkością na rzece,
- stojący autobus,
- pociąg jadący 100 km/h (ze stałą prędkością) i po prostoliniowym odcinku torów

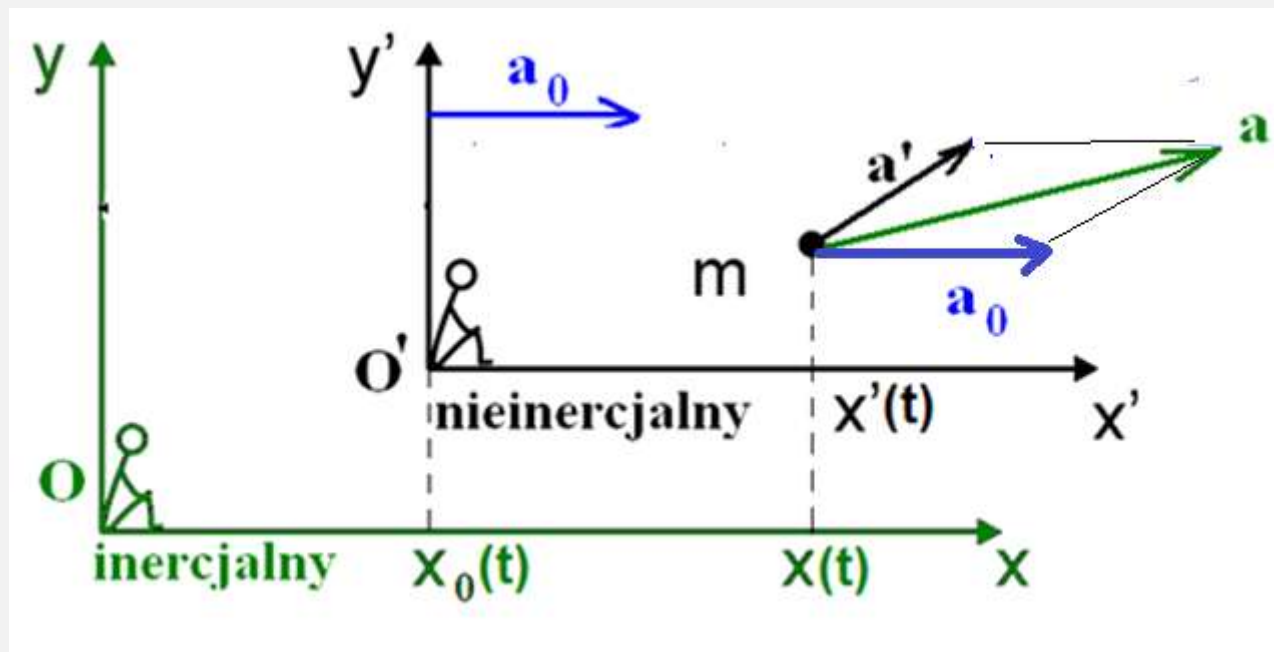
Przykłady układów nieinercjalnych:

- autobus gwałtownie skręcający lub hamujący,
- kręcąca się karuzela,
- motocykl krążący w tzw. "beczce śmierci".

Prawa przyrody (fizyki) mają taką samą postać we wszystkich układach inercjalnych.

SIŁY POZORNE



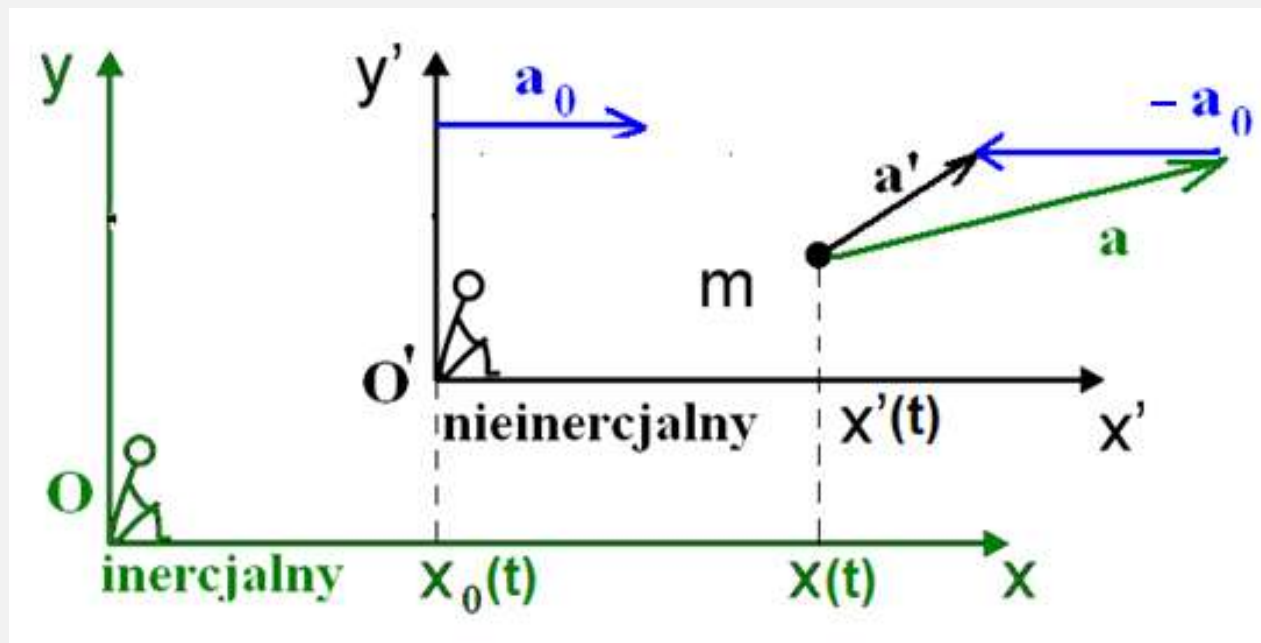


$$a = a' + a_0$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}' + \mathbf{a}_0$$

zatem:

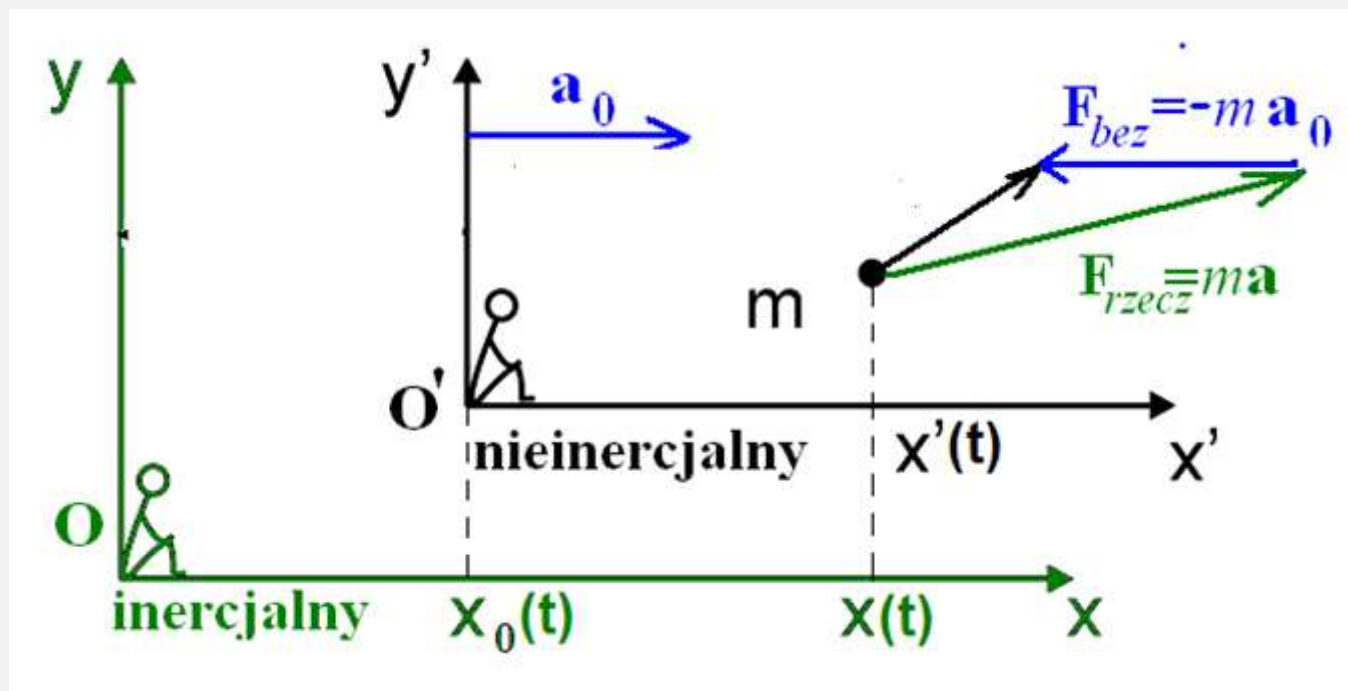
$$\mathbf{a}' = \mathbf{a} - \mathbf{a}_0$$



$$m\mathbf{a}' = m\mathbf{a} + (-m\mathbf{a}_0)$$

$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F}_{\text{rzecz}} + \mathbf{F}_{\text{bez}}$$

Iloczyn masy i przyspieszenia unoszenia (ze znakiem minus) nazywamy siłą bezwładności $\mathbf{F}_{\text{bez}}$.



$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F}_{rzecz} + \mathbf{F}_{bez} = \mathbf{F}'$$

$$\mathbf{F}_{\text{bez}} = -m\mathbf{a}_0$$

II zasada dynamiki Newtona

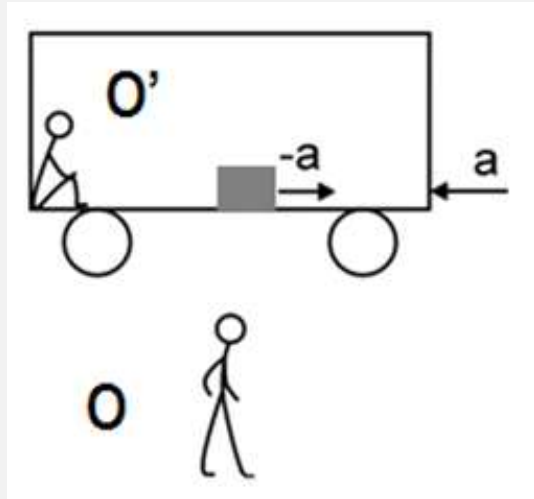
 $\mathbf{F}_{\text{rzecz}} = m\mathbf{a}$
inercjalny

 $\mathbf{F}' = \mathbf{F}_{\text{rzecz}} + \mathbf{F}_{\text{bez}} = m\mathbf{a}'$
nieinercjalny

Siła bezwładności w ruchu prostoliniowym

- dwaj obserwatorzy opisują ruch klocka znajdującego się w samochodzie (bez tarcia)

Samochód hamuje ze stałym opóźnieniem a
(między klockiem, a podłogą samochodu nie ma tarcia)



$$\mathbf{F}' = -m_{klocka} \mathbf{a} \quad (O')$$

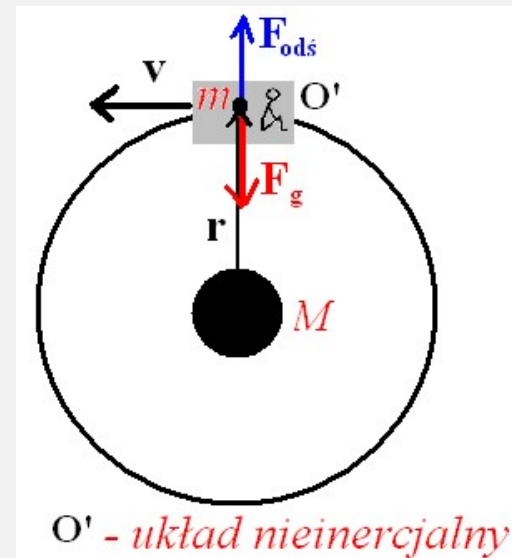
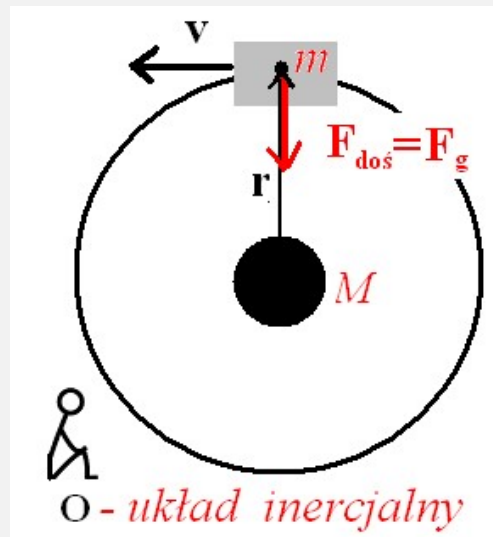


$$v_{klocka} = v = \text{const.} \Rightarrow \mathbf{F} = 0 \quad (O)$$

(obserwator O' znajduje się w układzie nieinercyjnym a obserwator O jest w układzie inercyjnym)

Siła odśrodkowa – satelita

jeden z obserwatorów (O) stoi na Ziemi, a drugi znajduje się w satelicie (O')

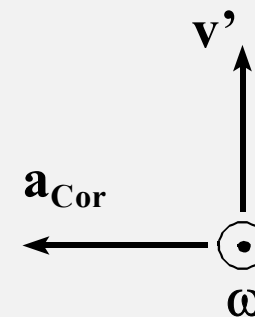
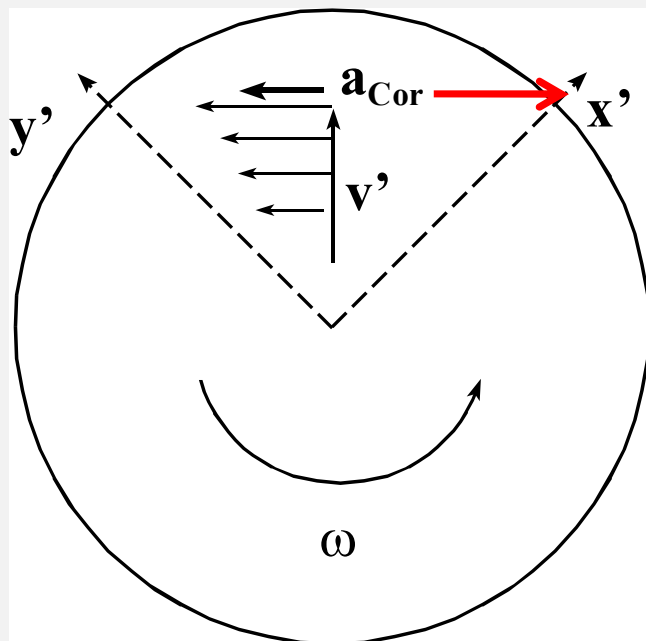


$$G \frac{mM}{r^2} = m\omega^2 r \Rightarrow$$

$$\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$$

$$v = r\omega = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Siła Coriolisa: Biedronka porusza się po płycie z prędkością $\mathbf{v}'$

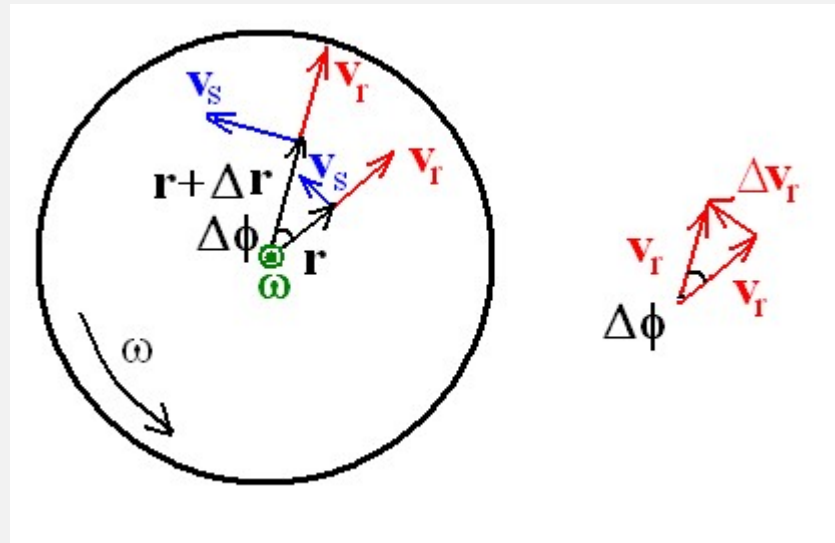


$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_{Cor}$$

gdzie: $\mathbf{a}_{Cor} = 2\omega \times \mathbf{v}'$ jest przyspieszeniem Coriolisa

$$\mathbf{F}_{Cor} = -m\mathbf{a}_{Cor} = 2m\mathbf{v}' \times \omega$$

wyprowadzenie



Biedronka porusza się wzdłuż promienia tarczy ze stałą prędkością v_r (względem tarczy !!)

Obserwator w układzie inercyjnym (zewnętrznym) widzi przyspieszenia:

- a_1 - zmieniające kierunek prędkości v_r ,
- a_2 - zwiększające prędkość styczną v_s .

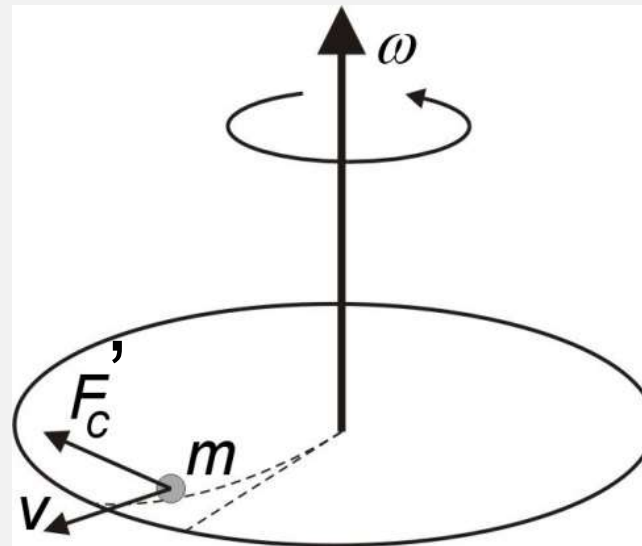
$$\Delta v_r = v_r \Delta \phi$$
$$a_1 = \frac{dv_r}{dt} = v_r \frac{d\phi}{dt} = v_r \omega$$

$$\Delta v_s = \omega(r + \Delta r) - \omega r = \omega \Delta r$$
$$a_2 = \frac{dv_s}{dt} = \omega \frac{dr}{dt} = \omega v_r$$

$$a_0 = a_{cor} = a_1 + a_2 = 2v_r \omega \quad \text{przyspieszenie Coriolisa}$$

$$\mathbf{a}_{Cor} = 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}'$$

Siła Coriolisa (siła bezwładności) :



$$\mathbf{F}_{\text{Cor}} = -m\mathbf{a}_{\text{Cor}} = 2m\mathbf{v}' \times \boldsymbol{\omega}$$

PODSUMOWANIE:

Całkowita siła w układzie nieinercyjnym:

$$\mathbf{F}' = \mathbf{F}_{\text{rzecz}} + \mathbf{F}_{\text{bez}} = m\mathbf{a}'$$

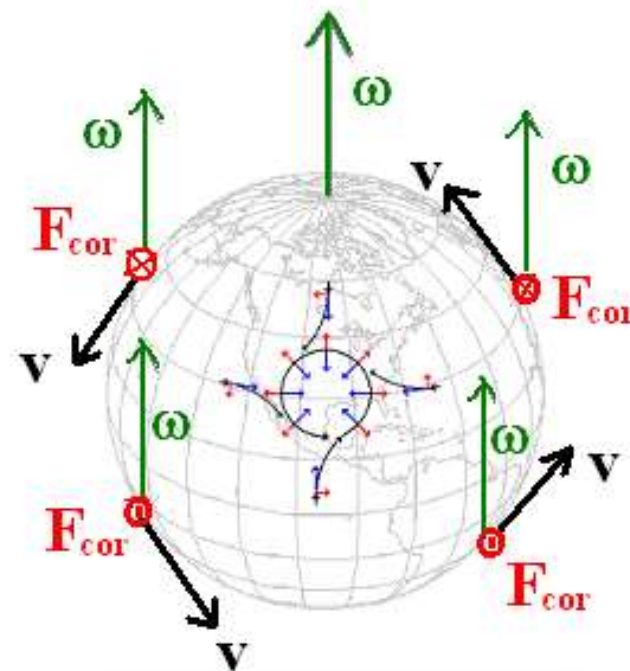
W skład sił bezwładności wchodzi: $\mathbf{F}_{\text{bez (r. post.)}}$, $\mathbf{F}_{\text{(odsr)}}$, $\mathbf{F}_{\text{Cor}}$

I oczywiście przyspieszenie ciała w układzie nieinercyjnym:

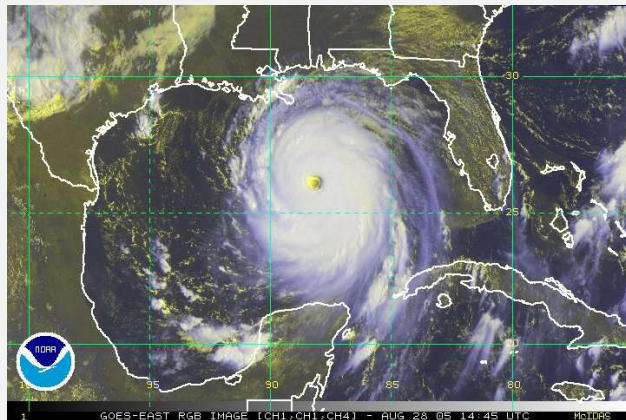
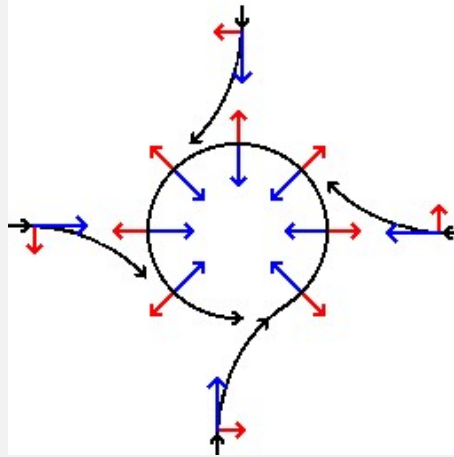
$$\mathbf{a}' = \frac{\mathbf{F}'}{m}$$

Jeszcze o sile Coriolisa ...

Mieszkamy na Ziemi – wirującej planecie



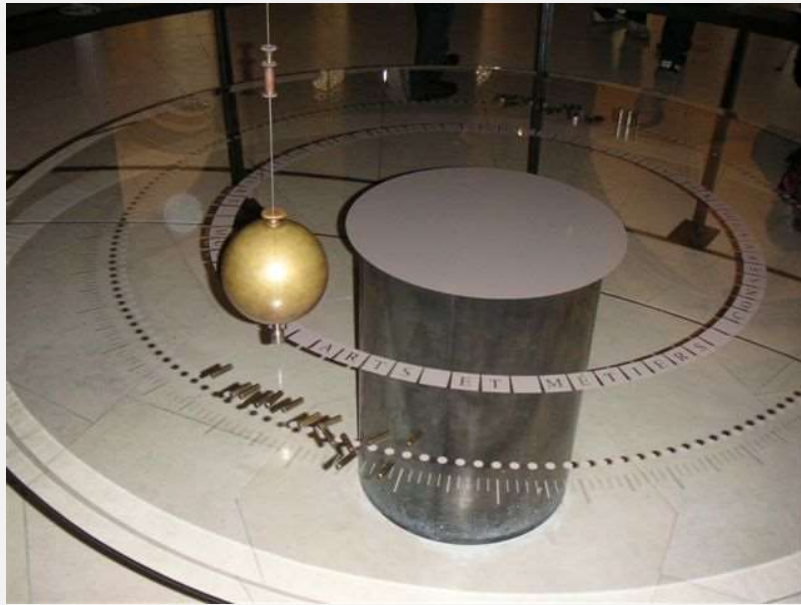
$$\mathbf{F}_{cor} = 2m\mathbf{v} \times \omega$$



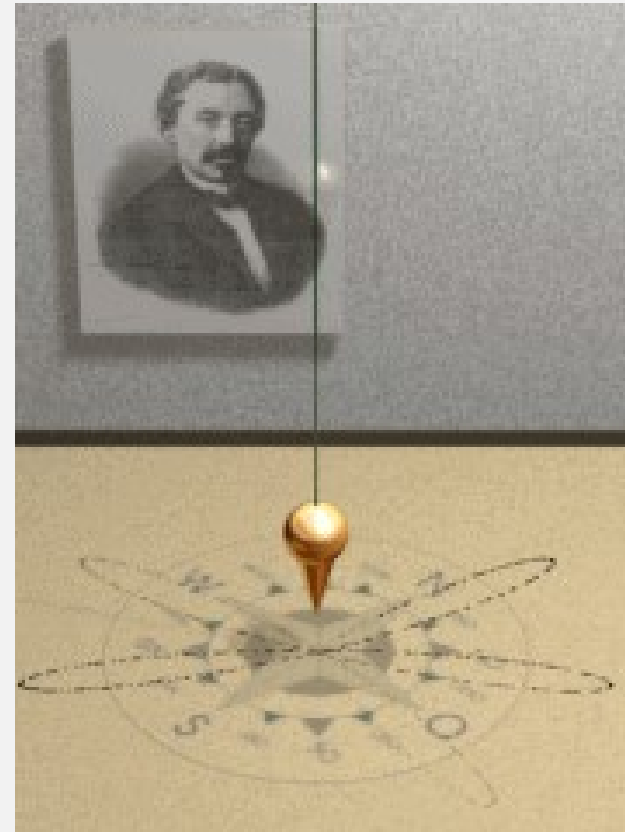
Ruch obrotowy Ziemi powoduje zmianę kierunku poruszających się po jej powierzchni ciał.

- silniejsze podmywanie prawych brzegów rzek na półkuli północnej i lewych na półkuli południowej
- odchylenie kierunków wiatrów stałych
- układ prądów morskich
- odchylenie toru ciał spadających

Siła Coriolisa- wahadło Foucaulta



Wahadło Foucaulta w Muzeum Sztuk i Rzemiosł w Paryżu; w miarę obrotu wahadło przewraca ustawione wokół klocki.



Wahadło Foucaulta - Kościół św. Piotra i Pawła w Krakowie: 46,5m , 25 kg