



Fizika I

INERCIJSKI I NEINERCIJSKI SUSTAVI

INERCIJSKI I NEINERCIJSKI SUSTAVI

- ▶ **Gibanje** promatramo u određenom koordinatnom sustavu.

r, v, a - ovise o izboru referentnog sustava

- ▶ **Vanjske sile** ovise samo o međusobnom položaju tijela i okoline, a ne o izboru sustava.

- ▶ **Inercijski sustavi** = sustavi u kojima vrijede **Newtonovi zakoni**

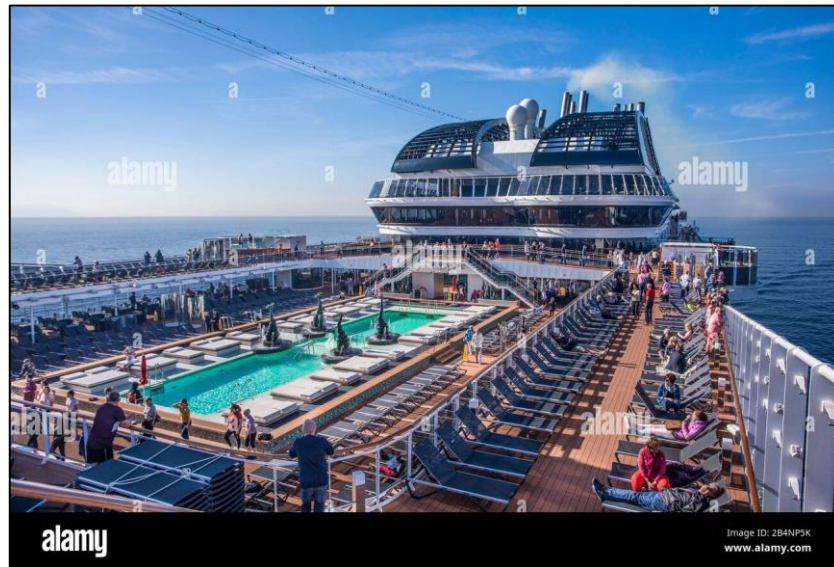
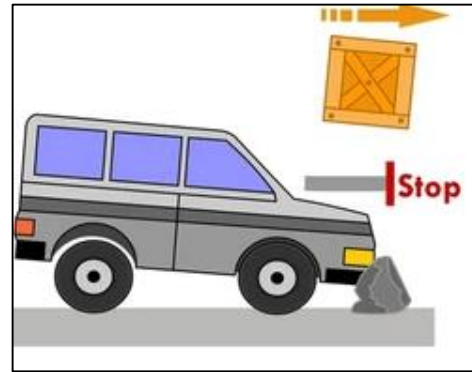
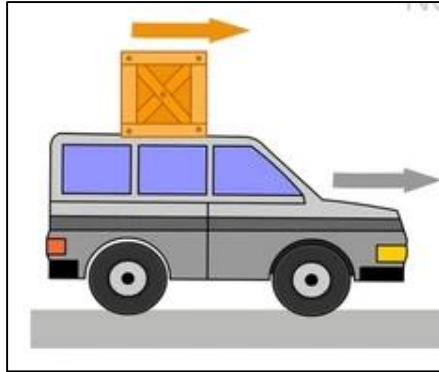
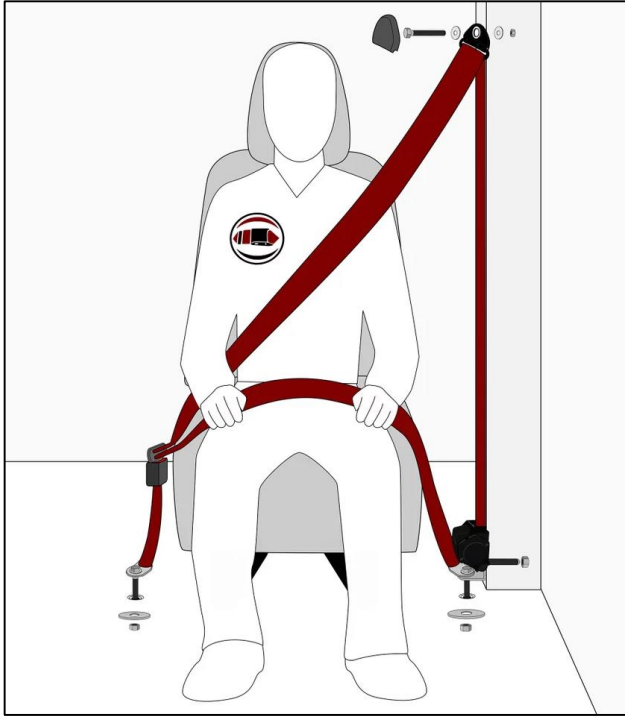
= sustavi u kojima vrijedi **Galilejev princip relativnosti**

= sustavi koji se jedan u odnosu na drugi gibaju **jednoliko po pravcu ili miruju**

- ▶ **Neinercijski sustavi** = sustavi koji se **gibaju ubrzano** u odnosu na neki inercijski sustav

= **ne vrijede** Newtonovi zakoni ni Galilejev princip relativnosti (uvođenjem F_i možemo u ubrzanim sustavima primijeniti 2. N.Z.)





Inercijski sustavi

Inercijski sustavi = sustavi u kojima vrijede Newtonovi zakoni (prvi Newtonov zakon inercije).

Ako je sustav S inercijski, tada je inercijski svaki drugi sustav S' koji u odnosu na njega miruje ili se giba jednoliko po pravcu.

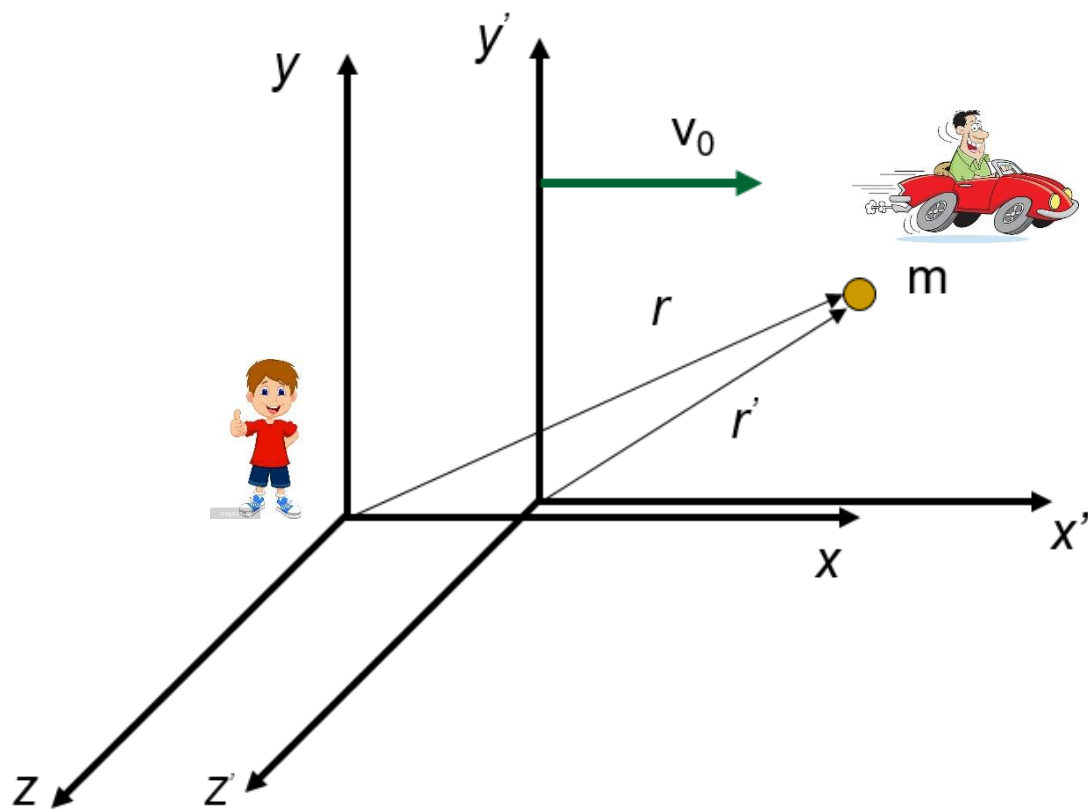
Kojom brzinom se gibaš ?



Tko je u pravu ?

Inercijski sustavi

Dva inercijska sustava S i S' koji se gibaju relativno jedan (od ili) prema drugome brzinom $\vec{v}_0$. ($t = t' = 0$, $O = O'$).



$$t = t' \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}_0 t$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$$

$$\vec{a} = \vec{a}'$$

$$x = x' + v_0 t \quad v_x = v'_x + v_0$$

$$y = y' \quad v_y = v'_y$$

$$z = z' \quad v_z = v'_z$$

$$t = t'$$

$$\vec{F} = \vec{F}'$$

Galilejeve transformacije

Primjer dječaka koji miruje u ishodištu referentnog sustava S i auto koji se giba konstantnom brzinom u desno u referentnom sustavu S' . Dječak i auto na početku se nalaze na istom mjestu.

Inercijski sustavi. Galilejev princip relativnosti

- ▶ Klasična fizika: ($v \ll c$, $m = \text{konst.}$)
 - gibanje ne utječe na vrijeme i prostor;
 - satovi pokazuju isto vrijeme ($t = t'$), a metri iste duljine ($l = l'$)
- ▶ Djelovanje sile:

S: $\vec{F} = m\vec{a}$

S': $\vec{F}' = m\vec{a}'$

}

Vrijedi: $\vec{a} = \vec{a}' \rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$
- ▶ Drugi Newtonov zakon ima isti oblik u svim inercijskim sustavima; Newtonovi zakoni su invarijantni na Galilejeve transformacije.
- ▶ Svi inercijski sustavi međusobno su ekvivalentni $\rightarrow$ ne postoji sustav koji apsolutno miruje; ne možemo ustanoviti koji sustav miruje, a koji se jednoliko giba (Galilejev princip relativnosti)

Jednoliko ubrzani sustavi. Inercijske sile

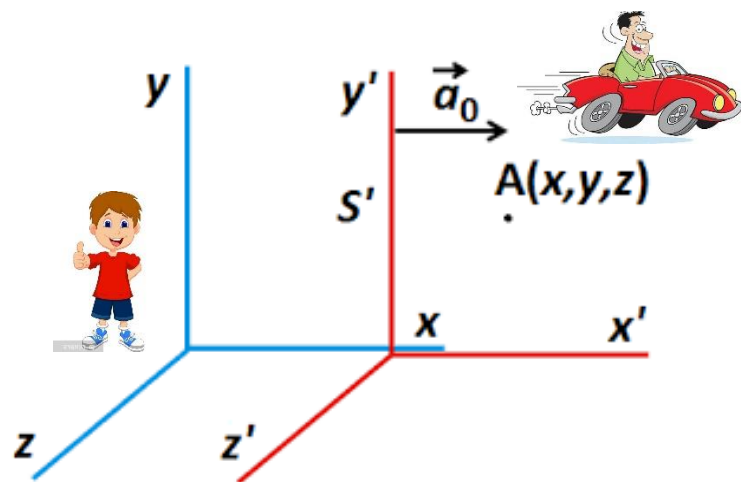
U ubrzanim sustavima ne vrijede Newtonovi zakoni:

- kad automobil/vlak... ubrzava, osjećamo silu prema natrag
- pri kočenju djeluje sila prema naprijed

Javljaju se sile, ne zbog djelovanja drugih tijela, već zbog neinercijalnosti sustava. Zovemo ih **inercijskim** silama, a nekad i fiktivnim, odnosno pseudo silama da bi se istakla razlika prema silama nastalima međudjelovanjem s drugim tijelima.

Jednoliko ubrzani sustavi. Inercijske sile

Neinercijski sustav S' giba se translatorno prema inercijskom sustavu S konstantnom akceleracijom $\vec{a}_0$ u smjeru $+x$ -osi.



$$x' = x - v_0 t - \frac{a_0 t^2}{2}$$

$$v'_x = v_x - v_0 - a_0 t$$

$$a'_x = a_x - a_0$$

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

$$m\vec{a}' = m(\vec{a} - \vec{a}_0) = \vec{F} - m\vec{a}_0$$

$$\vec{F}_i = -m\vec{a}_0$$

$\vec{F}$ – ukupna sila u sustavu S
2. N.z.(S): $\vec{F} = m\vec{a}$

Inercijska sila

Primjer dječaka koji miruje u ishodištu referentnog sustava S i auto koji se giba ubrzano u desno u referentnom sustavu S' . Dječak i auto na početku se nalaze na istom mjestu.

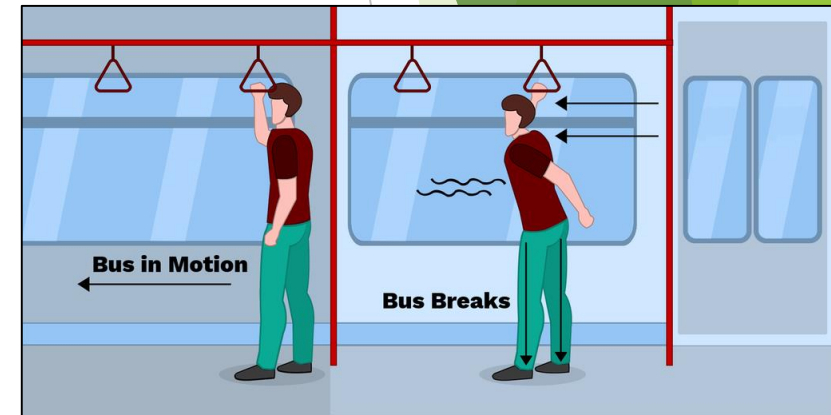
$\vec{F}'$ – ukupna sila u sustavu S'
2. N.z.(S'): $\vec{F}' = m\vec{a}'$

Jednoliko ubrzani sustavi. Inercijske sile

- $\vec{F}_i = -m\vec{a}_0$ - sila kao posljedica ubrzanja referentnog sustava. Usmjerena je u suprotnom smjeru od smjera akceleracije neinercijskog sustava!

$$\vec{F}' = \vec{F} + \vec{F}_i$$

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



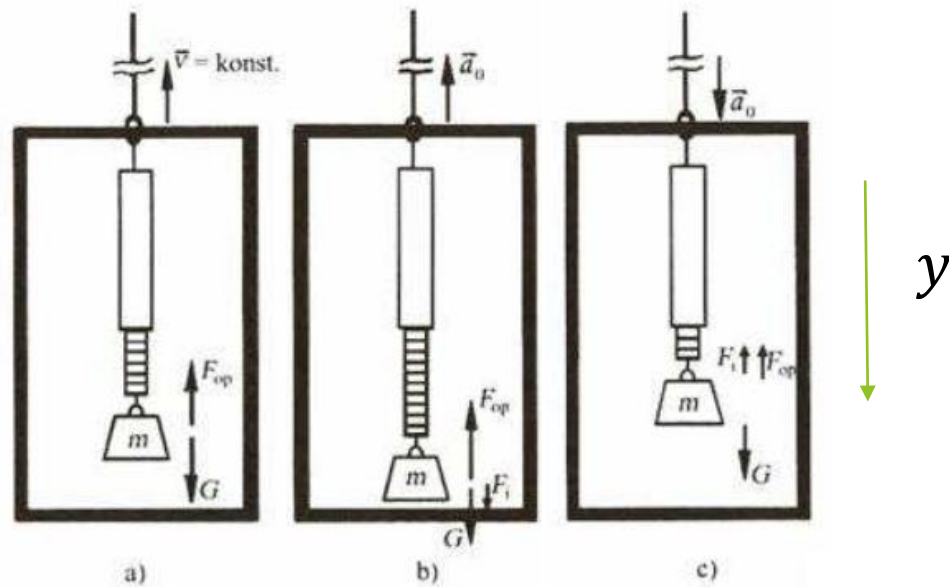
- Drugi Newtonov zakon ima formalno isti oblik i u ubrzanom (neinercijskom) sustavu ako silama koje nastaju zbog međudjelovanja tijela dodamo i inercijsku silu.

F (kočenja)

Jednoliko ubrzani sustavi. Inercijske sile

► **Primjer** - dizalo koje se:

- a) giba jednoliko prema gore
- b) giba jednoliko ubrzano prema gore
- c) giba jednoliko ubrzano prema dolje



a) $\vec{F} = m\vec{a} = \vec{G} + \vec{F}_{op} = 0$

$$G = mg$$

b) $\vec{F}' = m\vec{a}' = \vec{G} + \vec{F}_{op} + \vec{F}_i = 0$

$$\vec{G}' = -\vec{F}_{op} = \vec{G} + \vec{F}_i = m\vec{g} - m\vec{a}_0$$

$$G' = m(g + a_0)$$

c) $\vec{F}' = m\vec{a}' = \vec{G} + \vec{F}_{op} + \vec{F}_i = 0$

$$\vec{G}' = -\vec{F}_{op} = \vec{G} + \vec{F}_i = m\vec{g} - m\vec{a}_0$$

$$G' = m(g - a_0)$$



Rotirajući sustavi. Centrifugalna sila

- ▶ Predmet mase m pričvršćen je za središte ploče pomoću opruge.
- ▶ Ploča rotira oko osi z' koja je okomita na ploču i prolazi kroz njeno središte.

Dva sustava

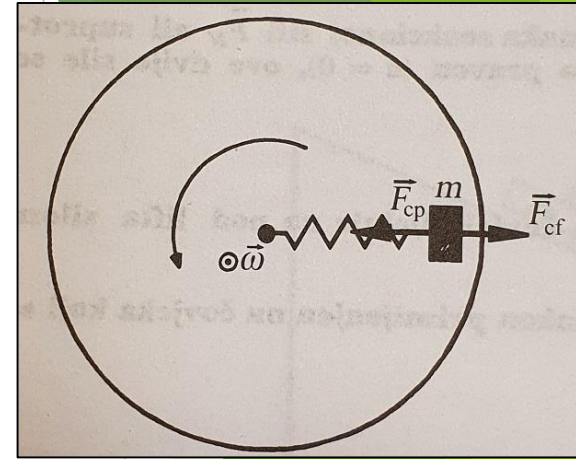
- ▶ **S'** rotira, $\vec{\omega} = \text{konst.}$ ($\vec{r}'$) (gledamo na ploči)
- ▶ **S** inercijski, miruje ($\vec{r}$) (gledamo izvan ploče)
- ▶ Oba sustava imaju isto ishodište: $\vec{r} = \vec{r}'$

U sustavu **S** predmet se giba po kružnici (promatrač se nalazi u laboratoriju) jer mu sila opruge za to osigurava potrebnu centripetalnu silu:

$$\vec{F}_{cp} = \vec{F}_{op} = -m\omega^2\vec{r}$$

U sustavu **S'** predmet miruje (promatrač se nalazi na ploči); uvodimo inercijsku silu $\vec{F}_{cf}$ tako da:

$$\begin{aligned}\vec{F}_{op} + \vec{F}_{cf} &= 0 \\ \vec{F}_{cf} &= -\vec{F}_{cp} = m\omega^2\vec{r}'\end{aligned}$$



Rotirajući sustavi. Centrifugalna sila

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{cf} = -\vec{F}_{cp}$$

Centrifugalna sila - po iznosu je jednaka centripetalnoj sili, ali je suprotnog smjera, tj. usmjerena je od osi rotacije prema obodu.

Razlika!

- ▶ **Centripetalna sila** je naziv za silu koja uzrokuje kružno gibanje i nije neka posebna vrsta sile!
- ▶ **Centrifugalna sila** je sila koja se javlja u rotirajućem sustavu kao inercijska sila!

Rotirajući sustavi. Centrifugalna sila

Spljoštenost Zemlje

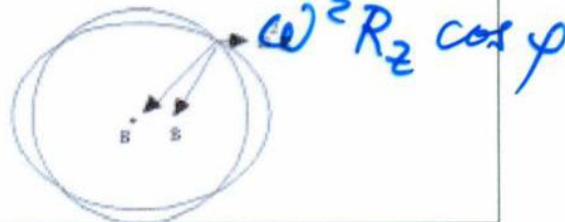
posljedica je centrifugalne sile.

Utjecaj centrifugalne sile na akceleraciju slobodnog pada: različiti g !

Iznos centrifugalne sile na tijelo na Zemljinoj površini,
na geografskoj širini φ :

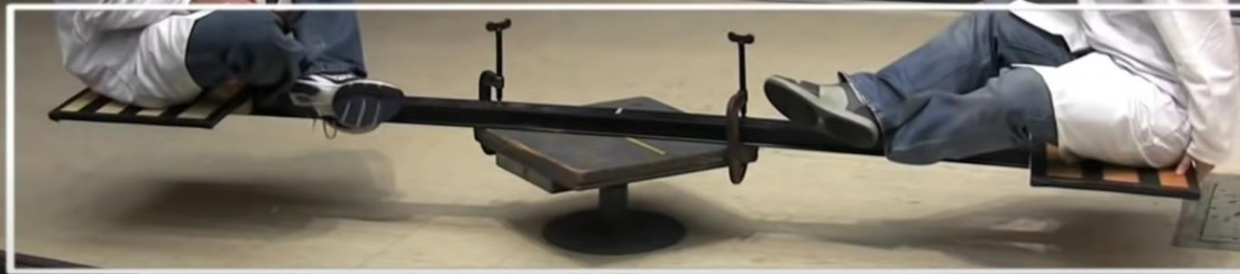
$$F_{cf} = m\omega^2 R_Z \cos \varphi$$

Kutna brzina rotacije Zemlje je
 $\omega = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. **Korekcija g** je 0 na
polovima, a najveća na ekvatoru –
oko 0,3%.



Coriolis Effect

To exit full screen, press Esc



Rotating Platform

Rotirajući sustavi. Coriolisova sila

- Inercijska sila na tijelo u rotirajućem sustavu **kada se tijelo giba brzinom $\vec{v}'$** , obzirom na rotirajući sustav:

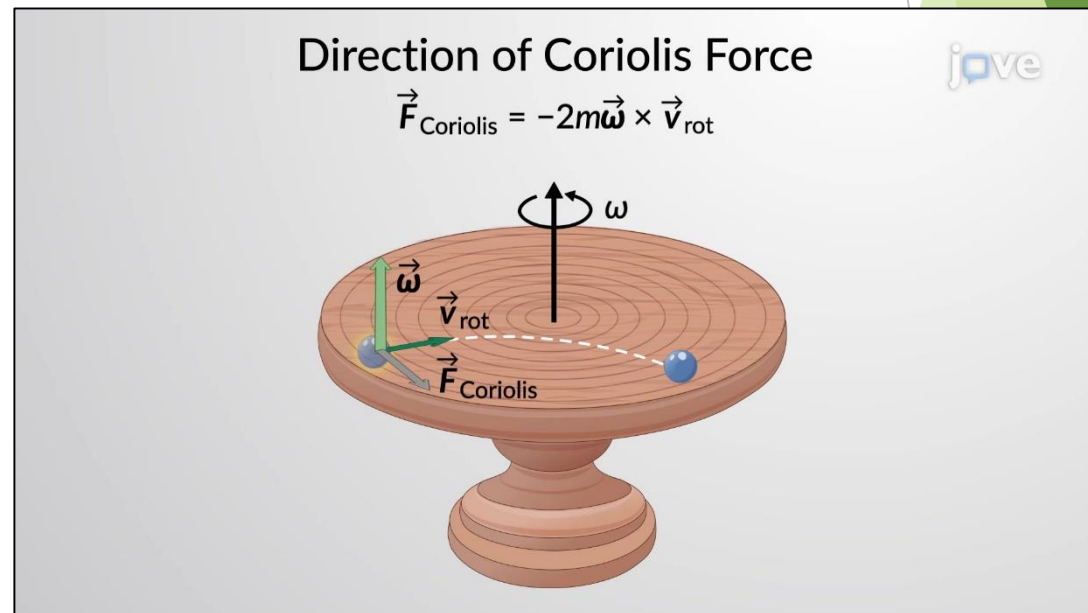
$$\vec{F}_c = 2m\vec{v}' \times \vec{\omega}$$

- Ukupna inercijska sila na tijelo u rotirajućem sustavu:

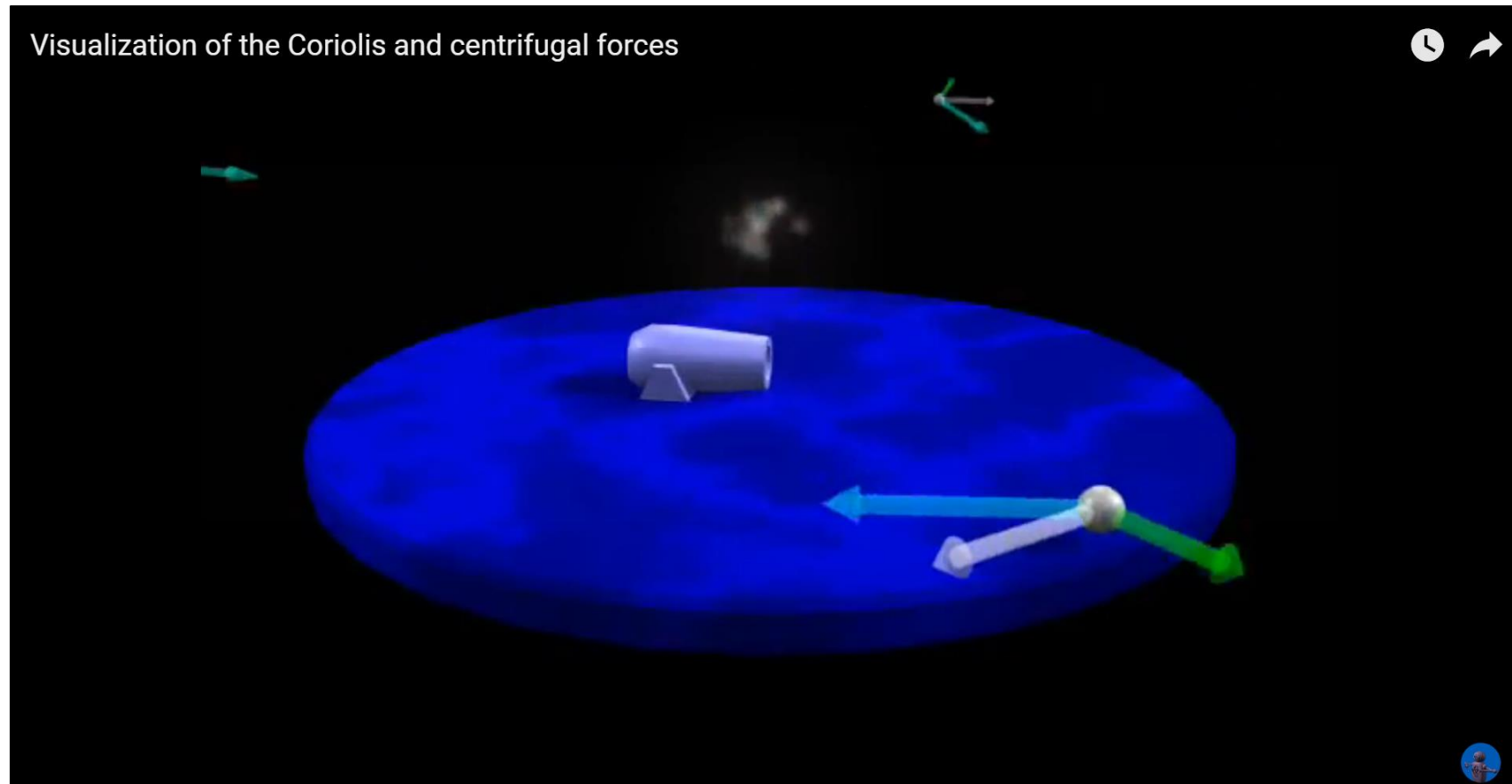
- $\vec{F}_i = m\omega^2\vec{r}' + 2m\vec{v}' \times \vec{\omega}$

Centrifugalna sila

Coriolisova sila - okomita na $\vec{v}'$
- okomita na $\vec{\omega}$



Coriolisova sila



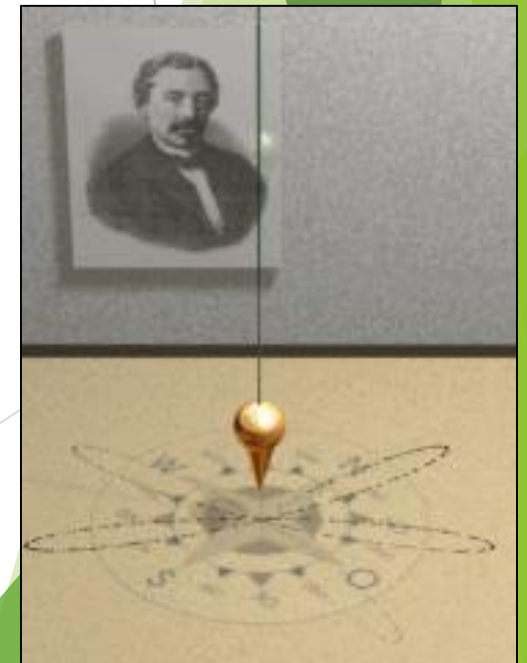
Rotirajući sustavi. Coriolisova sila: Foucaultovo njihalo

1851. g. Foucault je dokazao da Zemlja rotira oko svoje osi.

- ▶ Napravio njihalo od teške metalne kugle obješene na dugačku nit (žicu).
- ▶ Zbog Coriolisove sile ravnina njihanja se zakreće i period T_F punog okreta Foucaultovog njihala ovisi o geografskoj širini φ :

$$T_F = \frac{T}{\sin\varphi}$$

- ▶ Na polu ($\varphi = 90^\circ$): isti kao i period vrtnje Zemlje $T = 24$ h
- ▶ Na $\varphi = 45^\circ$, $T = 33,5$ h
- ▶ Na ekvatoru nema vrtnje.



Rotirajući sustavi. Coriolisova sila

- Važno u meteorologiji, oceanografiji:

posljedica djelovanja Coriolisove sile je promjena smjera gibanja (vjetrova, zračnih masa, morskih struja) i to na sjevernoj polutki udesno, a na južnoj ulijevo.

