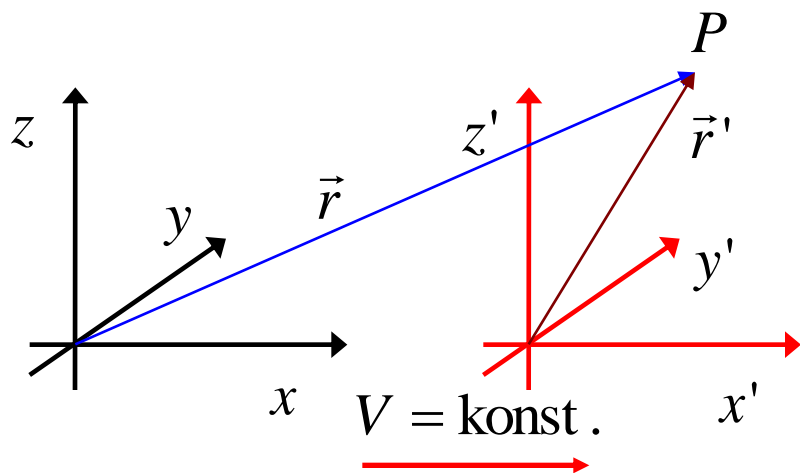


Galileova transformace



Neexistuje způsob jak určit absolutní rychlost

2. Newtonův zákon

$$ma_x = F_x$$

$$ma_y = F_y$$

$$ma_z = F_z$$

$$ma_x' = F_x$$

$$ma_y' = F_y$$

$$ma_z' = F_z$$

poloha

$$x' = x - Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

rychlost

$$v_x' = v_x - V$$

$$v_y' = v_y$$

$$v_z' = v_z$$

zrychlení

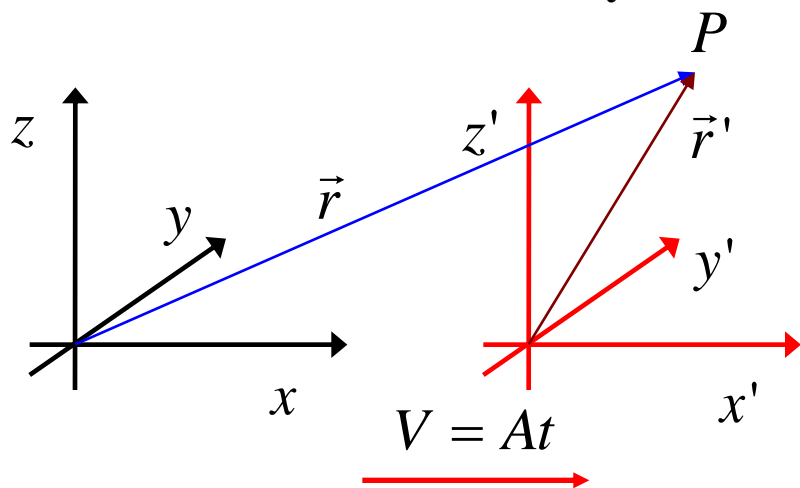
$$a_x' = a_x$$

$$a_y' = a_y$$

$$a_z' = a_z$$

Rovnoměrně zrychlená vztažná soustava

neinerciální soustavy



- v čase $t = 0$: $x' = x$

2. Newtonův zákon

$$ma_x = F_x$$

$$ma_y = F_y$$

$$ma_z = F_z$$

zdánlivá síla
setrvačná síla



$$ma_x' = F_x - mA$$

$$ma_y' = F_y$$

$$ma_z' = F_z$$

poloha

$$x' = x - \frac{1}{2} At^2$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

rychlost

$$v_x' = v_x - At$$

$$v_y' = v_y$$

$$v_z' = v_z$$

zrychlení

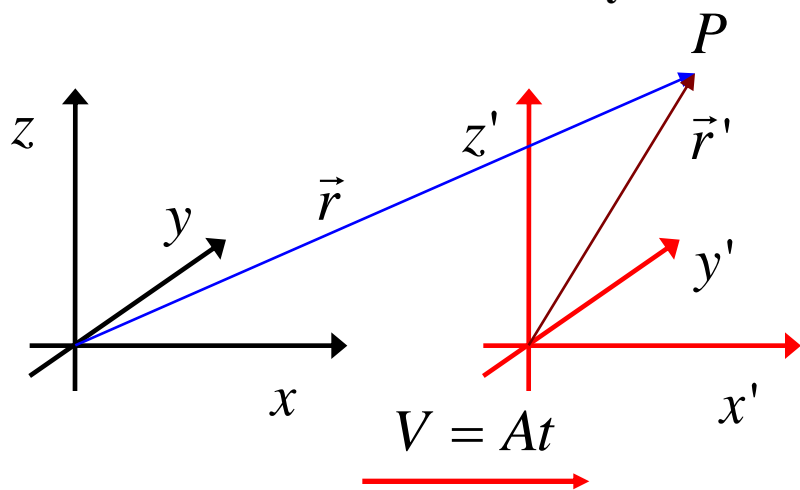
$$a_x' = a_x - A$$

$$a_y' = a_y$$

$$a_z' = a_z$$

Rovnoměrně zrychlená vztažná soustava

neinerciální soustavy



poloha

$$x' = x - \frac{1}{2} At^2$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

rychlost

$$v_x' = v_x - At$$

$$v_y' = v_y$$

$$v_z' = v_z$$

zrychlení

$$a_x' = a_x - A$$

$$a_y' = a_y$$

$$a_z' = a_z$$

silný princip ekvivalence:

Gravitaci není možné lokálně rozlišit od nepravých sil.

$$ma_x = F_x$$

$$ma_y = F_y$$

$$ma_z = F_z$$

$$ma_x' = F_x - mA$$

$$ma_y' = F_y$$

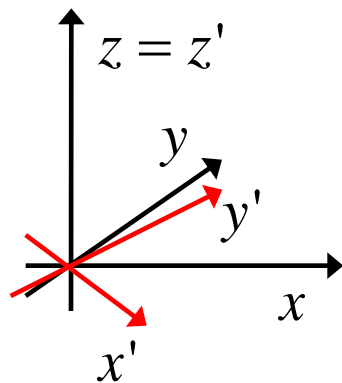
$$ma_z' = F_z$$

Rovnoměrně rotující vztažná soustava

ω



čárkovaná vztažná soustava se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω



- v čase $t = 0$ oba souřadné systémy splývají

poloha:

polární souřadnice:

$$r' = r$$

$$\varphi' = \varphi - \mathcal{G}$$

kartézské souřadnice:

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$

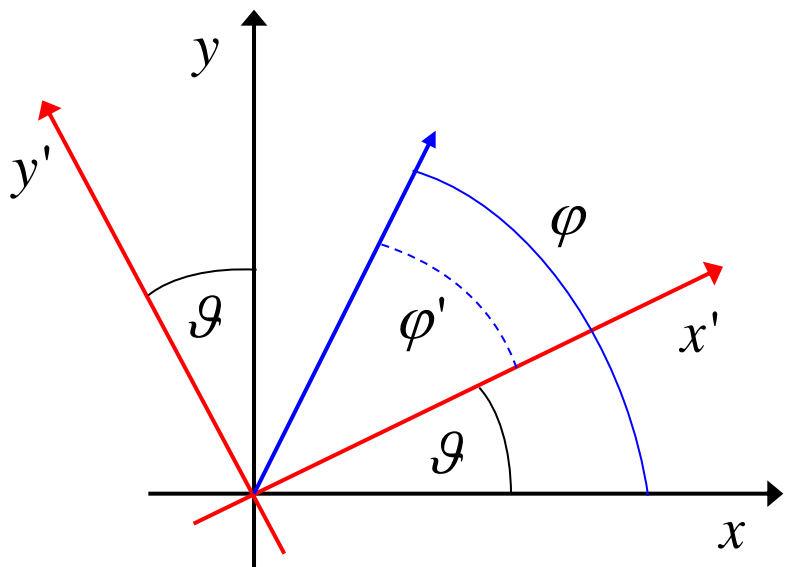
$$x' = r' \cos \varphi' = r \cos(\varphi - \mathcal{G})$$

$$y' = r' \sin \varphi' = r \sin(\varphi - \mathcal{G})$$



$$x' = x \cos \mathcal{G} + y \sin \mathcal{G}$$

$$y' = -x \sin \mathcal{G} + y \cos \mathcal{G}$$

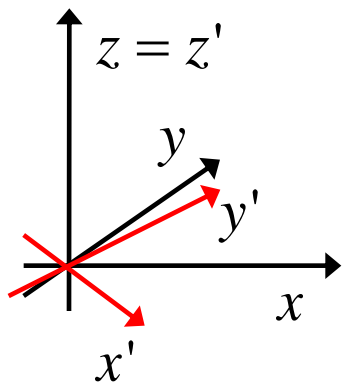


Rovnoměrně rotující vztažná soustava

ω



čárkovaná vztažná soustava se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω



- v čase $t = 0$ oba souřadné systémy splývají

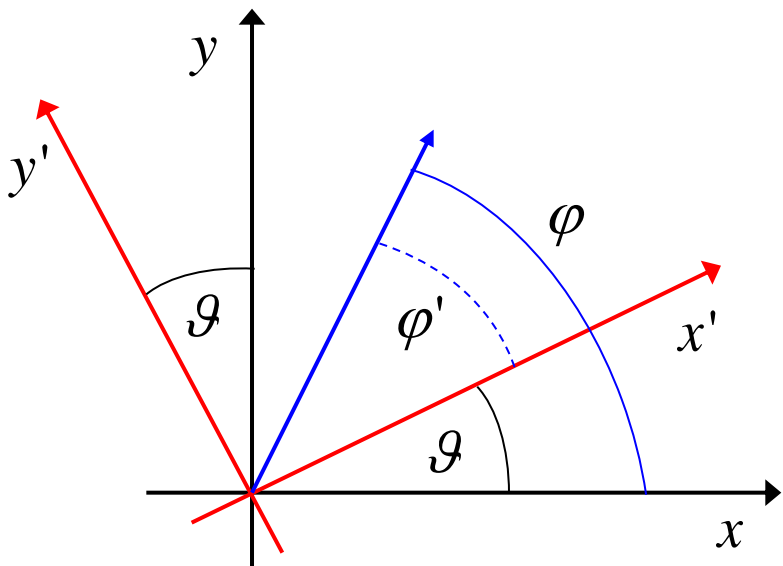
$$\mathcal{G}(t) = \omega t$$

poloha:

$$x' = x \cos \omega t + y \sin \omega t$$

$$y' = -x \sin \omega t + y \cos \omega t$$

$$z' = z$$

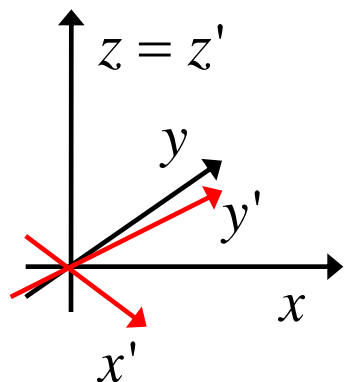


Rovnoměrně rotující vztažná soustava

ω



čárkovaná vztažná soustava se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω



- v čase $t = 0$ oba souřadné systémy splývají

$$\mathcal{G}(t) = \omega t$$

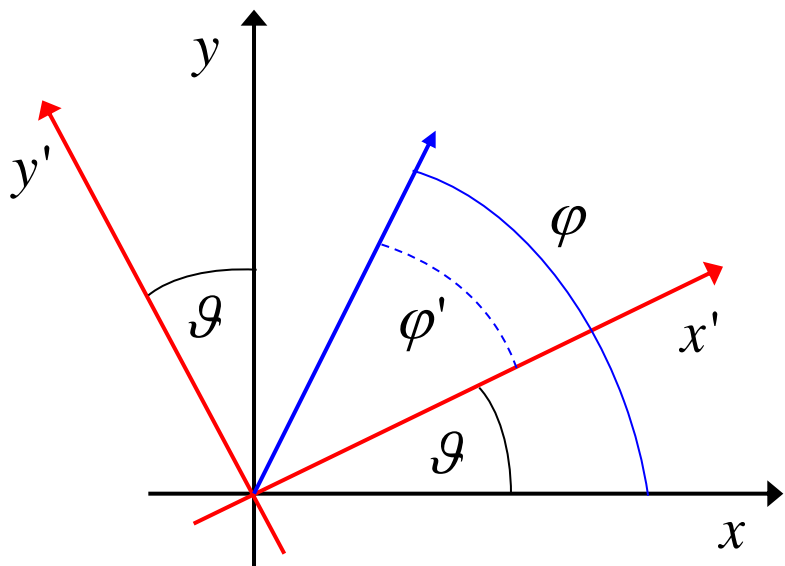
$$\omega' = -\omega$$

rychlost:

$$v_x' = \omega y' + (v_x \cos \omega t + v_y \sin \omega t)$$

$$v_y' = -\omega x' + (-v_x \sin \omega t + v_y \cos \omega t)$$

$$v_z' = v_z$$



zrychlení:

$$a_x' = \omega^2 x' + 2\omega v_y' + (a_x \cos \omega t + a_y \sin \omega t)$$

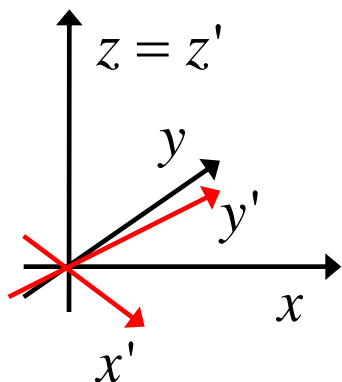
$$a_y' = \omega^2 y' - 2\omega v_x' + (-a_x \sin \omega t + a_y \cos \omega t)$$

$$a_z' = a_z$$

Rovnoměrně rotující vztažná soustava



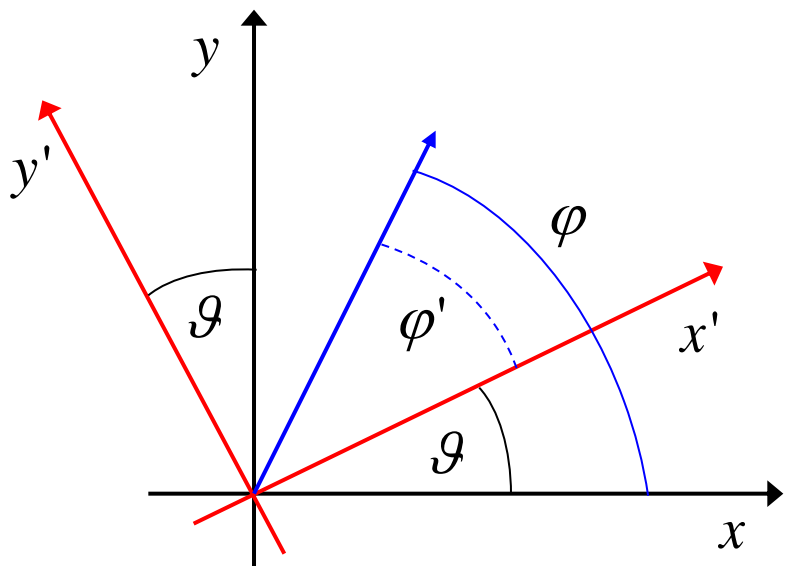
čárkovaná vztažná soustava se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω



- v čase $t = 0$ oba souřadné systémy splývají

$$\vartheta(t) = \omega t$$

$$\omega' = -\omega$$



Coriolisovo zrychlení

odstředivé zrychlení

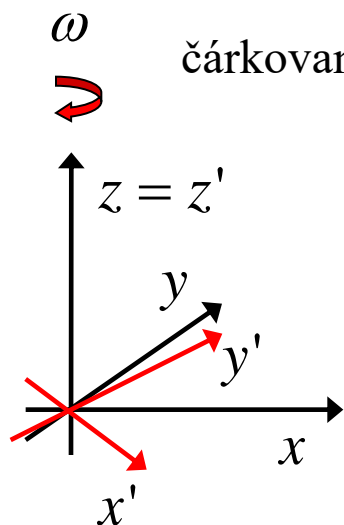
zrychlení:

$$a_x' = \omega^2 x' + 2\omega v_y' + (a_x \cos \omega t + a_y \sin \omega t)$$

$$a_y' = \omega^2 y' - 2\omega v_x' + (-a_x \sin \omega t + a_y \cos \omega t)$$

$$a_z' = a_z$$

Rovnoměrně rotující vztažná soustava



čárkovaná vztažná soustava se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω

- v čase $t = 0$ oba souřadné systémy splývají

$$\mathcal{G}(t) = \omega t$$

rotace kolem obecné osy:

odstředivé zrychlení: $\vec{a}_0 = -\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$

odstředivá síla: $\vec{F}_0 = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$

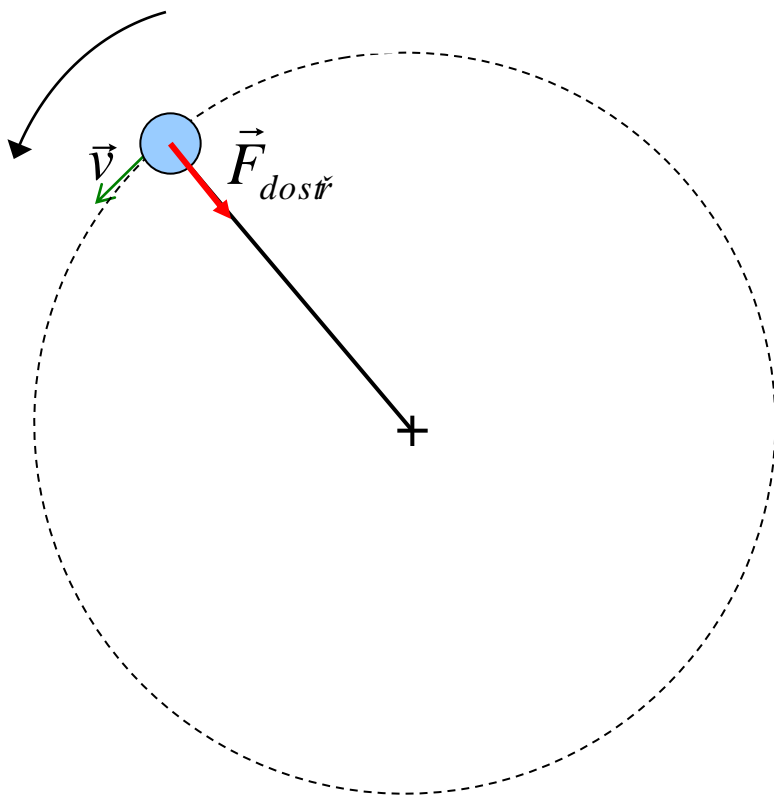
Coriolisovo zrychlení: $\vec{a}_C = -2\vec{\omega} \times \vec{v}'$

Coriolisova síla: $\vec{F}_C = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$

Odstředivá síla

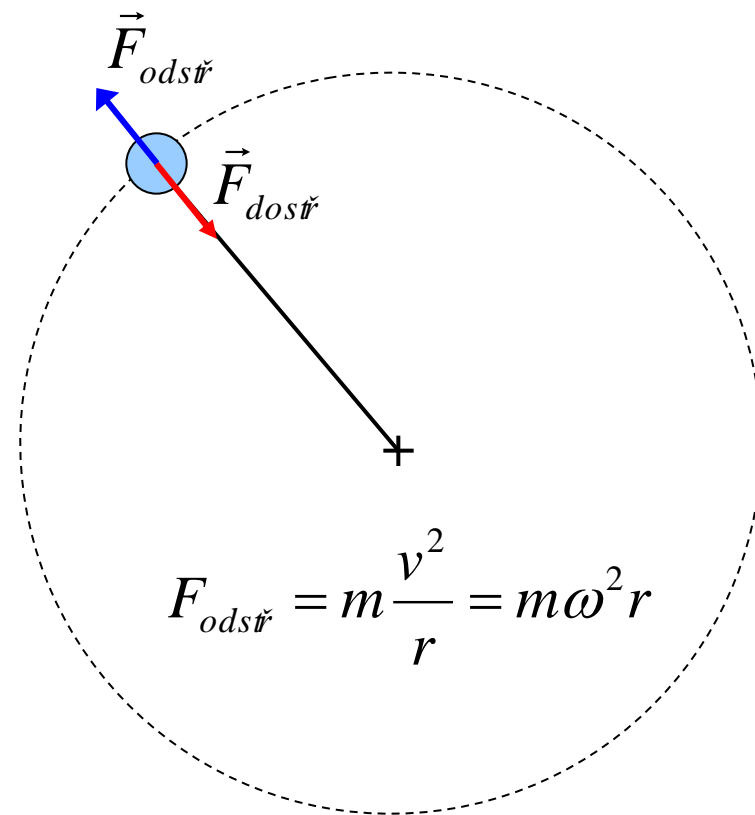
kulička na provázku

pohled z inerciální soustavy



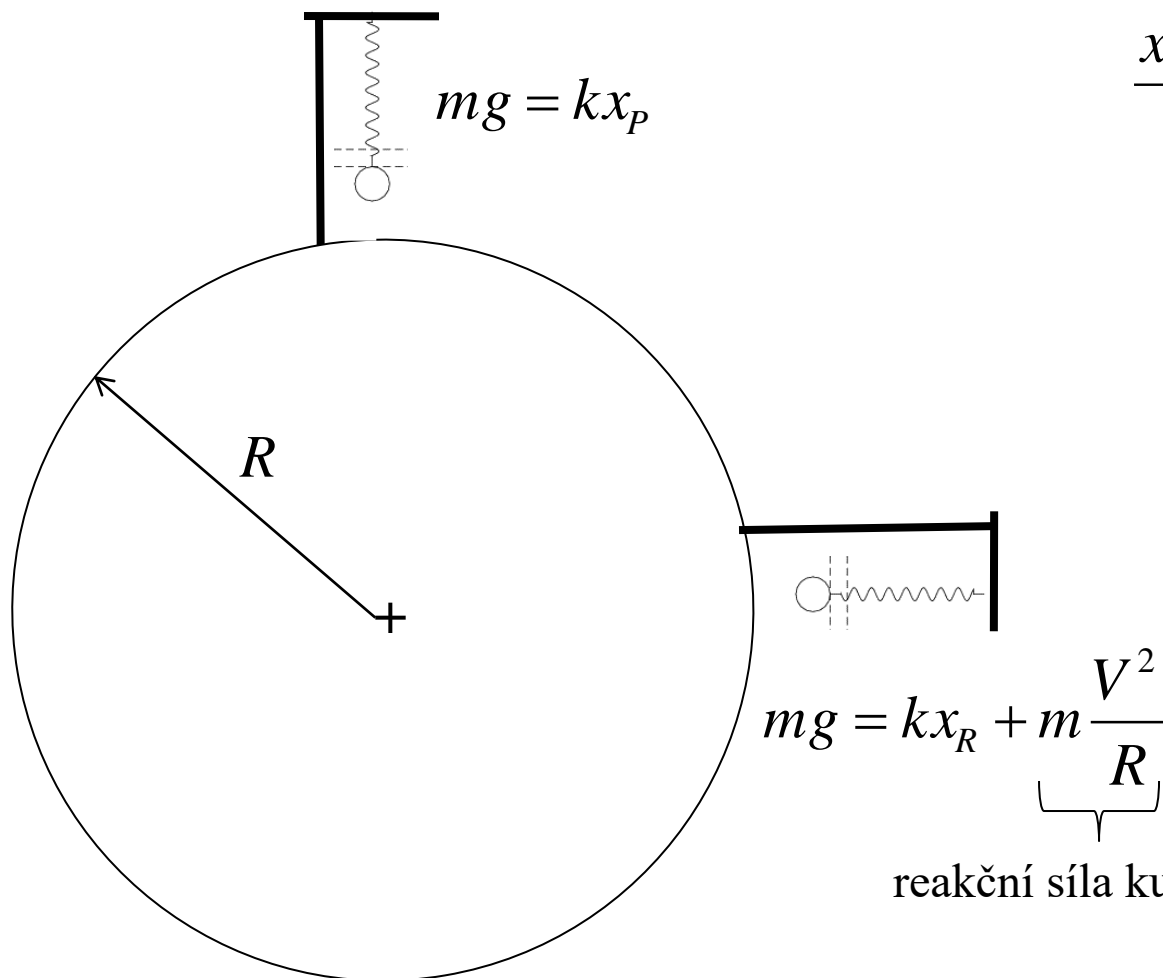
$$\vec{F}_{odsř} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

pohled z neinerciální rotující soustavy



Odstředivá síla

vážení na pólu a na rovníku



v inerciální soustavě

$$\frac{x_P - x_R}{x_P} = \frac{V^2}{Rg} = \frac{\omega^2 R}{g}$$

pro Zemi:

$$\omega_Z = 7.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

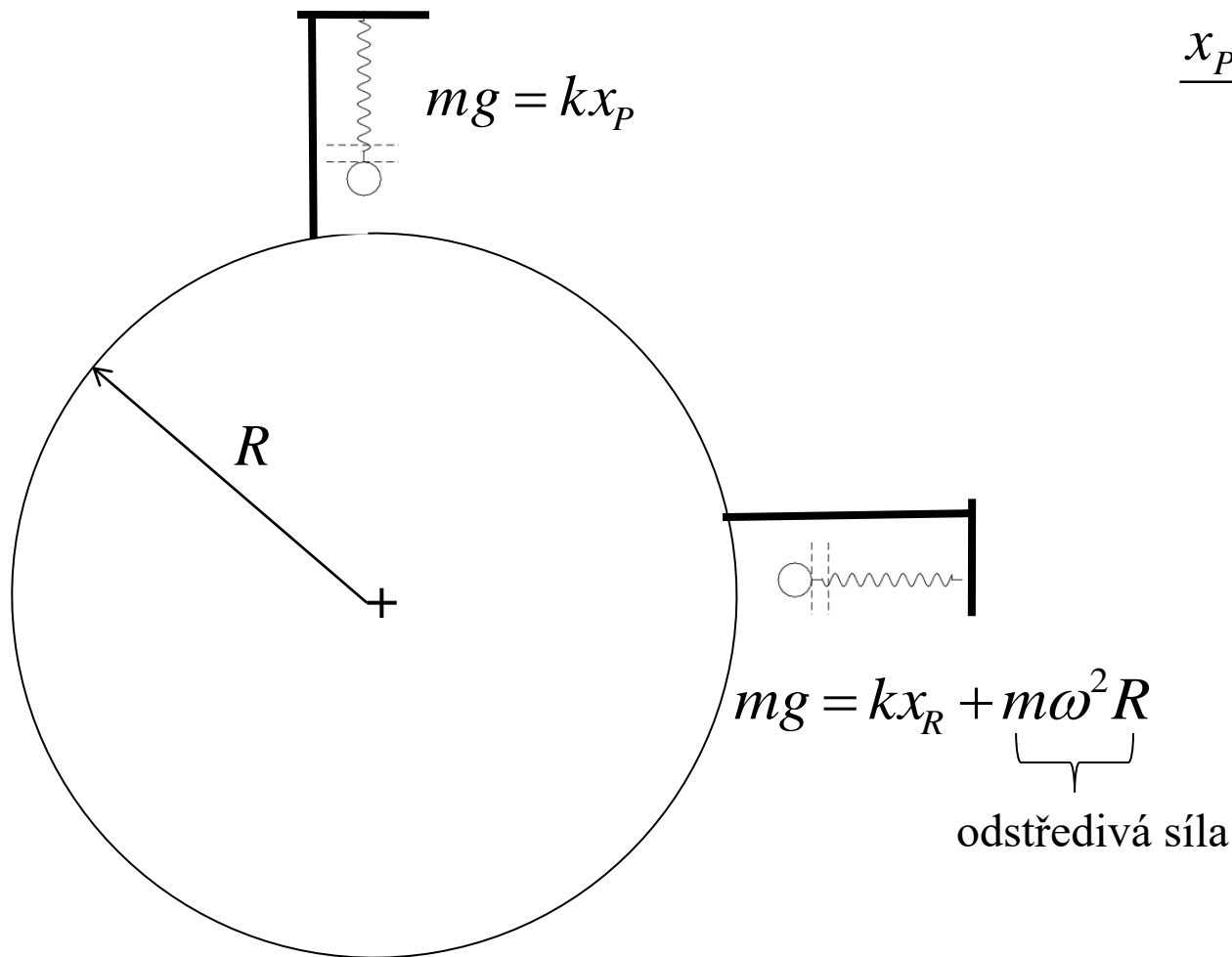
$$R_Z = 6378 \text{ km}$$

$$\frac{x_P - x_R}{x_P} \approx 0.4 \%$$

reakční síla kuličky na pružinu

Odstředivá síla

vážení na pólu a na rovníku



v neinerciální soustavě

$$\frac{x_P - x_R}{x_P} = \frac{\omega^2 R}{g}$$

pro Zemi:

$$\omega = 7.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

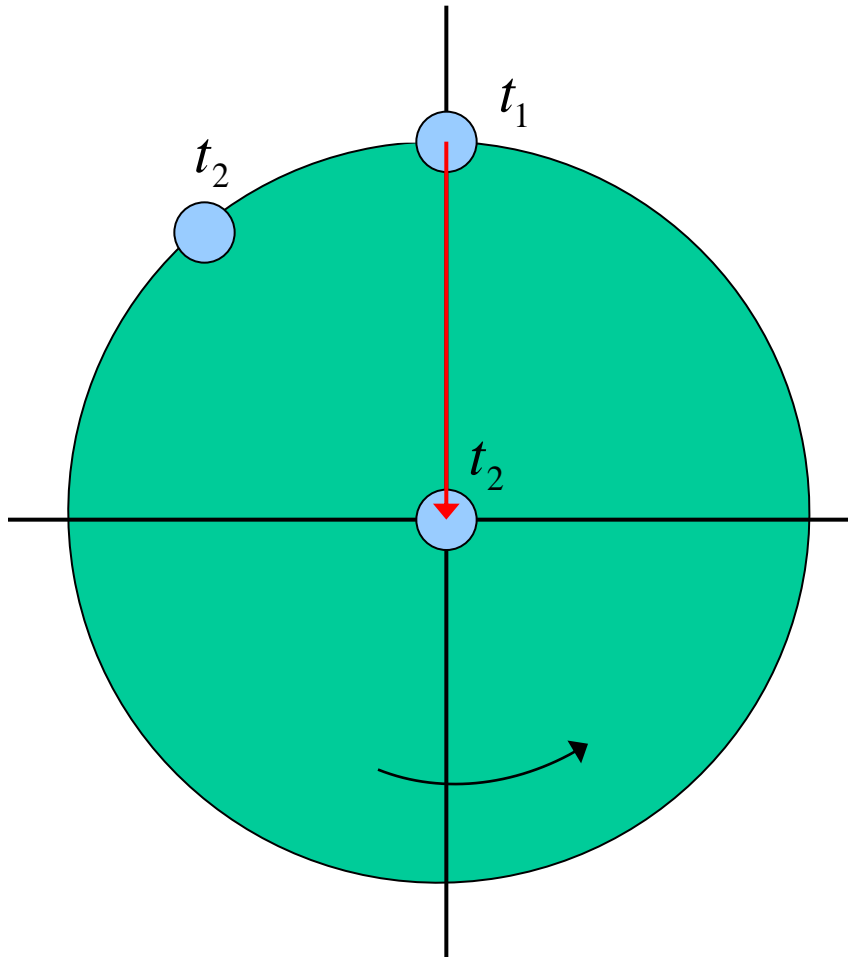
$$R = 6378 \text{ km}$$

$$\frac{x_P - x_R}{x_P} \approx 0.4 \%$$

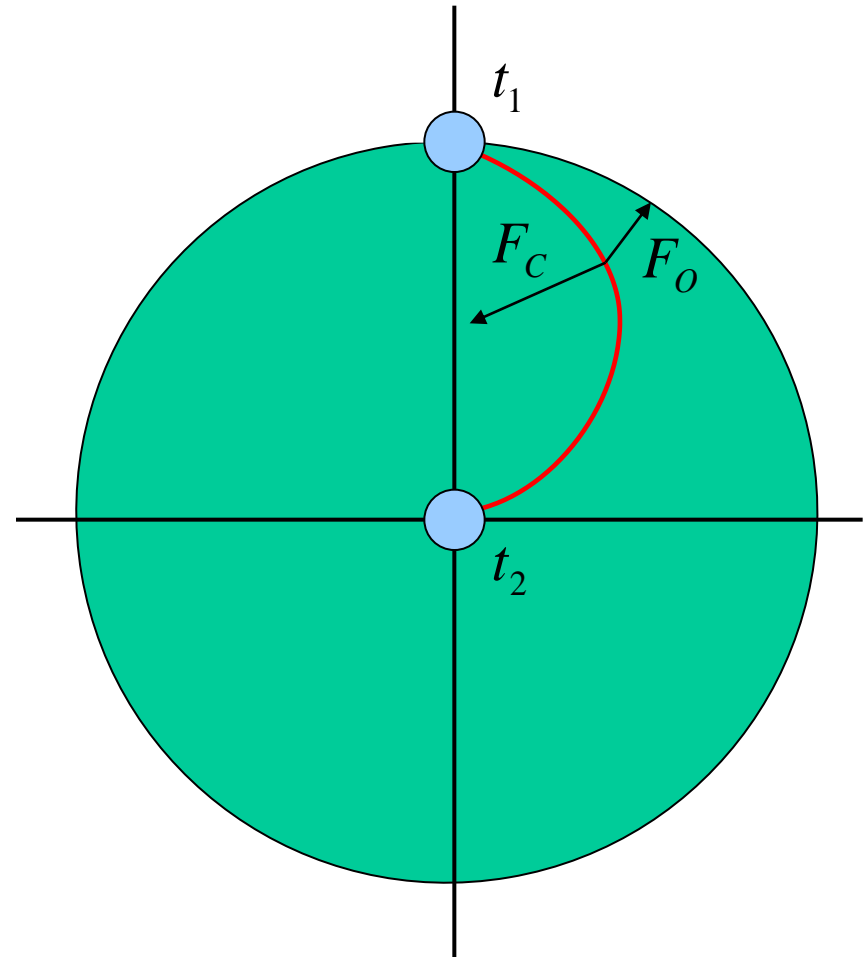
Rovnoměrně rotující vztažná soustava

Kolotoč

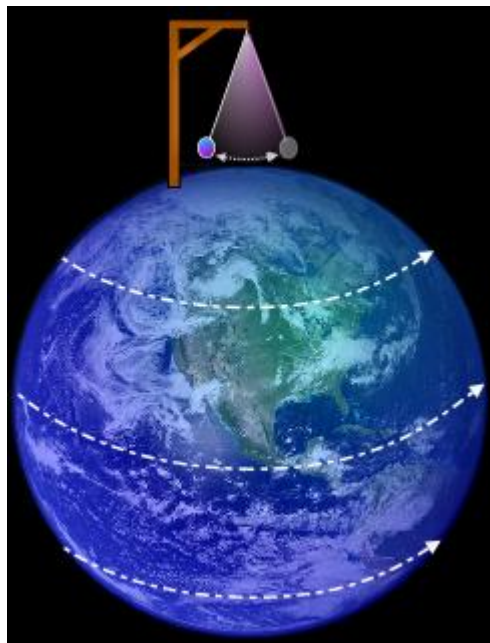
pohled z vnější inerciální soustavy



pohled z neinerciální soustavy spojené s kolotočem



Foucaultovo kyvadlo



na pólu: $360^\circ / \text{den} = 0.25^\circ \text{ min}^{-1}$

na rovníběžce za zeměpisnou šířkou φ : $360^\circ \sin \varphi / \text{den}$

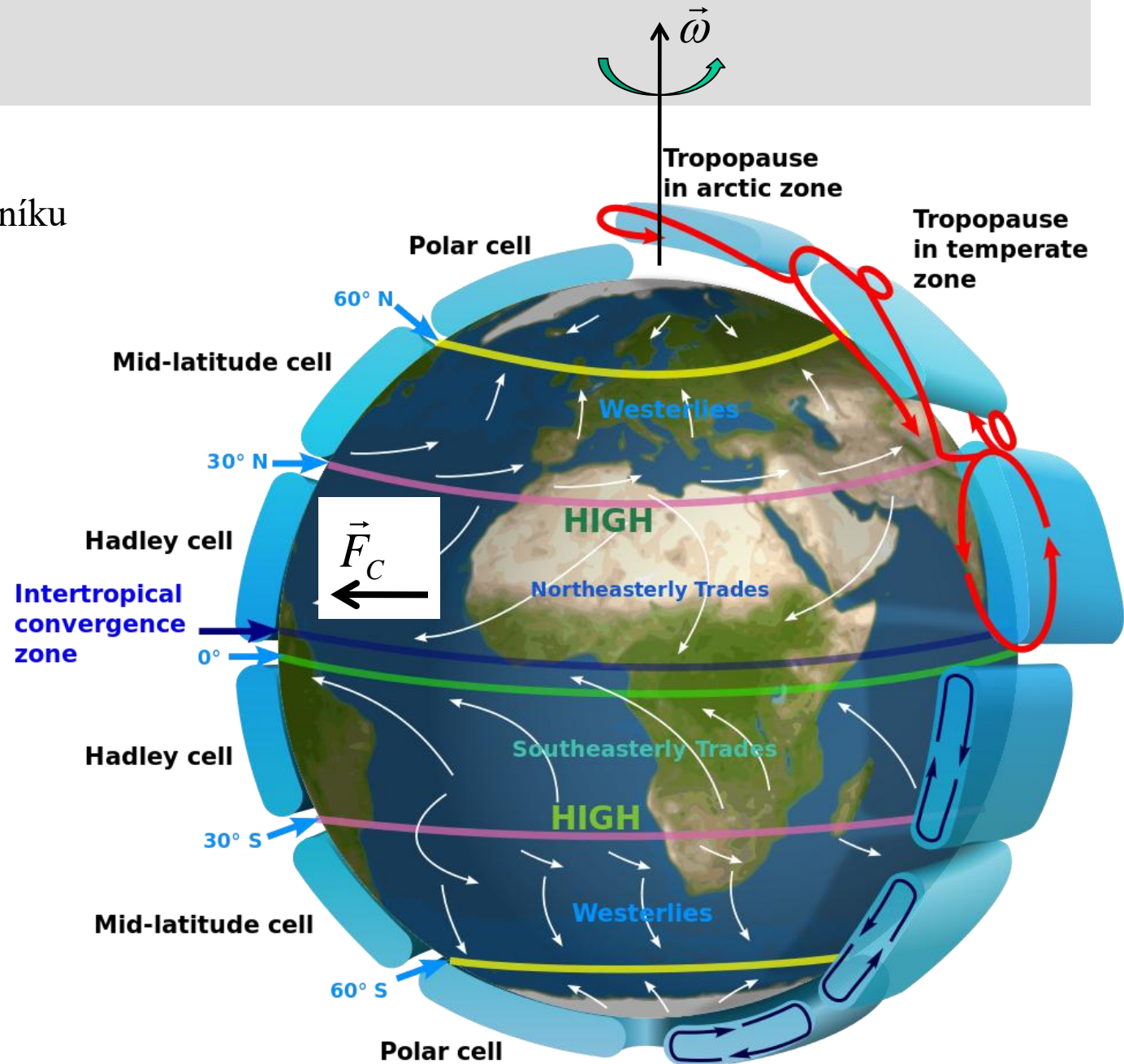
v Praze $\varphi = 50.08^\circ \longrightarrow 0.19^\circ \text{ min}^{-1}$

posun za 1 h: 11.5°

Coriolisova síla

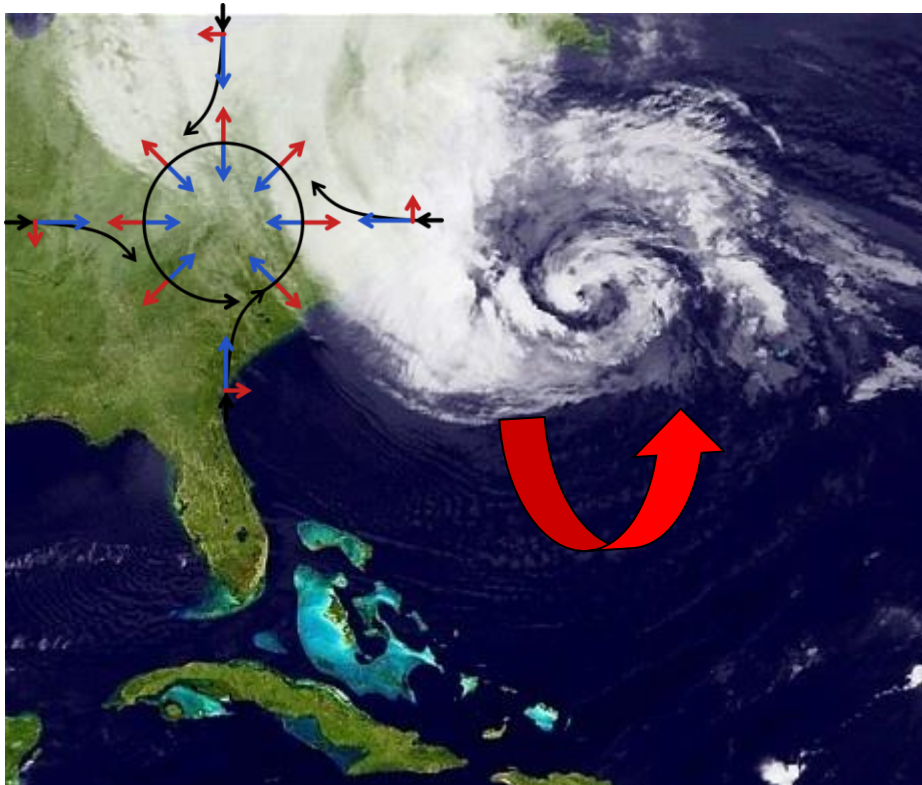
- pasáty vanoucí směrem k rovníku

$$\vec{F}_C = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$$

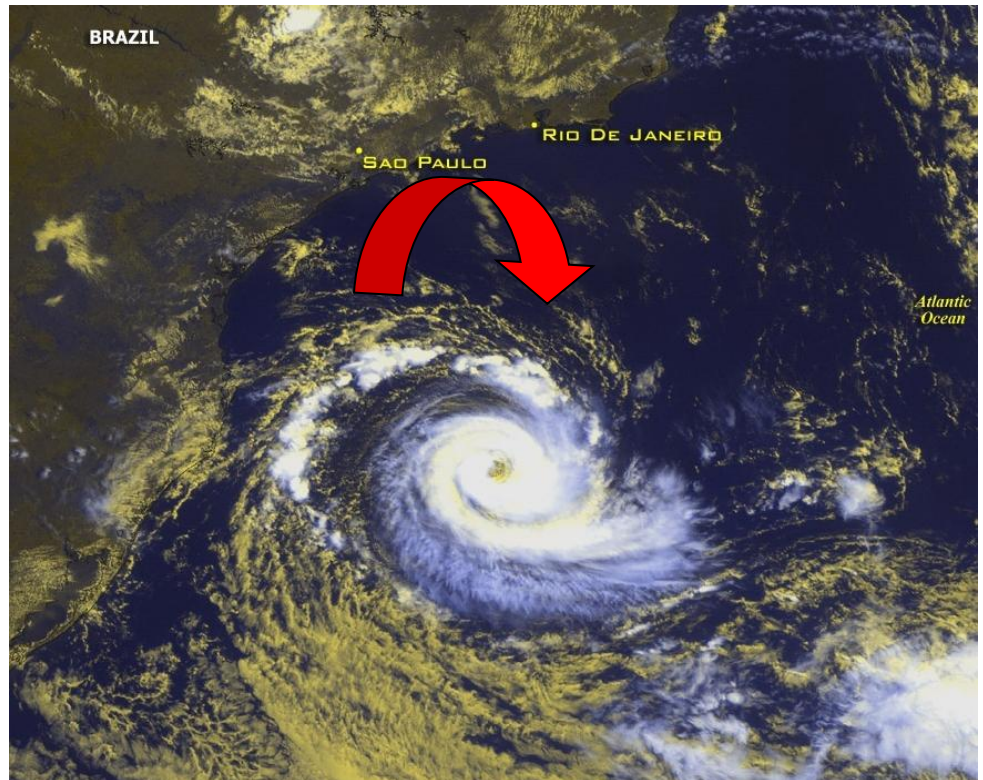


Coriolisova síla

hurikán Sandy v severním atlantiku 25.10. 2012



tropická bouře v jižním atlantiku 26.3. 2004



Rossbyho číslo

Rossbyho číslo: $R = \frac{V}{L f}$

Coriolisova frekvence: $f = 2\omega \sin \varphi$

pro Zemi $\omega = 2 \pi / \text{den} = 7.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

V Praze $\varphi = 50.08^\circ \longrightarrow f = 1.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

- $R \gg 1$ dominuje odstředivá síla
- $R \approx 1$ vliv odstředivé a Coriolisovy síly srovnatelný
- $R \ll 1$ dominuje Coriolisova síla

příklady:

• **fotbal:** $R \approx 2000$

$V \approx 10 \text{ m/s}$, $L \approx 50 \text{ m}$, $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

• **umyvadlo:** $R \approx 100000$

$V \approx 1 \text{ m/s}$, $L \approx 10 \text{ cm}$, $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

• **cyklón:** $R \approx 0.1$

$V \approx 10 \text{ m/s}$, $L \approx 1000 \text{ km}$, $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

• **Foucaultovo kyvadlo:** $R \approx 1400$

$V \approx 1 \text{ m/s}$, $L \approx 7 \text{ m}$, $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

délka závěsu $\sim 10 \text{ m}$, úhel $\pm 20^\circ$

