

Sistemske sile

$\vec{F} = m \vec{a}$ velja v inercialnih koordinatnih sistemih. V pospešenih (neinercialnih) koordinatnih sistemih moramo vpeljati sistemske sile.

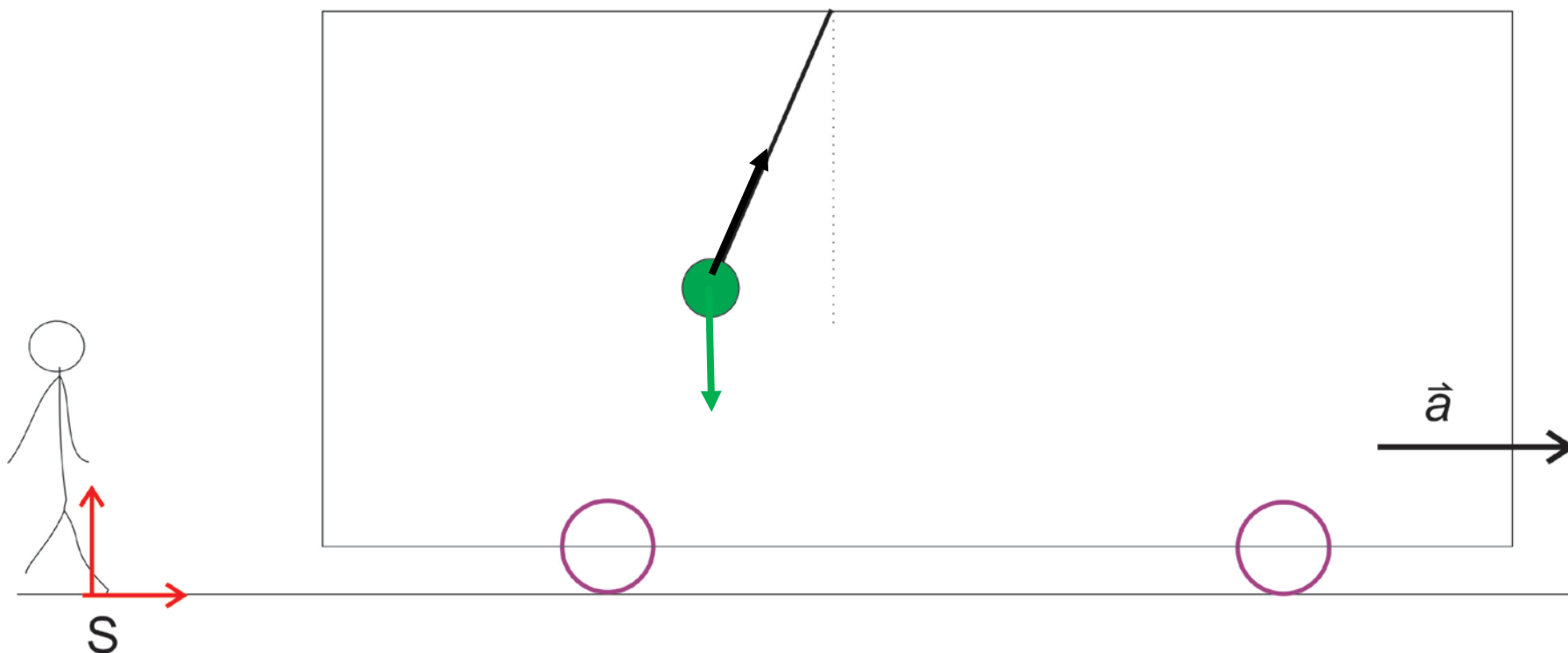
Primeri, ko to radi naredimo:

opis gibanja v pospešenem dvigalu, avtomobilu

opis gibanja v vrtečem se KS

Sistemske sile – premo enakomerno pospešeni KS – vztrajnostna sila

a) Obravnava visečega nihala v inercialnem KS S

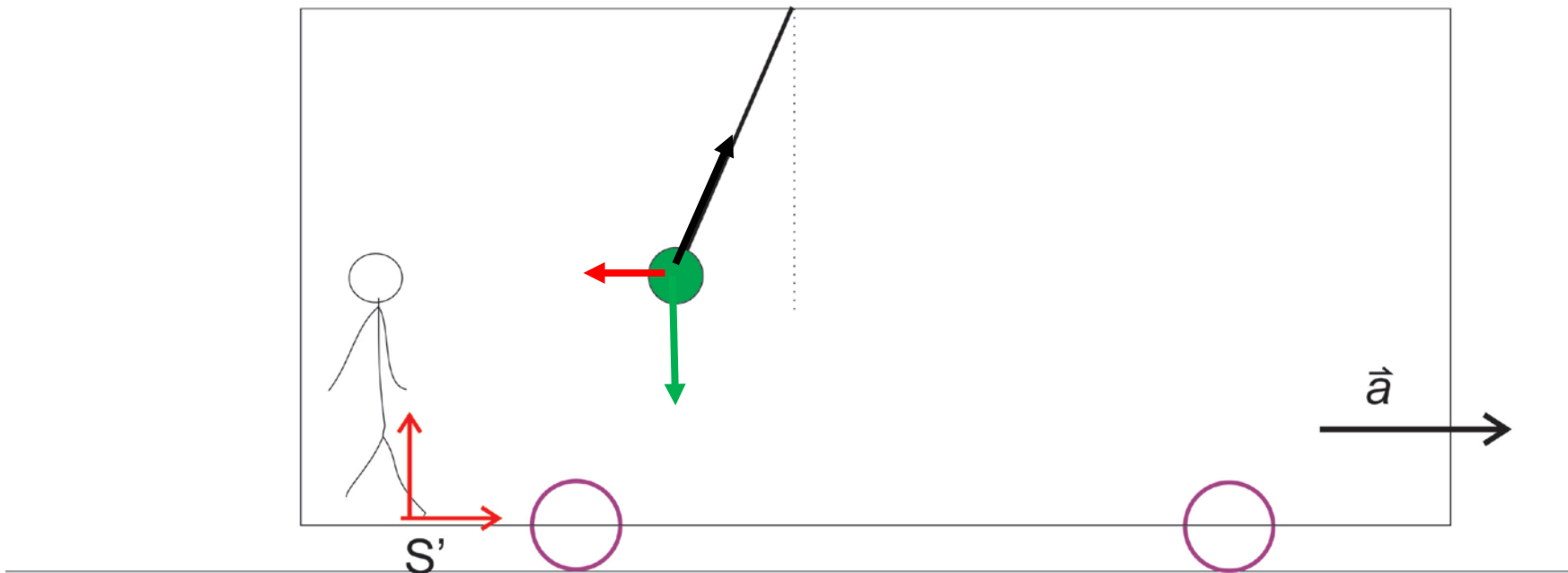


V S ugotovimo: krogla se giblje pospešeno, vsota sile v vrvi in teže je enaka produktu mase krogle in pospeška.

Sistemske sile:

1) premo enakomerno pospešeni KS – vztrajnostna sila

b) Obravnava visečega nihala v neinercialnem KS S'



V S' ugotovimo: krogla miruje!?

Vpeljemo sistemsko silo – vztrajnostno silo: $\vec{F}_s = -m \vec{a}$.

Sistemske sile – premo enakomerno pospešeni KS – vztrajnostna sila

1) Vztrajnostna sila (premo gibanje) ✓

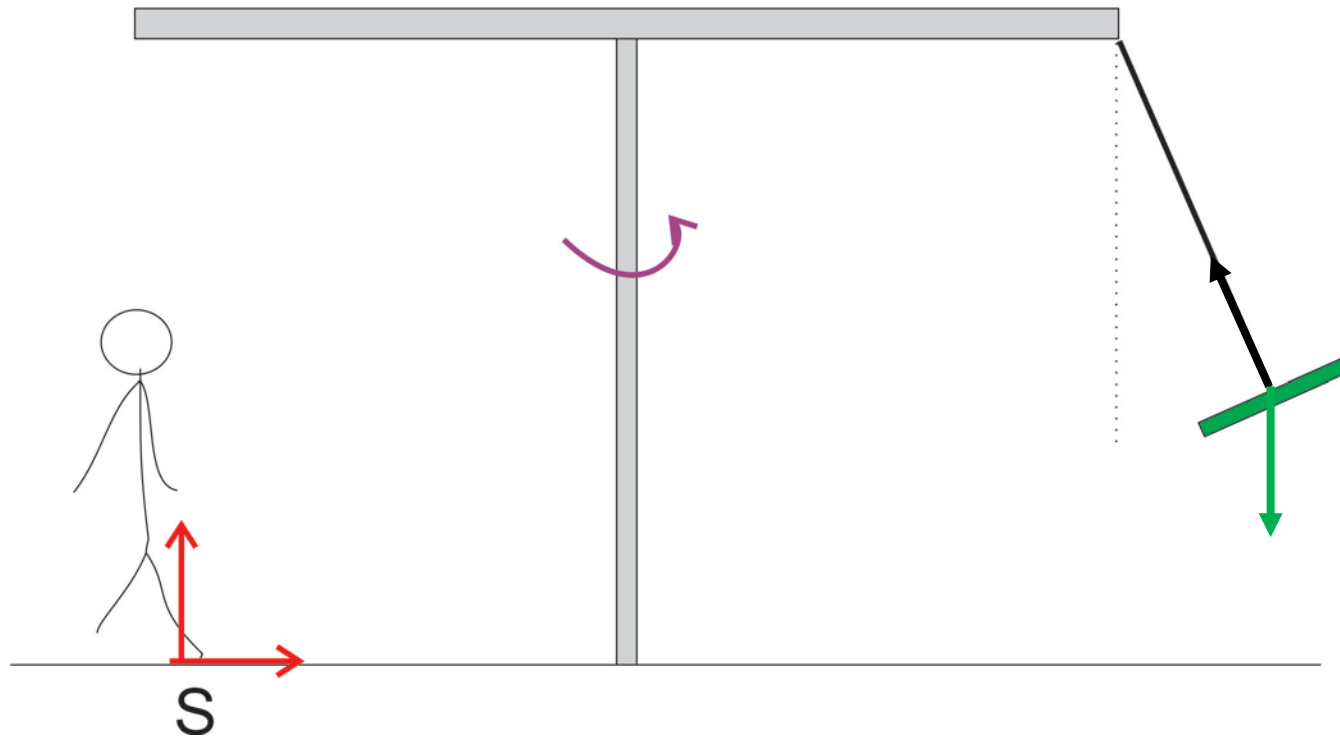
2) Centrifugalna sila (enakomerno krožeč KS)

3) Coriolisova sila (gibanje v enakomerno krožečem KS)

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

b) Obravnava visečega sedeža na vrtiljaku v inercialnem KS S

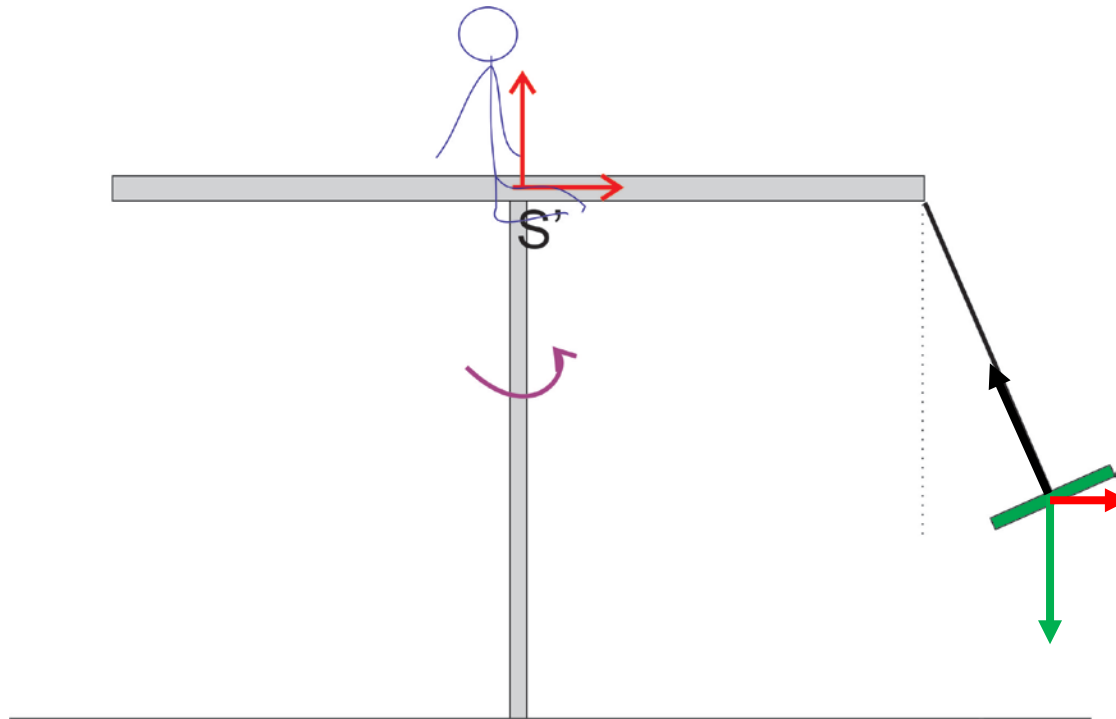


V S ugotovimo: sedež se vrti zato mora biti vsota sil nanj enaka produktu mase in radialnega pospeška.

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

b) Obravnava visečega sedeža na vrtiljaku v neinercialnem KS S' , ki se vrti z vrtiljakom



V S' ugotovimo: krogla miruje!?

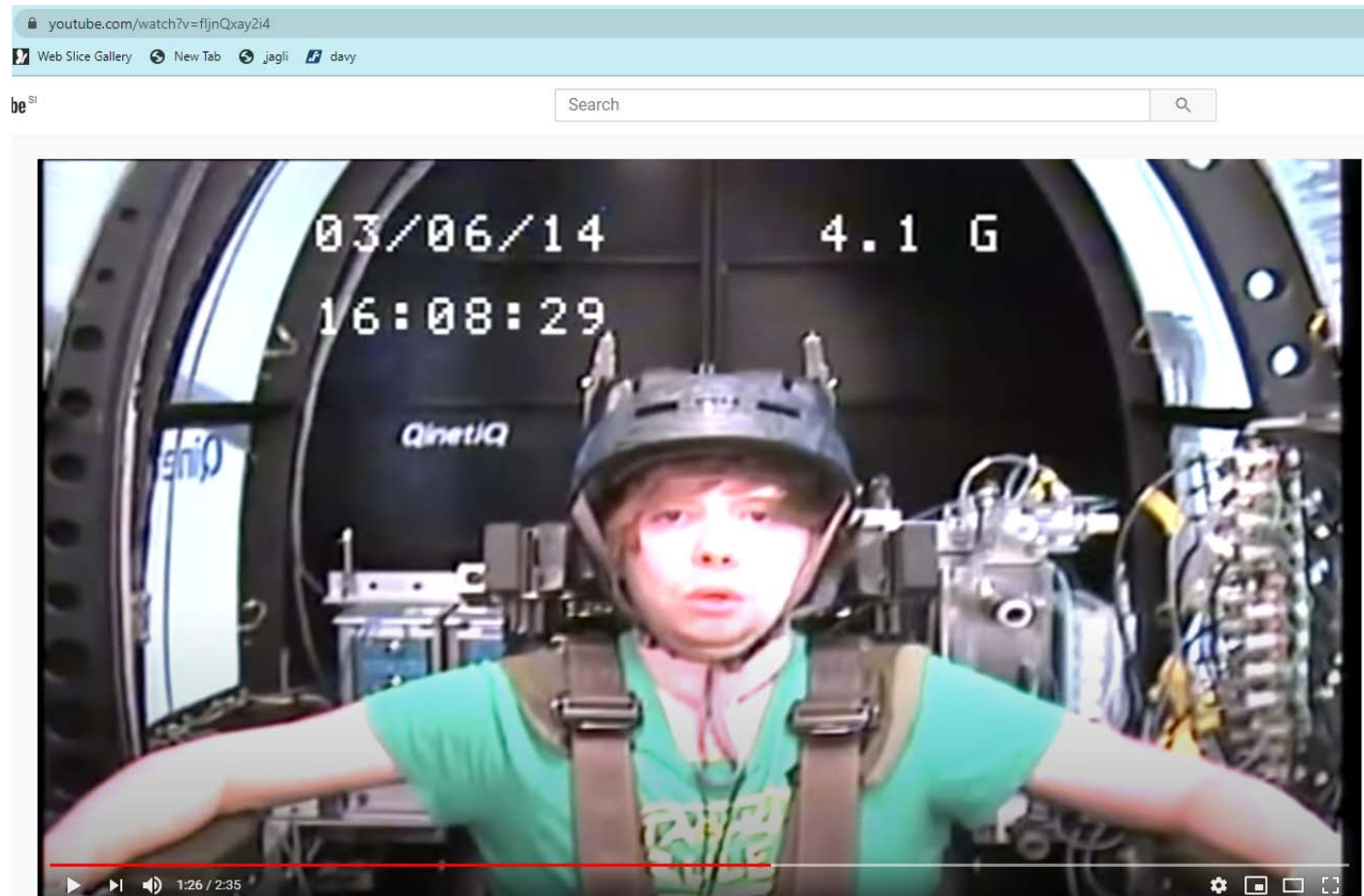
Vpeljemo sistemsko silo – *centrifugalno silo*: $\vec{F}_s = -m\omega^2\vec{r}$,
v smeri proč od osi vrtenja.

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Zgledi:

- Centrifuga



<https://www.youtube.com/watch?v=fljnQxay2i4>

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

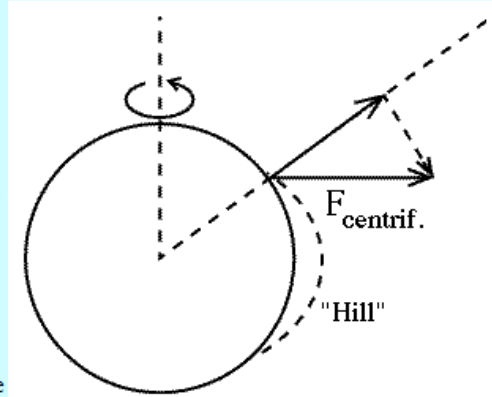
Zgledi:

- Zemlja

Δr okoli 20 km

The bulge of the Earth's equator

Assuming the Earth is exactly spherical, we expect gravity to always point towards the center of Earth. However, the centrifugal force is **perpendicular to the axis** of the Earth. Except on the equator, therefore, it is **not exactly opposed** to gravity, but adds a small horizontal vector component, pointing towards the equator (dashed arrow in the figure). As a result, not only is effective gravity weakened, but **its direction is modified**--instead of pointing to the center of the Earth, it slants (ever so slightly) towards the equator.



Does this mean that if you placed a perfect ball on a very smooth horizontal surface, gravity would make it roll equatorward...? No, sir! **Suppose it was so.** That same force would also act on the water of the ocean and make it flow equatorwards, and even the solid Earth might deform!

How long would this go on? Well, until the equatorial pile-up of material forms a "hill" around the Earth, rising slightly towards the equator, where its top would be. No more flow towards the equator would occur once the slope of the ground, as modified by the hill, would be **exactly perpendicular** to the effective direction of (modified) gravity. With such a slope, a perfect ball placed on a perfectly horizontal surface would no longer try to roll anywhere, and forces on oceans and on land would no longer try to move matter horizontally.

By now you should realize what this gives us--**an explanation to the equatorial bulge of the Earth!** That bulge is nothing but the "hill" described above, and the shape of the surface is such that the ground is always perpendicular to the effective gravity

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Ali ob plimi tehtamo manj?

The diagram illustrates the Earth-Moon system. A vertical line represents the line of centers. At the top, a small yellow circle represents the Moon, with a horizontal line indicating its distance from the center of mass as $60 \cdot R_z = x_2$. To the right of the Moon, its mass is given as $M_L = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$. At the bottom, a larger black circle represents the Earth. A horizontal dashed red line indicates the center of mass of the system, labeled x^* . The Earth's center is marked with a blue dot and labeled $x=0$. The distance from the Earth's center to the center of mass is labeled $\phi = x_1$. To the right of the Earth, the Earth's mass is given as $M_z = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg} \approx 81 M_L$.

TEŽIŠČE SISTEMA ZEMLJA-LUNA JE

$$x^* = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{\phi + 60 R_z \cdot M_L}{81 M_L} = 0,7 R_z$$

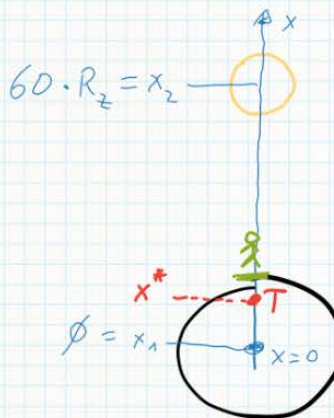
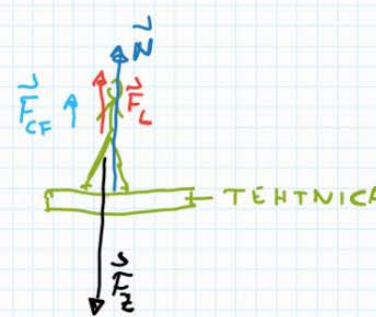
Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Ali ob plimi tehtamo manj?

postavimo človeka z maso $m=70\text{ kg}$ na tehtnico.
Narišimo sile v KS, ki se vrti okoli T!

1) NE MOŠTEVAJMO CENTRIFUGALNE SILE ZARADI VRTEENJA ŽENLJE OKOLI LASTNE OSI (24h), SAJ NA TO SILA LEGA LUNE NIKA VPLIVA.

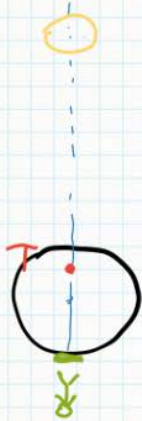

$$F_z = 9,81 \cdot 70 \text{ N} = 686,7 \text{ N}$$
$$F_L = \frac{G \cdot m M_L}{(60 R_z - 1 \cdot R_z)^2} = m \frac{G \cdot M_L}{R_z^2} \cdot \frac{M_L}{M_L \cdot 59^2} =$$
$$= F_z \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}$$
$$F_{cf} = m \left(\frac{2\pi}{t'} \right)^2 \cdot 0,3 R_z = F_z \cdot 1,4 \cdot 10^{-6}$$
$$t' = 27 \text{ dni}$$
$$F_{cf} + F_L + N = F_z$$

TEHTNICA POKAŽE $N = F_z - F_{cf} - F_L = F_z (1 - 4,9 \cdot 10^{-6})$; pokaže 0,3g manj.

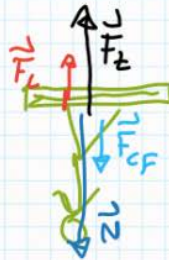
Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Ali ob plimi tehtamo manj?



NA NASPROTNI STRANI:



$$F_z = mg_0 = 686,7 \text{ N}$$

$$F_L = \frac{G m M_L}{(61 R_z)^2} = m \frac{G M_z}{R_z^2} \cdot \frac{M_L}{M_z \cdot 61^2} =$$
$$= F_z \cdot 33 \cdot 10^{-6}$$

$$F_{CF} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \left(\frac{2\pi}{t'} \right)^2 \cdot 1,7 R_z = F_z \cdot 8,1 \cdot 10^{-6}$$

TEHNIKA POKAŽE:

$$N = F_z + F_L - F_{CF} = F_z (1 + 33 \cdot 10^{-6} - 8,1 \cdot 10^{-6}) = F_z (1 - 4,8 \cdot 10^{-6});$$

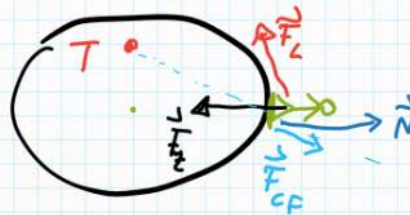
pokaže 0,3 g manj

Sistemske sile:

2) enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Ali ob plimi tehtamo manj?

Ko je oseka:



↑
OČITNO V TEJ LEGI $\vec{F}_L$ in $\vec{F}_{CF}$ ZARADI VRTENJA
OKOLI T, NE PRISPEVATA TOLIKO KAKOR
KO JE LUNA NAD NASI ali NA NASPROTNI
STRANI

Sistemske sile – enakomerno vrteči KS – centrifugalna sila

Zgledi:

- „Centrifuga“: uporaba v laboratoriju, pranju perila, čiščenje vode ...

Gostejši delci končajo na največjem radiju.



Sistemske sile – premo enakomerno pospešeni KS – vztrajnostna sila

- 1) Vztrajnostna sila (premo gibanje) ✓
- 2) Centrifugalna sila (enakomerno krožeč KS) ✓
- 3) Coriolisova sila (gibanje v enakomerno krožečem KS)

Sistemske sile – gibanje v enakomerno vrtečem KS – Coriolisova sila

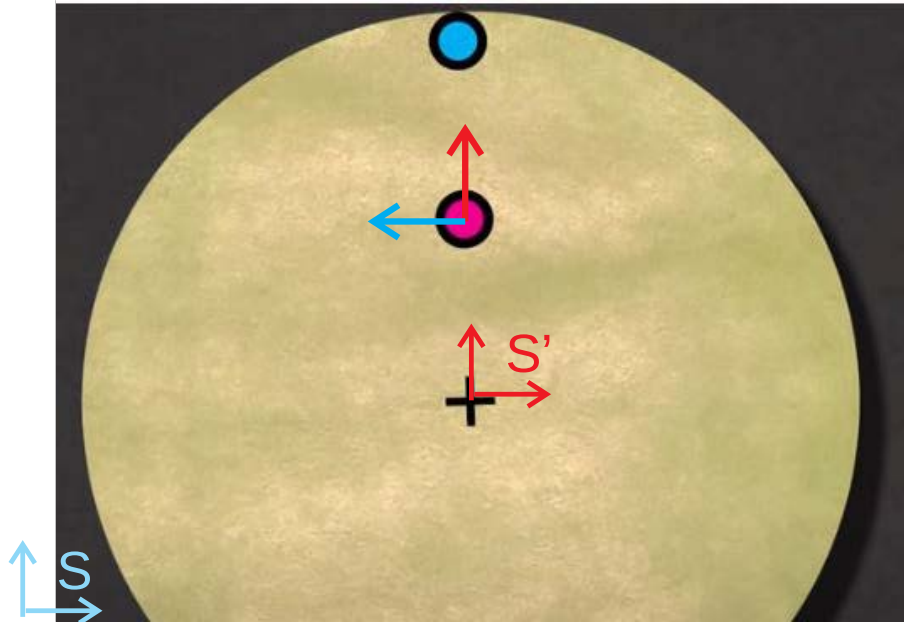
<https://www.youtube.com/watch?v=6L5UD240mCQ> (od 1 minute naprej)

Kakšno silo moramo pripisati v vrtečem KS S' (NEINERCIALNEM!), da bo opisala gibanje, ki smo ga videli na posnetku?

Poglejmo še to, od začetka:

<https://www.youtube.com/watch?v=HlyBpi7B-dE>

Sistemske sile – gibanje v enakomerno vrtečem KS – Coriolisova sila



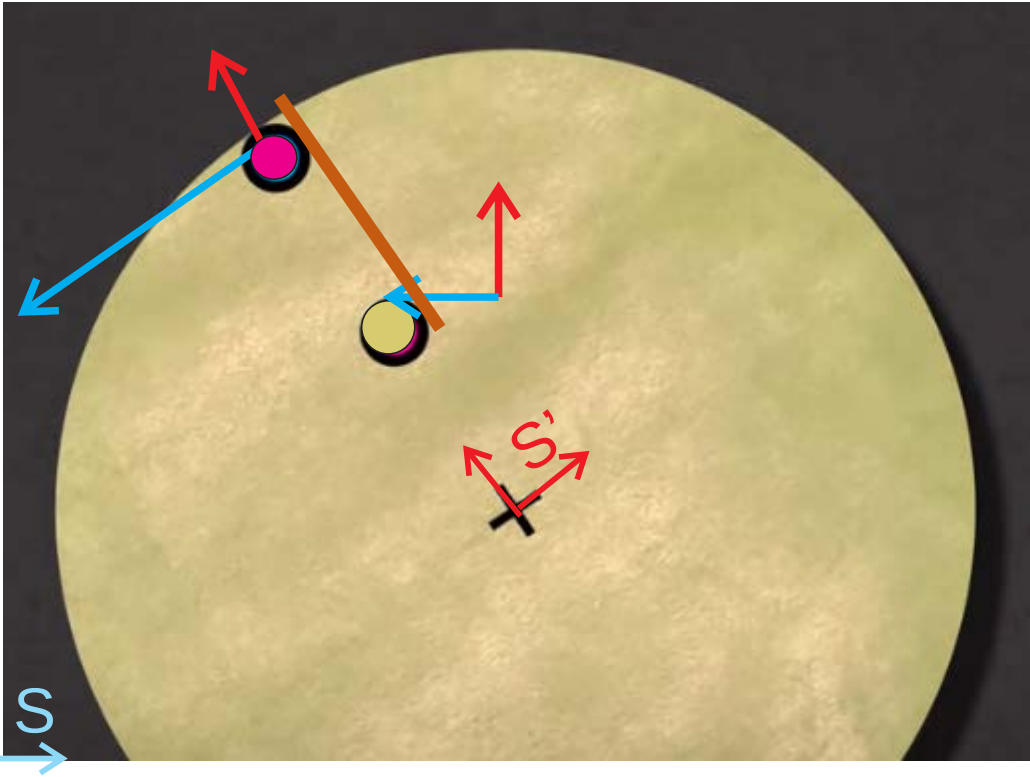
Naj se telo v **neinercialnem KS S'** giblje v radialni smeri (rdeči vektor) s hitrostjo v_r .

Opazovalec v **S'** pravi, da je gibanje enakomerno, vsota sil na telo mora biti nič.

Opazovalec v **inercialnem KS S** „vidi“ tudi tangetno hitrost (modro), zaradi kroženja. Ker se hitrost telesu spreminja, vsekakor na telo morajo delovati sile.

Poglejmo, kako se spremeni hitrost rdečega telesa, ko pride na zunanji rob, k modremu telesu.

Sistemske sile – gibanje v enakomerno vrtečem KS – Coriolisova sila



Opazovalec v S' pravi, da je gibanje enakomerno, vsota sil na telo mora biti nič.

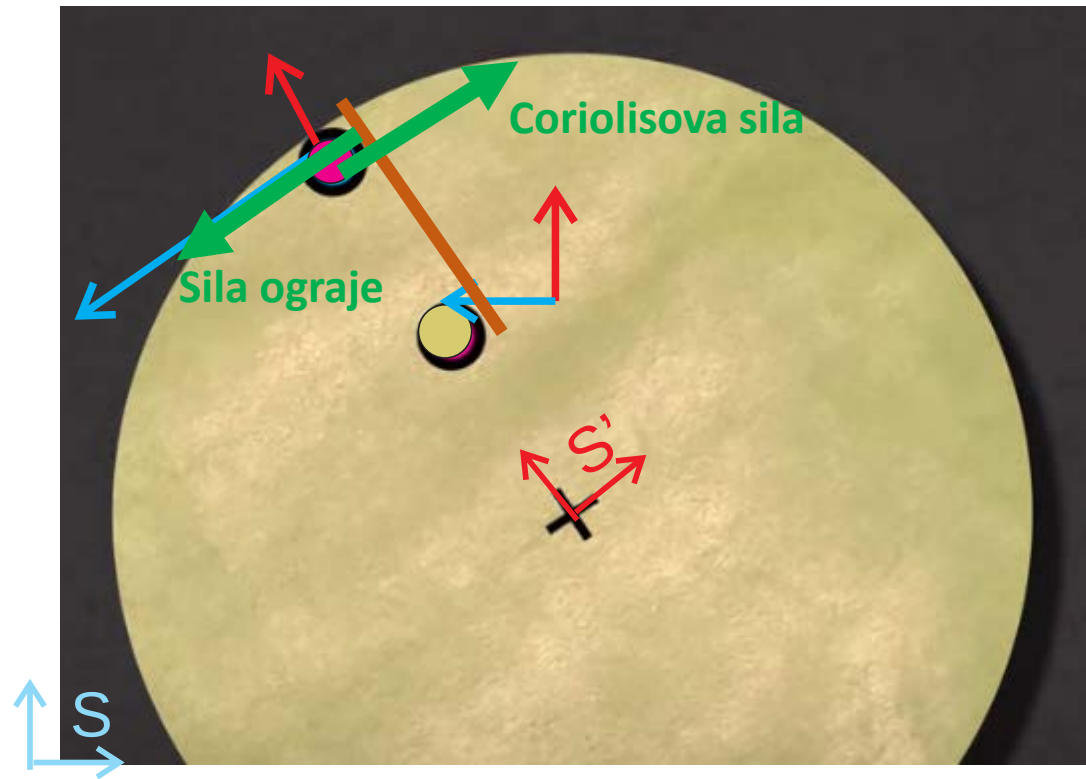
Opazovalec v **inercialnem KS S** opazi:

- a) Spremenila se je SMER tangentne hitrosti => centripetalna sila, poznamo od prej.
- b) Spremenila se je VELIKOST tangentne hitrosti => sila v tangentni smeri!
- c) Spremenila se je smer radialne hitrosti => sila v tangentni smeri!

Zadnja dva prispevka lahko zagotavlja npr. sila lepenja ali ograja ob kateri „hodi“ rdeče telo. Sicer bi rdeče telo zanašali v desno na sliki.

Kako gibanje in sile razume opazovalec v KS S' ?

Sistemske sile – gibanje v enakomerno vrtečem KS – Coriolisova sila



Opazovalec v S' prav tako vidi, da npr. ograja podpira rdeče telo, ki se giblje v radialni smeri na vrteči plošči.

Po drugi strani pa gibanje tega istega telesa vidi kot enakomerno.

Kako „rešiti“ II. NZ?

Vpelje sistemsko silo: **Coriolisovo silo**.

Smer Coriolisove sile: v tangentialni smeri; to je pravokotno na radij, ki povezuje telo in os kroženja. Smer je odvisna še od smeri gibanja: proti ali proč od osi.

Velikost Coriolisove sile: $2 m \omega v_r$

Smer in velikost Coriolisove sile lahko zapišemo vektorsko: $\vec{F}_{Coriolis} = -2 m \vec{\omega} \times \vec{v}_r$

Sistemske sile – gibanje v enakomerno vrtečem KS – Coriolisova sila

Zgledi:

- Streljanje s topom s severnega pola in vojna med Nemci in Britanci pri Falklandih.
- Reke v Sibiriji, ki tečejo s severa na jug, močnejše izpodjedajo:

A) vzhodne bregove

B) zahodne bregove

- Cikloni in vetrovi; polet iz ZDA v Evropo za dobro uro krajši kakor polet v nasprotni smeri