

**FYZIKA PRO I. ROČNÍK GYMNÁZIA - MECHANIKA**

# **DYNAMIKA HMOTNÉHO BODU 2**

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

# 3. DYNAMIKA

- 3.7. smykové tření a valivý odpor
- 3.8. dostředivá síla
- 3.9. IVS, Galileiho princip relativity
- 3.10. NVS, setrvačné síly
- 3.11. otáčející se vztažné soustavy

## 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

Je fyzikální jev, který vzniká při posouvání (smýkání) jednoho tělesa po povrchu jiného tělesa.

Jeho původ je v nerovnosti obou styčných ploch, kterými se tělesa vzájemně dotýkají.



## 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

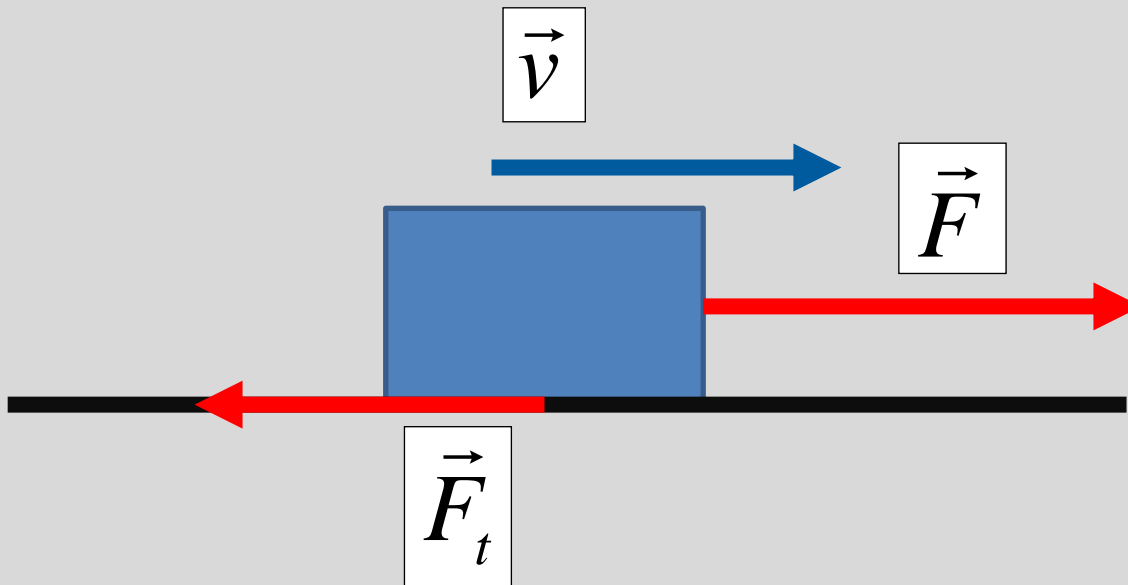
### třecí síla $F_t$

- vzniká při pohybu tělesa v látkovém prostředí nebo po povrchu jiných těles
- působíště je na stykové ploše obou těles
- směr míří vždy proti směru rychlosti tělesa

$F$  – vnější síla působící na těleso

$F_v$  – výsledná síla působící na těleso

$$\vec{F}_v = \vec{F} + \vec{F}_t$$



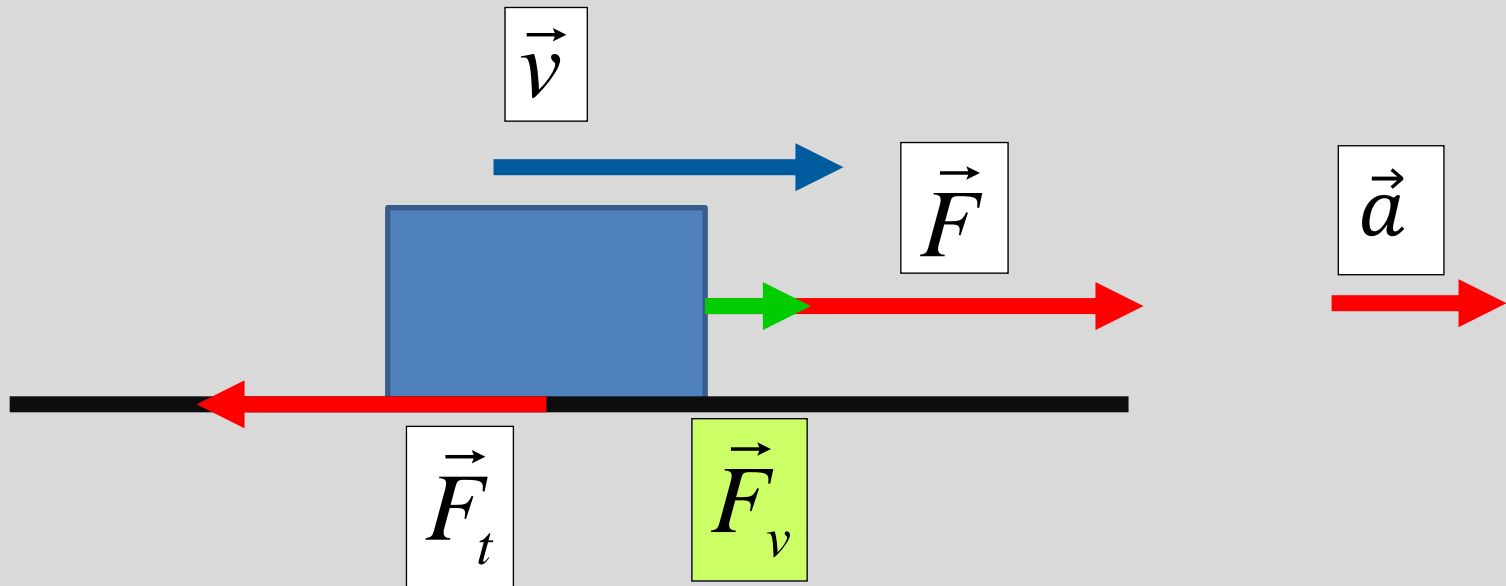
### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

- $F > F_t$

$$\vec{F}_v = \vec{F} + \vec{F}_t$$

těleso se pohybuje rovnoměrně zrychleně

$$F_v = F - F_t$$



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

$$\vec{F}_v = \vec{F} + \vec{F}_t$$

- $F > F_t$

těleso se pohybuje rovnoměrně zrychleně

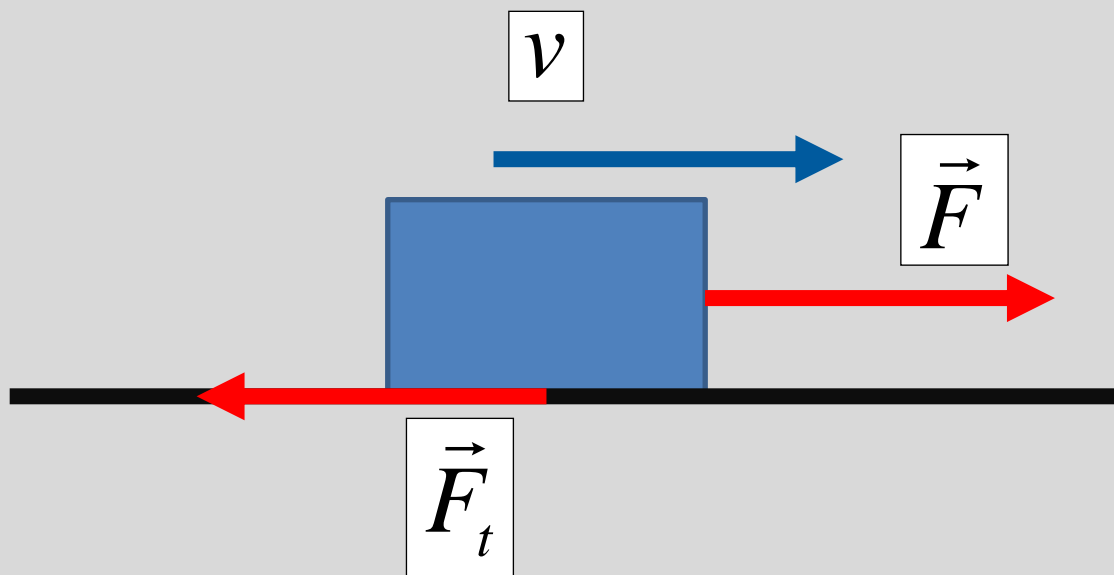
$$F_v = F - F_t$$

- $F = F_t$

těleso zůstává v klidu

nebo pohybu rovnoměrně přímočarém

$$F_v = 0N$$



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

$$\vec{F}_v = \vec{F} + \vec{F}_t$$

- $F > F_t$

těleso se pohybuje rovnoměrně zrychleně

$$F_v = F - F_t$$

- $F = F_t$

těleso zůstává v klidu

nebo pohybu rovnoměrně přímočarém

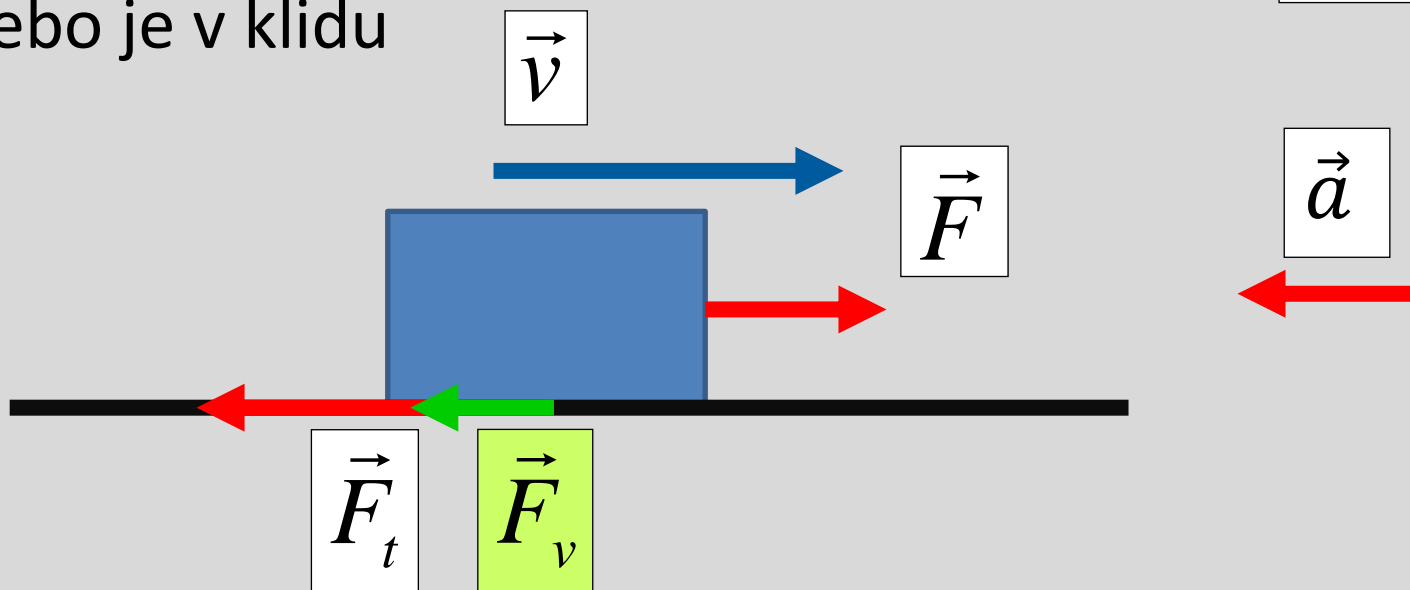
$$F_v = 0N$$

- $F < F_t$

těleso se pohybuje rovnoměrně zpomaleně

nebo je v klidu

$$F_v = F_t - F$$



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

#### Vlastnosti třecí síly:

velikost třecí síly

$$F_t = f \cdot F_n$$

$f$  – součinitel smykového tření

- **nezávisí**

- na obsahu styčných ploch
- na rychlosti (při  $\downarrow v$ )

- **závisí**

- **na jakosti styčných ploch**

(tu určuje materiál, z něhož jsou plochy vyrobeny)

- molitan, dřevo, smirkový papír, led, ocel, ...

- **na jejich drsnosti**

(tu určuje způsob opracování ploch)

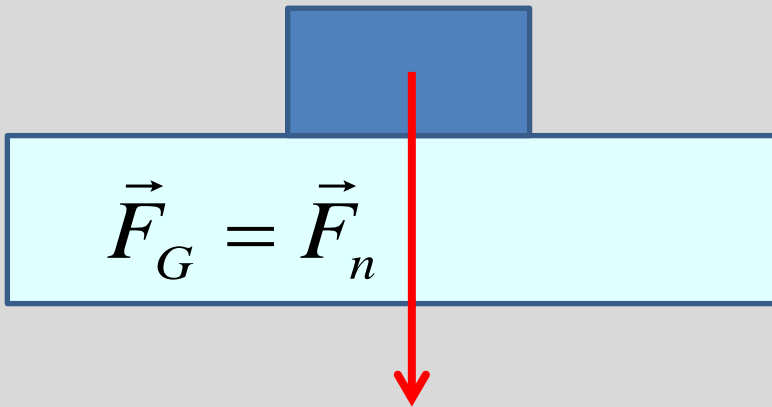
- jemný a hrubý smirkový papír,
- ohoblované a neohoblované dřevo, ...

- **velikosti kolmé tlakové (normálové) síly  $F_n$ .**



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

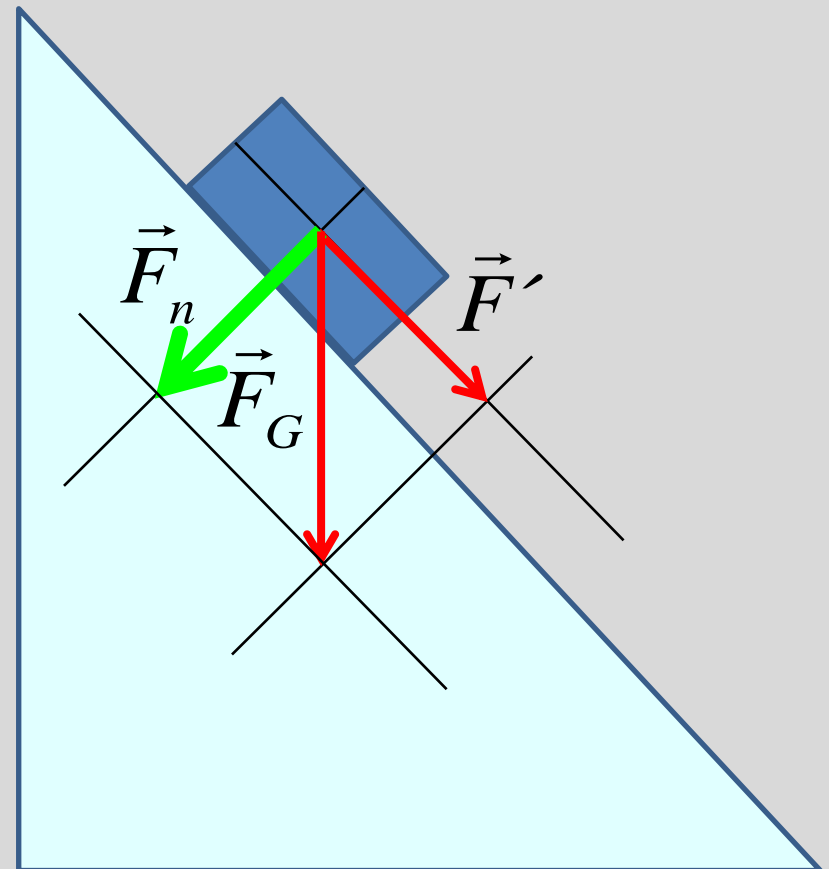
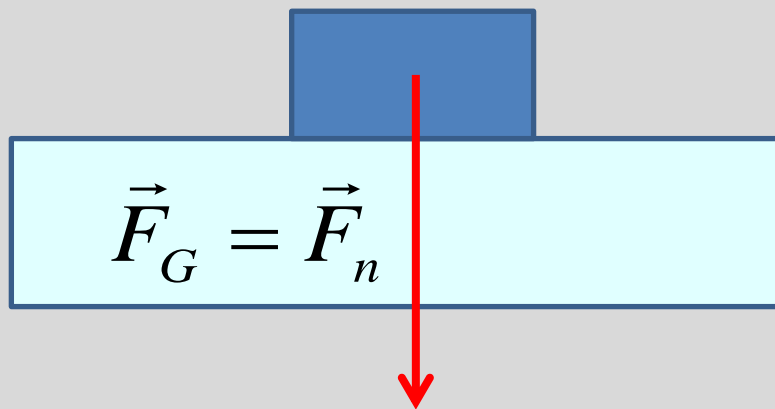
Normálová síla  $\mathbf{F}_n$  (síla kolmá k podložce) je v případě vodorovné podložky totožná se silou tíhovou.



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

Normálová síla  $\vec{F}_n$  (síla kolmá k podložce) je v případě vodorovné podložky totožná se silou tíhovou.

Pokud se bude nacházet těleso na nakloněné rovině, bude normálová síla složkou tíhové síly.



### 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

Síla potřebná k uvedení tělesa do pohybu **je větší** než síla, která těleso udržuje v rovnoměrném přímočarém pohybu.

Mezi tělesem a podložkou působí za **klidu** klidové tření.

$$f < f_0$$

$f_0$  **součinitel smykového tření v klidu**  
je za jinak stejných podmínek větší než  $f$

## 3. 7. SMYKOVÉ TŘENÍ

Uveďte příklady užitečného a nežádoucího tření.

### **Užitečné tření:**

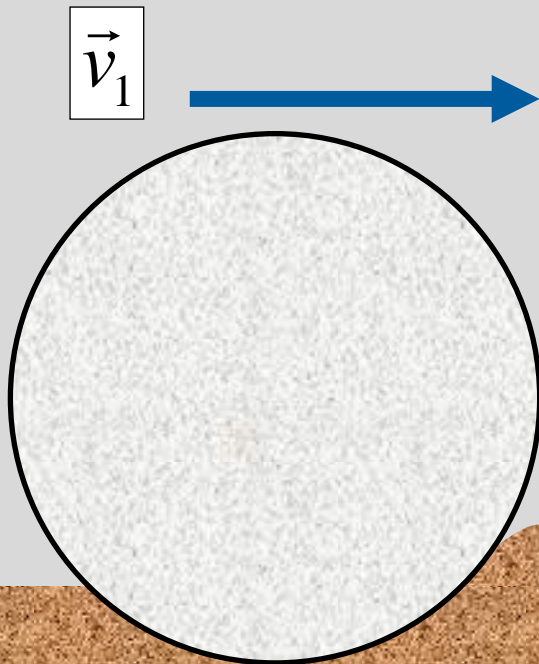
- pohodlná chůze
- hudební nástroje...
- brzdění pohybu...
- používání pilníků, brusek, řemenic, ...

### **Nežádoucí tření:**

- brzdění pohybu
- opotřebovávání pneumatik a obuvi
- nežádoucí zahřívání částí strojů ...

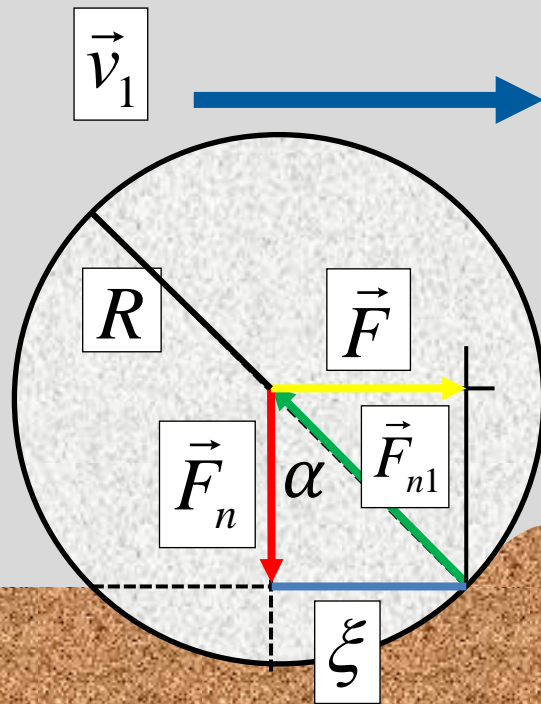
## 3. 8. VALIVÝ ODPOR

- vzniká vždy, když se těleso kruhového průřezu (válec, koule) valí po pevné podložce
- příčinou je neexistence absolutně tuhého tělesa, stlačování a deformace podložky a valícího se tělesa



### 3. 8. VALIVÝ ODPOR

- Při valení tvrdého tělesa po nedokonale pružné podložce dochází působením normálové tlakové síly  $F_n$  k deformaci podložky.
- Kdyby byla podložka dokonale pružná, byla by reakce podložky  $-F_n$  a ležela by na stejné vektorové přímce jako normálová síla  $F_n$ .
- Následkem deformace se ale působišť skutečné reakce  $F_{n1}$  posune o vzdálenost  $\xi$  kupředu.



### 3. 8. VALIVÝ ODPOR

• Pro velikost síly  $F$ , kterou udržíme těleso v rovnoměrném přímočarém pohybu, pak platí  $F = F_n \cdot \operatorname{tg} \alpha$

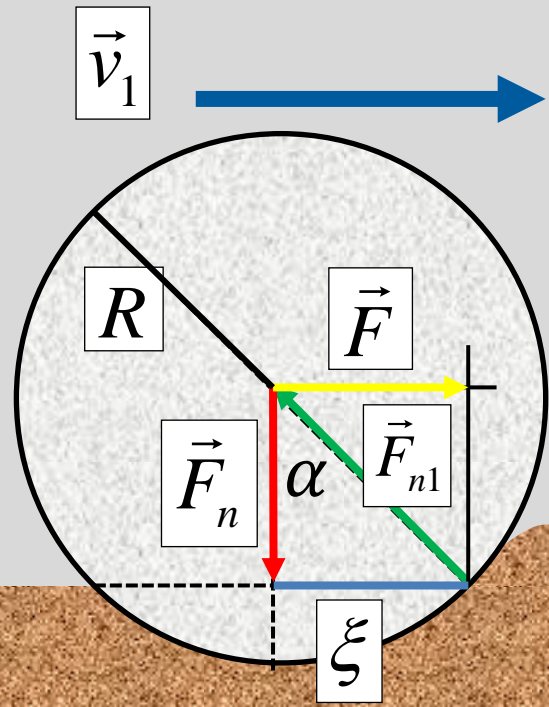
• Pro malé úhly  $\alpha$  je  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$

•  $R$  – poloměr tělesa s kruhovým průřezem

•  $\xi$  – ksí - rameno valivého odporu  $[\xi] = m$

$$F \approx m$$

$F$  je přímo úměrná hmotnosti



$$F \approx \frac{1}{R}$$

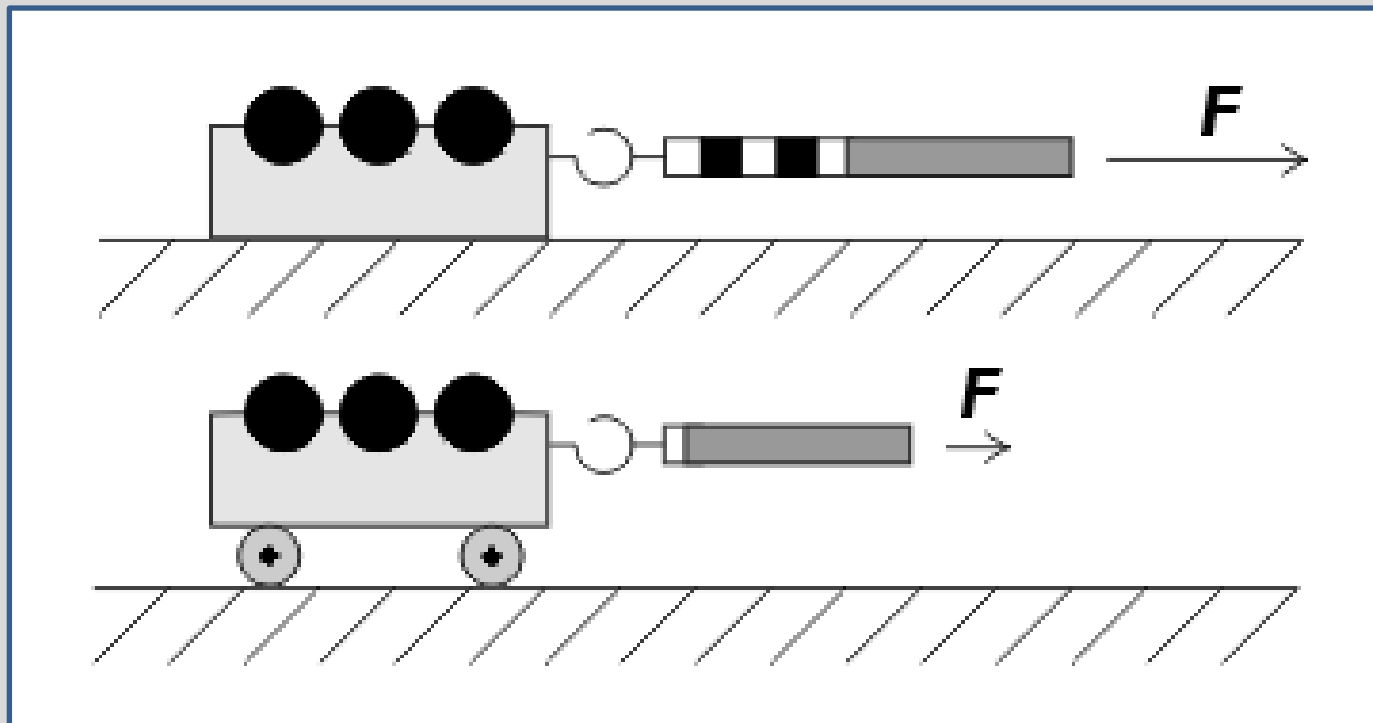
$F$  je nepřímo úměrná poloměru

$$F = F_n \cdot \operatorname{tg} \alpha$$
$$\sin \alpha = \frac{\xi}{R}$$
$$F = \frac{\xi}{R} F_n$$

### 3. 8. VALIVÝ ODPOR

Za jinak stejných podmínek je odporová síla při valení mnohem menší než třecí síla při smykovém tření.

Proto se v praxi často smýkání nahrazuje valením (*např. tak, že se příslušné těleso podloží několika válečky nebo rourami*).



Obr.: 1



### 3. 8. VALIVÝ ODPOR

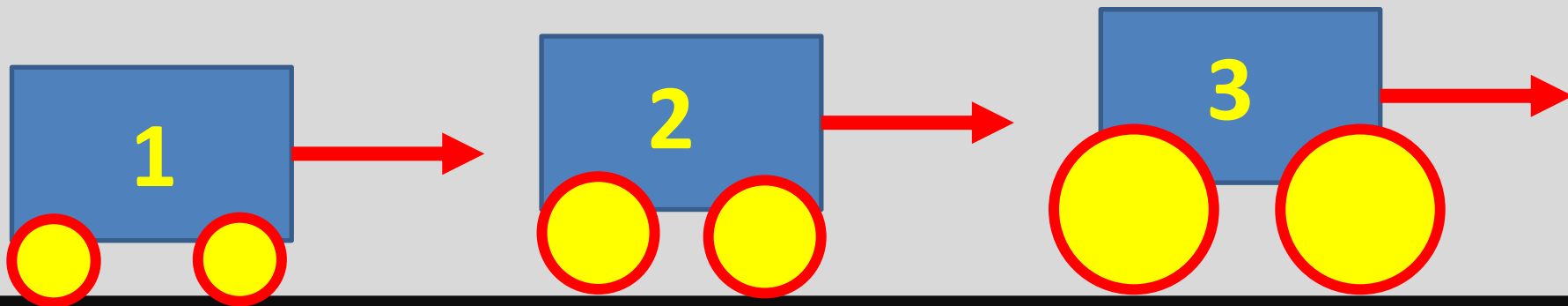
Vozíky jsou stejně těžké.

Na který vozík působí největší valivý odpor?

$$F = \frac{\xi}{R} F_n$$

$$F \approx \frac{1}{R}$$

Na ten, který má  
nejmenší kola – č. 1.



### 3. 8. VALIVÝ ODPOR

Na které těleso valící se po podložce působí větší odporová síla? Zdůvodněte.

1. Dvě stejně velké měděné koule.  
Jedna je dutá druhá plná.

$$F = \frac{\xi}{R} F_n$$
$$F \approx F_n$$

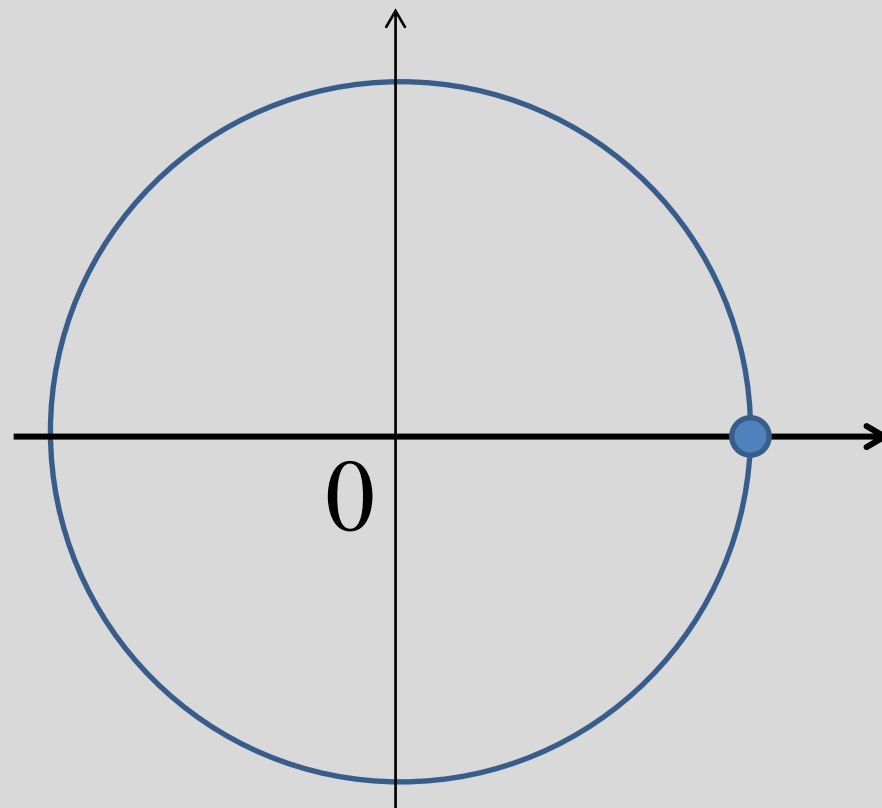
**Na plnou – je těžší – působí větší normálovou silou.**

2. Hliníková a ocelová koule stejného poloměru se stejným valivým ramenem.

**Na ocelovou – je těžší – působí větší normálovou silou.**

# OPAKOVÁNÍ – POHYB POKRUŽNICI

Rovnoměrný pohyb po kružnici je pohyb **periodický**.



# OPAKOVÁNÍ – POHYB POKRUŽNICI

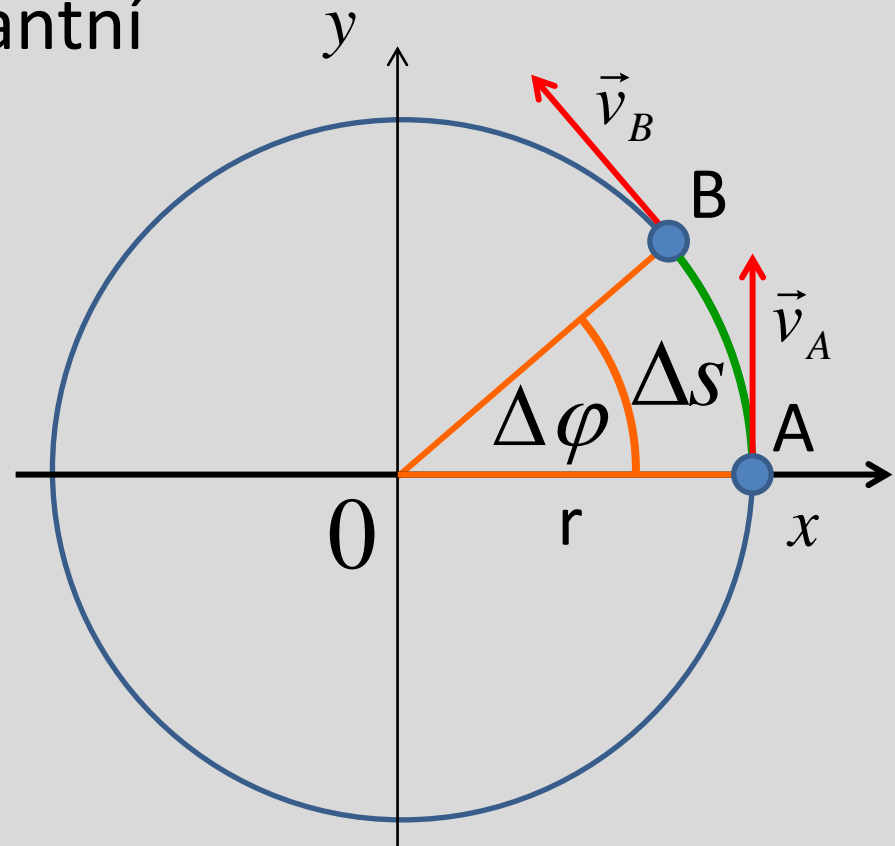
**směr** rychlosti – tečna ke kružnici

**velikost** rychlosti – konstantní

**úhlová dráha**  $\Delta\varphi$

(středový úhel)

poměr délky oblouku  
kružnice a poloměru



$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r}$$

$$[\varphi] = \text{rad (radián)}$$

# OPAKOVÁNÍ – POHYB POKRUŽNICI

## úhlová rychlost

podíl úhlové dráhy,  
kterou průvodič opíše  
za dobu  $\Delta t$  a této doby

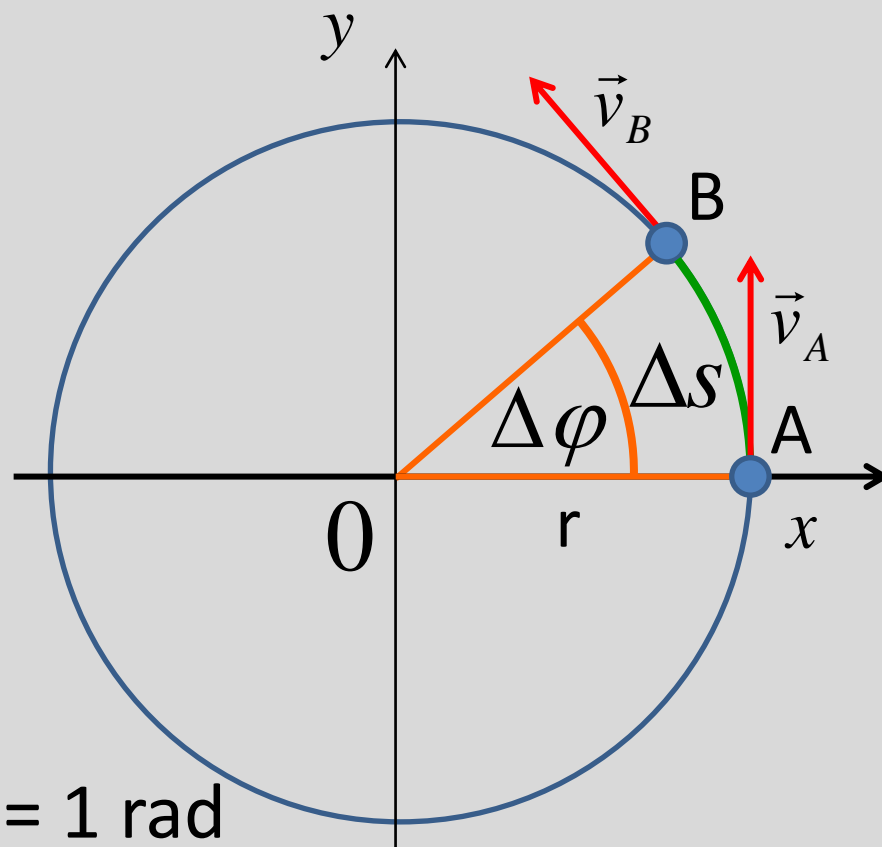
$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

$$[\omega] = \text{rad} \cdot \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$$

Je-li  $\Delta s = r$  pak  $\Delta\varphi = 1 \text{ rad}$

**Plný úhel:**

$\Delta s = 2\pi r$  pak  $\Delta\varphi = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ$



# OPAKOVÁNÍ – POHYB POKRUŽNICI

## Perioda

$T$  – doba jednoho oběhu

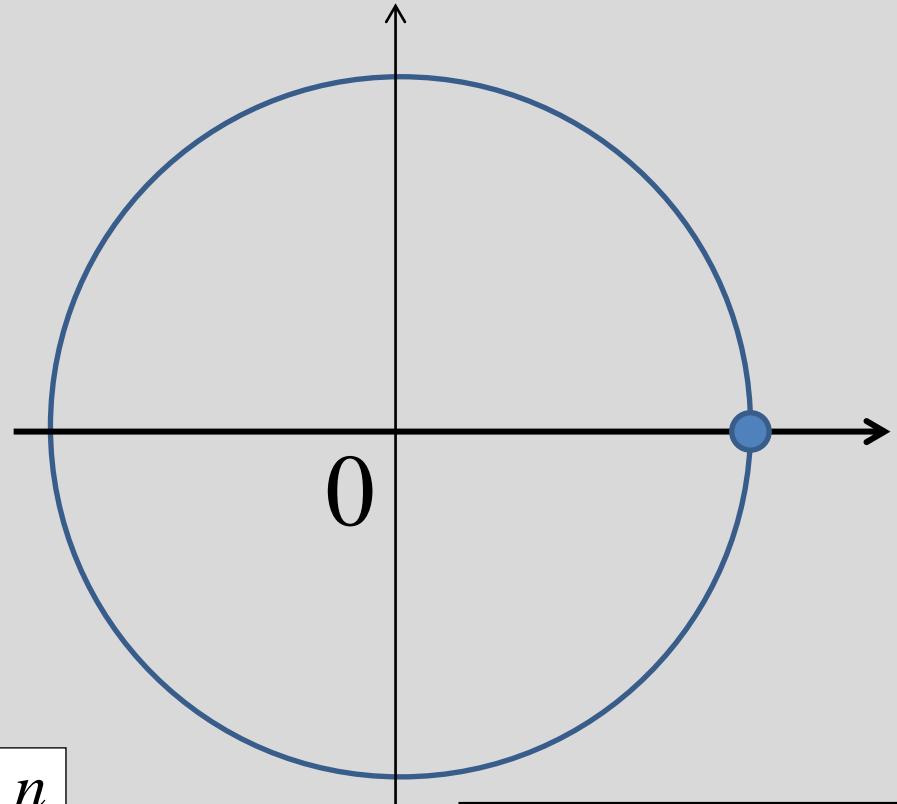
## Frekvence

$f$  – počet oběhů  
za jednotku času  
(sekundu)

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow [f] = \text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow [T] = \text{s}$$

$$f = \frac{n}{t}$$



$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

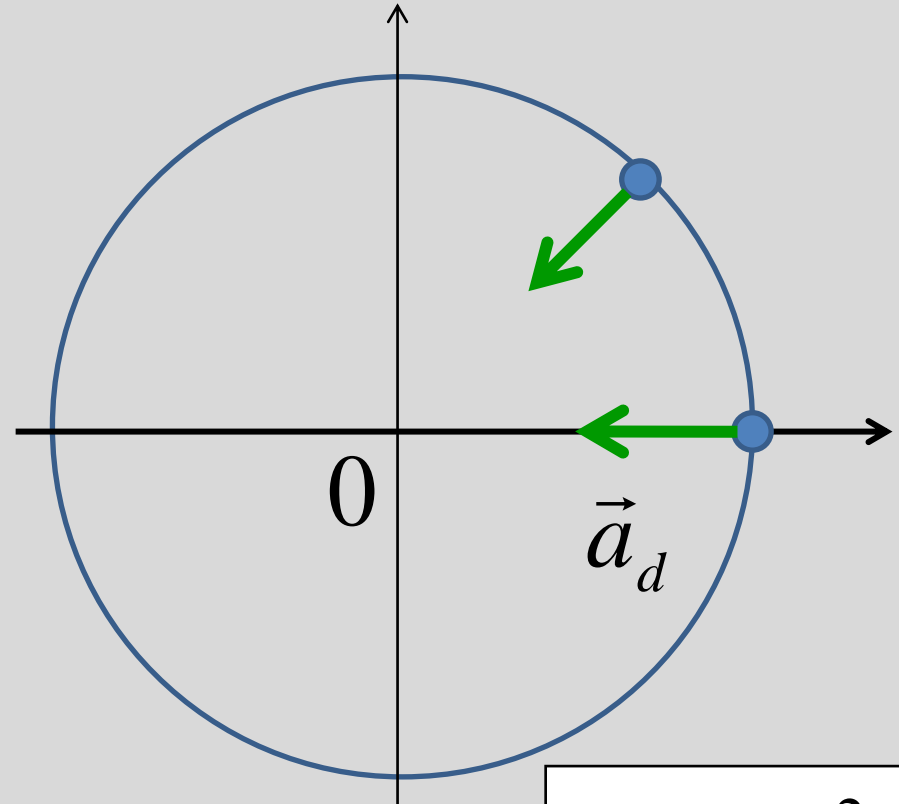
# OPAKOVÁNÍ – POHYB POKRUŽNICI

Vztah mezi úhlovou rychlostí a rychlostí:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r\Delta\varphi}{\Delta t}$$

$$v = r \cdot \omega$$

$$v = r \cdot 2\pi \cdot f = r \frac{2\pi}{T}$$



**dostředivé zrychlení:**  
směr – do středu kružnice  
velikost – konstantní

$$a_d = \omega^2 r$$

$$a_d = \frac{v^2}{r}$$

### 3. 9. DOSTŘEDIVÁ SÍLA

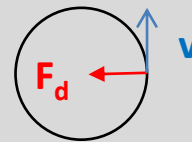
Při rovnoměrném pohybu po kružnici je velikost rychlosti konstantní, ale mění se směr.

V důsledku toho má HB dostředivé zrychlení:

- $r$  – poloměr kružnice
- $v$  – velikost rychlosti hmotného bodu
- $\omega$  – úhlová rychlost

$$a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Podle 2.NPZ je příčinou zrychlení HB vždy síla, která má stejný směr jako zrychlení – **síla dostředivá**.



$$\vec{F}_d = m \cdot \vec{a}_d$$
$$F_d = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r$$

- **směr** dostředivé síly je kolmý ke směru okamžité rychlosti HB
- jejím **pohybovým účinkem** je změna směru rychlosti HB (zakřivení jeho trajektorie do tvaru kružnice)



## 3. 9. DOSTŘEDIVÁ SÍLA

Dostředivá síla může mít původ v libovolném vzájemném silovém působení dvou těles.

Tato síla může být realizována:

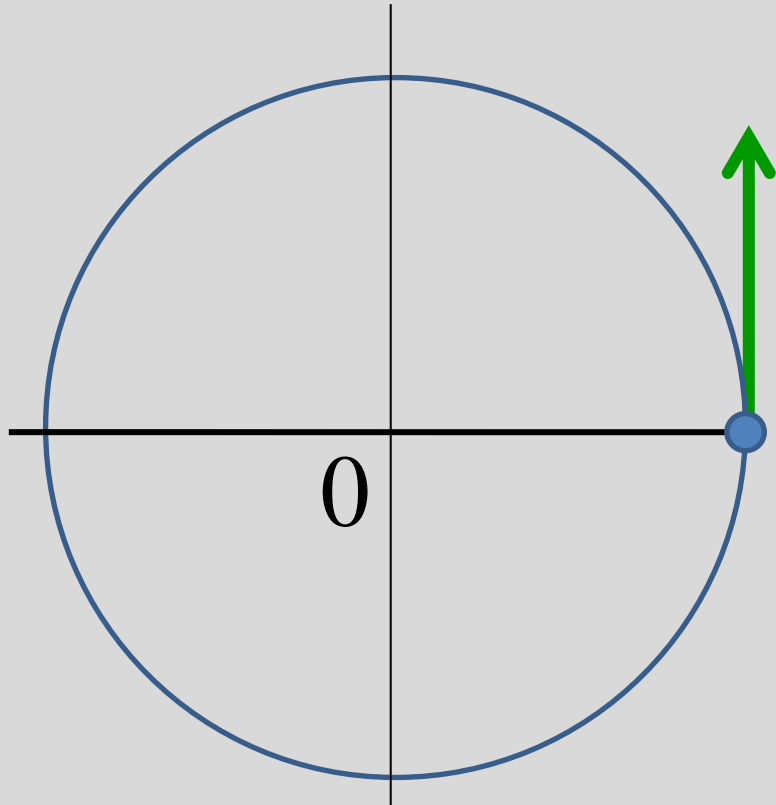
- **tahovou silou**
  - kulička na provázku...
- **gravitační silou**
  - pohyb družic kolem Země,
  - pohyb planet kolem Slunce, ...
- **magnetickou silou**
  - vychylování elektronů v obrazovce televizoru, ...

## 3. 9. DOSTŘEDIVÁ SÍLA

Přestane-li dostředivá síla na těleso působit, pohybuje se těleso dále ve směru tečny ke kružnici.

### ***Příklad:***

- *jiskry odlétající od brusného kotouče,*
- *hod kladivem,*
- *vrh koulí, ...*

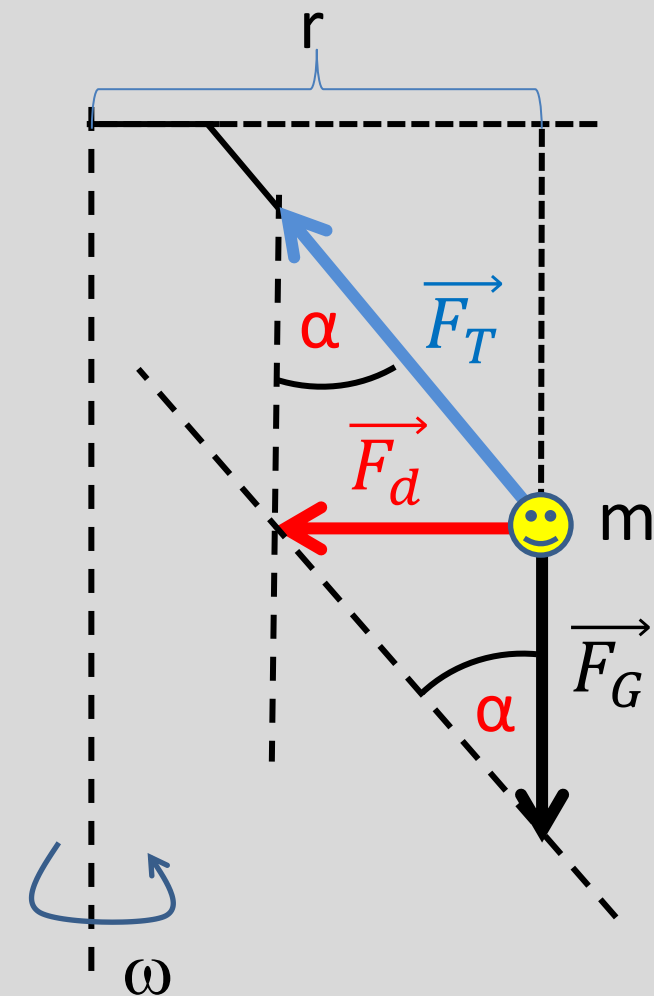


### 3. 9. DOSTŘEDIVÁ SÍLA

$F_G$  - tíhová síla

$F_T$  - tahová síla lana

$F_d$  - výsledná dostředivá síla



#### PŘ. kolotoč

$\omega$  – úhlová rychlost otáčení

$r$  – poloměr trajektorie kružnice

$\alpha$  – úhel, který svírá závěs sedačky se svislým směrem

$m$  – hmotnost sedačky + někdo

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_d}{F_G}$$

$$F_d = m g \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$F_d = m \cdot \omega^2 r$$

$$m g \cdot \operatorname{tg} \alpha = m \cdot \omega^2 r$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2 r}{g}$$

## 3.11. NEINERCIÁLNÍ VZTAŽNÉ SOUSTAVY (NVS)

### V NVS

- nezůstává izolované těleso v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu
- neplatí 1. a 3. NPZ
- 2. použít lze, ale **musíme vzít v úvahu** kromě sil vznikajících vzájemným silovým působením těles **i síly setrvačné**.
- Na těleso v NVS působí setrvačná síla  $\mathbf{F}_S$ , vznikající jako důsledek zrychleného pohybu soustavy.

### Setrvačné síly

- nemají svůj původ ve vzájemném silovém působení těles, (neexistuje reakce k této síle)
- patří mezi tzv. zdánlivé síly
- existují pouze v NVS

### 3.11. NEINERCIÁLNÍ VZTAŽNÉ SOUSTAVY (NVS)

**Obdobně pro těleso, které se pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem ve směru svislém.**

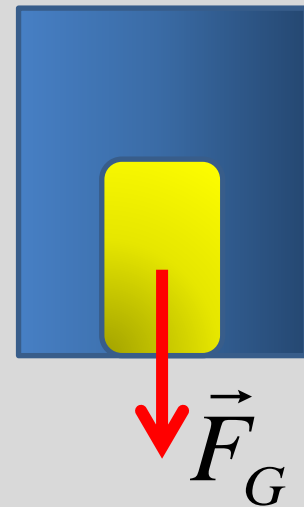
**Př. :** Výtah, v něm těleso o hmotnosti  $m$ .

$$\vec{F} = \vec{F}_G + \vec{F}_s$$

**Na těleso ve výtahu působí síla  $F$ .**

1. v klidu nebo rovnoměrně přímočarém pohybu

$$F = F_G$$



### 3.11. NEINERCIÁLNÍ VZTAŽNÉ SOUSTAVY (NVS)

Obdobně pro těleso, které se pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem ve směru svislém.

Př. : Výtah, v něm těleso o hmotnosti  $m$ .

$$\vec{F} = \vec{F}_G + \vec{F}_s$$

Na těleso ve výtahu působí síla  $F$ .

1. v klidu nebo rovnoměrně přímočarém pohybu

$$F = F_G$$

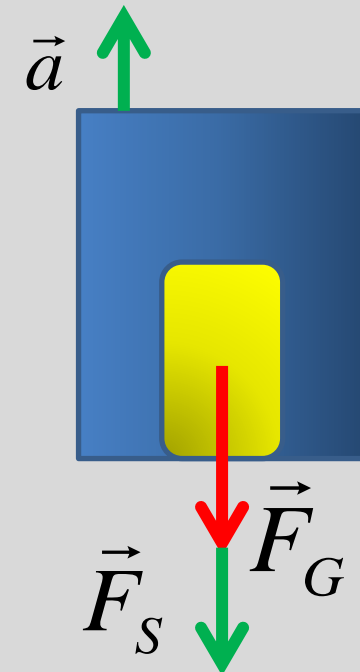
2. při rozjíždění výtahu se zrychlením  $a$

• směrem nahoru 

•  $F_G, F_s$  mají stejný směr

$$F = F_G + F_s$$

$$F = mg + ma$$



### 3.11. NEINERCIÁLNÍ VZTAŽNÉ SOUSTAVY (NVS)

Obdobně pro těleso, které se pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem ve směru svislém.

Př. : Výtah, v něm těleso o hmotnosti  $m$ .

$$\vec{F} = \vec{F}_G + \vec{F}_s$$

Na těleso ve výtahu působí síla  $F$ .

1. v klidu nebo rovnoměrně přímočarém pohybu

$$F = F_G$$

2. při rozjíždění výtahu se zrychlením  $a$

• směrem nahoru

•  $F_G$ ,  $F_s$  mají stejný směr

$$F = F_G + F_s$$

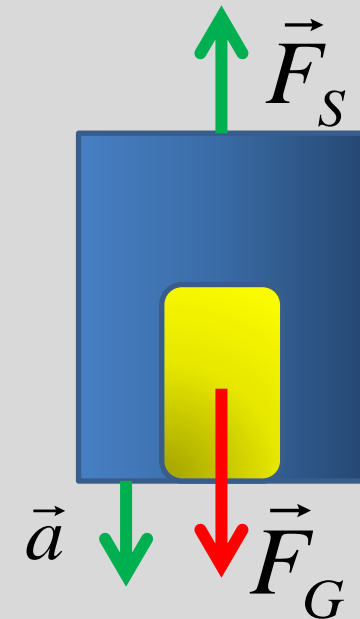
$$F = mg + ma$$

• směrem dolů

•  $F_G$ ,  $F_s$  mají opačný směr

$$F = F_G - F_s$$

$$F = mg - ma$$



Jestliže se

$$F_G = F_S$$

pak jde o volný pád.

Beztížný stav vzniká v každé NVS,  
která se pohybuje vzhledem k Zemi  
se zrychlením  $g$ .



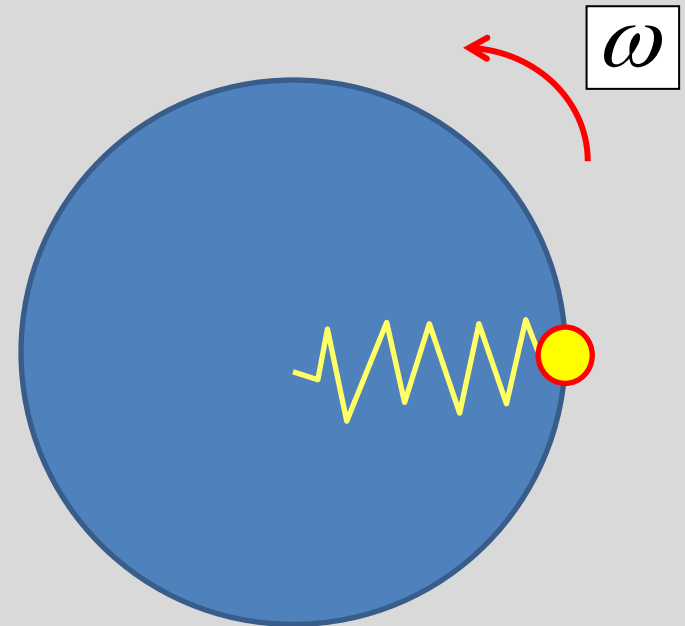
### 3. 12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

Je neinerciální vztažná soustava pohybující se

- rovnoměrným pohybem  
(se zrychlením dostředivým)
- nerovnoměrným pohybem  
(k dostředivému zrychlení se přidá i zrychlení tečné)

**Př.:**

Gramofonová deska otáčející se konstantní úhlovou rychlostí  $\omega$ , na ní na pružině kulička.

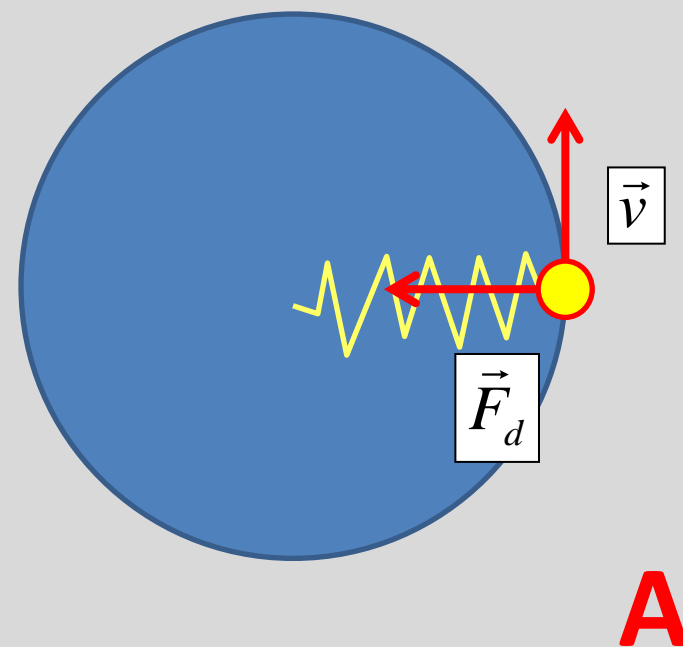


## 3.12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

**Pozorovatel A v IVS**

na kuličku působí dostředivá síla

$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$



### 3.12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

#### Pozorovatel **A** v IVS

na kuličku působí dostředivá síla

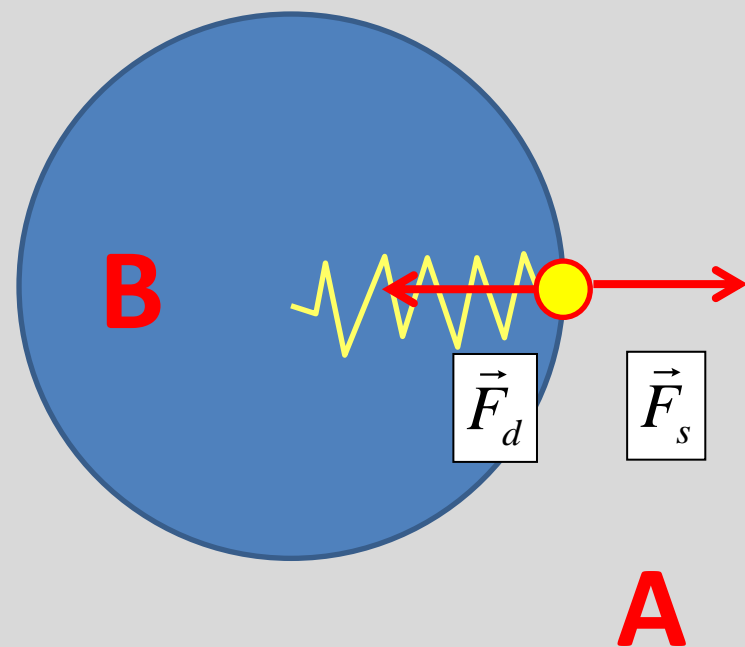
$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

#### Pozorovatel **B** v NVS

kulička je v klidu výslednice je nulová

pružina je napnutá  $\rightarrow$  působí síla  $F_d$ , ale taky  $F_s$

$$\vec{F}_d = -\vec{F}_s$$



### 3.12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

#### Pozorovatel **A** v IVS

na kuličku působí dostředivá síla

$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

#### Pozorovatel **B** v NVS

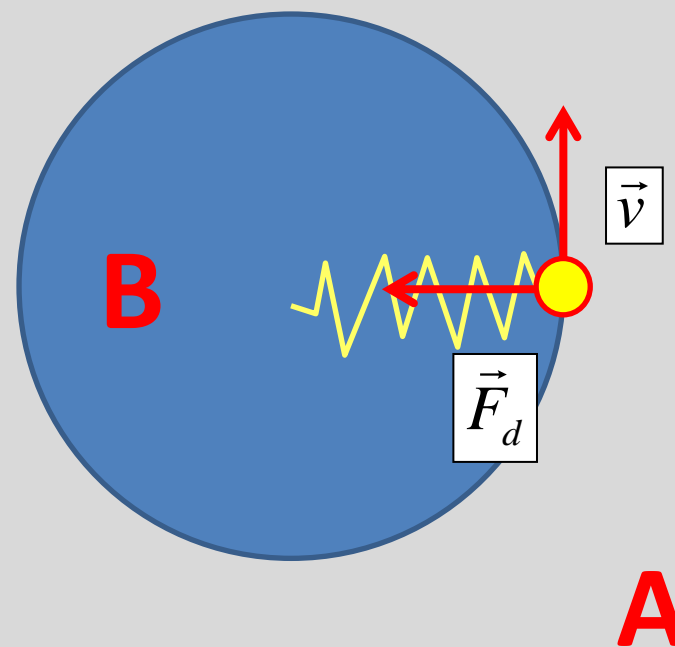
kulička je v klidu výslednice je nulová

pružina je napnutá  $\rightarrow$  působí síla  $F_d$ , ale taky  $F_s$

$$\vec{F}_d = -\vec{F}_s$$

Přetrhne-li se pružina ( $F_d = 0$ ),  
pohybuje se kulička:

v IVS – ve směru tečny ( $v$ )



### 3.12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

#### Pozorovatel **A** v IVS

na kuličku působí dostředivá síla

$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

#### Pozorovatel **B** v NVS

kulička je v klidu výslednice je nulová

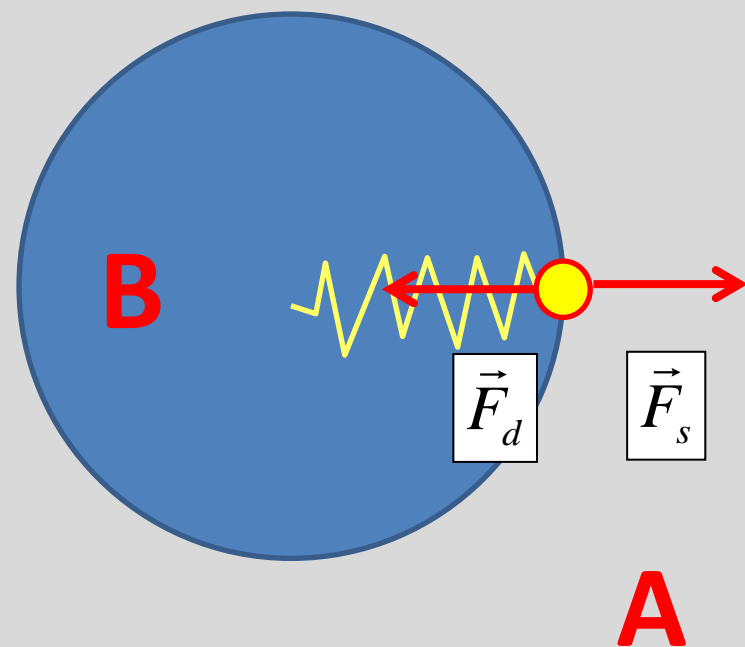
pružina je napnutá  $\rightarrow$  působí síla  $F_d$ , ale taky  $F_s$

$$\vec{F}_d = -\vec{F}_s$$

Přetrhne-li se pružina ( $F_d = 0$ ),  
pohybuje se kulička:

v IVS – ve směru tečny ( $v$ )

v NVS – ve směru síly setrvačné  
k okraji desky po přímce



## 3.12. OTÁČEJÍCÍ SE VZTAŽNÁ SOUSTAVA

Síla setrvačná odstředivá není reakční silou k síle dostředivé.

U hlediska účinků nelze rozlišit setrvačnou sílu od jiných sil.

Využití setrvačné odstředivé síly:

- ždímačka na prádlo
- centrifugy (kolotoče, výcvik kosmonautů a pilotů)
- odstředivá čerpadla