

### 1.4.3 Zrychlující vztažné soustavy II

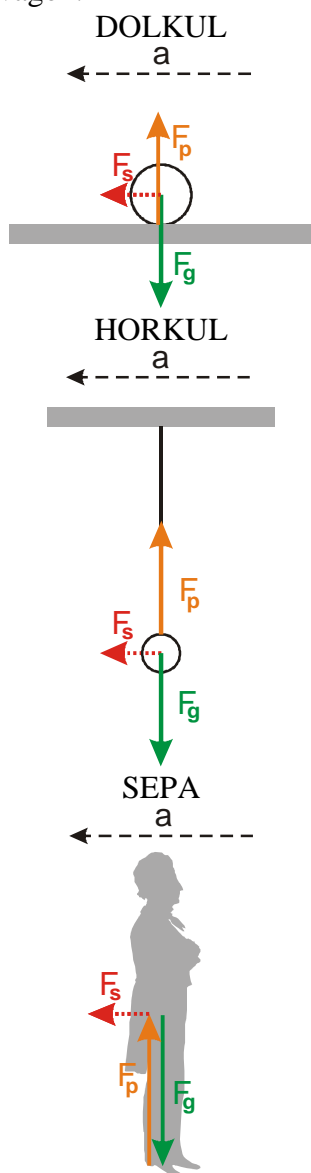
**Předpoklady:** 1402

**Př. 1:** Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje doprava. Rozeber silové působení a stav čidel na nástupišti z pohledu MOBILŮ.

**Čidla na nástupišti (pohled MOBILŮ ze zrychlujícího vagónu)**

MEHOZ: Ukazuje nulovou hodnotu.

Odpovídá tomu, že i když se nám zdá, že nástupiště zrychluje, tak cítíme, že zrychluje náš vagón.



Kulička na nástupišti se pohybuje zrychleně doleva.

$\Rightarrow$

**Problém:** výsledná síla působí na kuličku je nulová  $\Rightarrow$  kulička nemůže zrychlovat.  $\Rightarrow$

**Řešení:** Kuličku pozorujeme z neinerciální soustavy  $\Rightarrow$  představíme si, že na ni působí směrem doleva setrvačná jakosíla  $F = ma \Rightarrow$  na kuličku působí nenulová výsledná síla  $\Rightarrow$  kulička zrychluje směrem doleva.

Kulička se na závěsu se pohybuje zrychleně doleva.

$\Rightarrow$

**Problém:** Výsledná síla působí na kuličku je nulová  $\Rightarrow$  kulička nemůže zrychlovat.  $\Rightarrow$

**Řešení:** Kuličku pozorujeme z neinerciální soustavy  $\Rightarrow$  představíme si, že na ni působí směrem doleva setrvačná jakosíla  $F = ma \Rightarrow$  na kuličku působí nenulová výsledná síla  $\Rightarrow$  kulička zrychluje směrem doleva.

SEPA zrychluje doleva.

$\Rightarrow$

**Problém:** Výsledná síla působí na SEPU je nulová  $\Rightarrow$  SEPA nemůže zrychlovat.  $\Rightarrow$

**Řešení:** SEPU pozorujeme z neinerciální soustavy  $\Rightarrow$  představíme si, že na něj působí směrem doleva setrvačná jakosíla  $F = ma \Rightarrow$  na SEPU působí nenulová výsledná síla  $\Rightarrow$  SEPA zrychluje směrem doleva (SEPA nespadne jako jeho kolega ve vagónu, protože spolu s ním zrychluje i podlaha nástupiště).

V běžné literatuře se místo názvu setrvačná jakosíla používá výraz **setrvačná síla**.

**Při popisu z neinerciální vztažné soustavy zůstávají Newtonovy zákony v platnosti, pokud každému pozorovanému předmětu (uvnitř i vně neinerciální vztažné soustavy)**

připíšeme setrvačnou sílu  $F_s = ma$  ( $m$  je hmotnost předmětu,  $a$  je zrychlení soustavy), která má opačný směr než zrychlení neinerciální vztažné soustavy.

Setrvačná síla není silou v pravém smyslu:

- Nemá původce.
- Nemá partnerskou sílu.
- Nepopisuje vzájemné působení těles.
- Její existence závisí na soustavě, ze které děj pozorujeme.
- Může dosahovat obrovských velikostí (setrvačnou sílu musíme připsat i Zemi, Slunci, galaxii, zbytku vesmíru).

**Pedagogická poznámka:** Poslední bod je dobré zdůraznit, dobře ilustruje jinakost setrvačných sil. Zrychlování tak malé věci jako je výtah v budově zapříčiní vznik síly, která v popisu urychlí celou galaxii.

**Př. 2:** Cestující jede výtahem směrem vzhůru. Jak se změní síla, kterou působí na podlahu během zastavování výtahu? Vysvětli z inerciální i neinerciální vztažné soustavy.

Síla, kterou působí cestující na podlahu, je reakcí na sílu, kterou působí podlaha na cestujícího  $\Rightarrow$  obě síly mají stejnou velikost  $\Rightarrow$  budeme zkoumat velikost síly podlahy na cestujícího.

**Inerciální vztažná soustava (člověk na ulici):**

Výtah zpomaluje (zrychlení směřuje dolů)  $\Rightarrow$  na cestujícího musí působit výsledná síla směrem dolů  $\Rightarrow$  gravitační síla musí být větší než síla podlahy  $\Rightarrow$  síla, kterou působí člověk na podlahu, se zmenší.

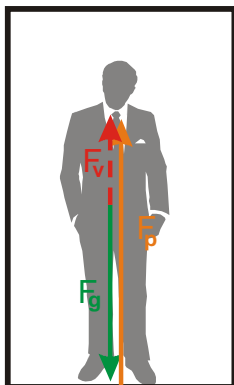
**Neinerciální vztažná soustava (člověk ve výtahu):**

Výtah stojí na místě (zrychlení směřuje dolů)  $\Rightarrow$  pozorujeme z neinerciální vztažné soustavy  $\Rightarrow$  na cestujícího působí setrvačná jakosíla směrem nahoru, která částečně vyrovnává gravitační sílu  $\Rightarrow$  k udržení nulové výsledné síly je třeba menší síla podlahy  $\Rightarrow$  síla, kterou působí člověk na podlahu, se zmenší.

**Př. 3:** Mladý výzkumník stojí ve výtahu na váze a měří tak jeho zrychlení. S jakým zrychlením se výtah pohybuje, pokud váha ukazuje výzkumníkovi o hmotnosti 75 kg jako hmotnost 82 kg? Příklad řeš v inerciální i neinerciální vztažné soustavě. Můžeme rozhodnout, jakým směrem výtah jede?

Váha ukazuje 82 kg  $\Rightarrow$  výzkumník působí na váhu silou 820 N  $\Rightarrow$  váha působí na výzkumníka také silou 820 N (partnerské síly akce a reakce).

**Inerciální vztažná soustava (člověk na ulici):**



Na výzkumníka působí dvě síly:

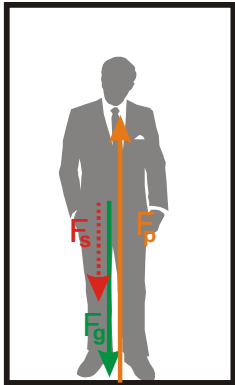
- gravitační síla  $F_g$  směrem dolů,
- síla váhy  $F_p$  směrem nahoru.

Síla váhy je větší  $\Rightarrow$  na výzkumníka působí výsledná síla směrem vzhůru o velikost  $F_v = F_p - F_g$ .

$$ma = F_p - F_g$$

$$a = \frac{F_p - F_g}{m} = \frac{820 - 750}{75} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 0,93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

### Neinerciální vztažná soustava (výzkumník ve výtahu):



Výzkumník je v klidu  $\Rightarrow$  výsledná působící síla je nulová.

Na výzkumníka působí tři síly:

- gravitační síla  $F_g$  směrem dolů,
- síla váhy  $F_p$  směrem nahoru,
- setrvačná síla  $F_s$  směrem dolů.

Výsledná síla je nulová  $F_v = F_p - F_g - F_s = 0$ .

$$F_s = F_p - F_g$$

$$ma = F_p - F_g$$

$$a = \frac{F_p - F_g}{m} = \frac{820 - 750}{75} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 0,93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

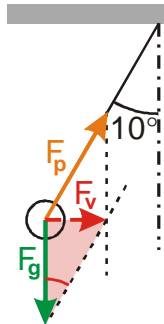
Z obou pohledů vyplývá, že zrychlení výtahu směřuje vzhůru, nemůžeme však poznat, jakým směrem výtah jede. Existují dvě možnosti:

- výtah jede nahoru a rozjíždí se,
- výtah jede dolů a brzdí.

**Př. 4:** Kulička zavěšená na provázku (čidlo HORKUL) se při zrychlování metra vychýlí od svislého směru o  $10^\circ$ . Urči zrychlení metra.

Příklady můžeme řešit v inerciální i neinerciální vztažné soustavě.

**Řešení v inerciální vztažné soustavě** (úhel na obrázku je záměrně větší):



Na kuličku působí dvě síly:

- gravitační síla  $F_g$  směrem dolů,
- síla provázku  $F_p$  ve směru provázku.

Výslednice obou sil je nenulová, směřuje do směru zrychlení vlaku  $\Rightarrow$  platí:  $F_v = ma$ .

Ve vyznačeném pravoúhlém trojúhelníku platí:  $\text{tg } \alpha = \frac{F_v}{F_g}$ .

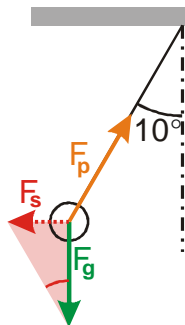
$$F_v = F_g \text{ tg } \alpha$$

$$ma = mg \text{ tg } \alpha$$

$$a = g \text{ tg } \alpha = 10 \cdot \text{tg } 10^\circ \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Metro se pohybuje se zrychlením  $1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**Řešení v neinerciální vztažné soustavě** (úhel na obrázku je záměrně větší):



Na kuličku působí tři síly:

- gravitační síla  $F_g$  směrem dolů,
- síla provázku  $F_p$  ve směru provázku,
- setrvačná síla  $F_s$  působící proti směru zrychlování.

Výslednice sil je nulová.

Ve vyznačeném pravoúhlém trojúhelníku platí:  $\text{tg } \alpha = \frac{F_s}{F_g}$ .

$$F_s = F_g \text{ tg } \alpha$$

$$ma = mg \operatorname{tg} \alpha$$

$$a = g \operatorname{tg} \alpha = 10 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ \operatorname{m} \cdot \operatorname{s}^{-2} = 1,8 \operatorname{m} \cdot \operatorname{s}^{-2}$$

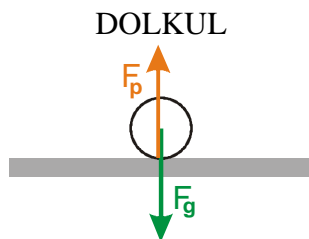
Metro se pohybuje se zrychlením  $1,8 \operatorname{m} \cdot \operatorname{s}^{-2}$ .

**Př. 5:** Vagón SVARME projíždí stanicí zleva doprava a brzdí. Vysvětli chování všech čidel ve vagónu z pohledu: a) výzkumníků na nástupišti, b) výzkumníků ve vagónu.

**Vagón SVARME jede doprava a rovnoměrně zpomaluje.**

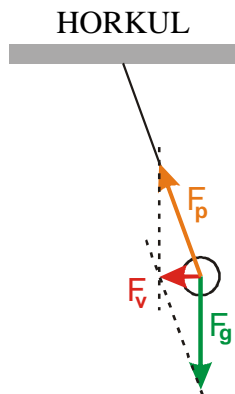
**a) Čidla uvnitř vagónu SVARME (pohled STABILŮ na nástupišti):**

MEHOZ: Ukazuje zápornou hodnotu (vagón zpomaluje)  $\Rightarrow$  odpovídá faktu, že vagón brzdí.



Kulička se ve vagónu pohybuje zrychleně k přední stěně (doprava), z pohledu nástupiště se pohybuje rovnoměrně doprava.

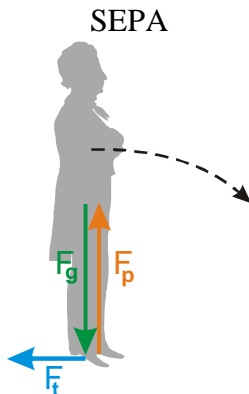
Na kuličku působí nulová výsledná síla  $\Rightarrow$  vzhledem k nástupišti se pohybuje rovnoměrně přímočaře  $\Rightarrow$  protože vagón brzdí, kutálí se vzhledem k vagónu k jeho přední stěně.



Kulička se nakloní dopředu a zpomaluje s vagónem (zrychlení směřuje doleva).

$\Rightarrow$

Síla provázku a gravitační síla mají nenulovou výslednici, která směřuje doleva  $\Rightarrow$  způsobuje, že kulička zpomaluje s vagónem.



SEPA padá popředu.

$\Rightarrow$

Podlaha vagónu brzdí  $\Rightarrow$  mezi nohama a podlahou působí tření, které nohy zastavuje. Na zbytek těla působí nulová výsledná síla  $\Rightarrow$  tělo pokračuje v rovnoměrném přímočarém pohybu  $\Rightarrow$  SEPA padá.

**Vagón SVARME jede doprava a rovnoměrně zpomaluje.**

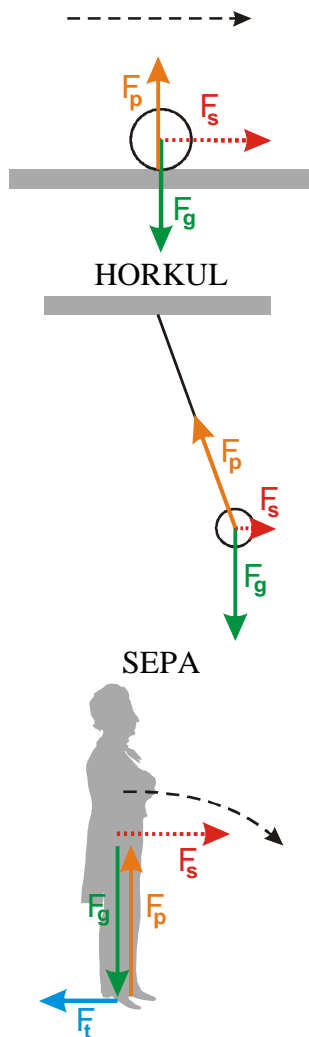
**b) Čidla uvnitř vagónu SVARME (pohled MOBILŮ ve vagónu):**

MEHOZ: Ukazuje zápornou hodnotu (vagón zpomaluje), MOBILOVÉ cítí zpomalování, ale zároveň vidí, že vagón je v klidu, zatímco stanice zpomaluje svůj pohyb doleva.

Kulička se ve vagónu pohybuje zrychleně k přední stěně (doprava).

DOLKUL

Na kuličku působí doprava setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$   $\Rightarrow$  tato síla je zároveň výslednou silou působící na kuličku  $\Rightarrow$  kulička se pohybuje rovnoměrně zrychleně doprava.



Kulička se nakloní dopředu a zůstává v klidu.

⇒

Na kuličku působí doprava setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$   
 ⇒ tato síla se vynuluje s výslednicí zbývajících sil  $F_g$  a  $F_p$  ⇒  
 výsledná síla působící na kuličku je nulová ⇒ kulička zůstává v klidu.

SEPA padá popředu.

⇒

Na SEPU působí kvůli pohledu z neinerciální vztažné soustavy setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$  doprava, tření zabraňuje pohybu nohou doprava ⇒ SEPA padá dopředu.

**Př. 6:** Vagón SVARME projíždí stanicí zleva doprava a brzdí. Vysvětli chování všech čidel na nástupišti z pohledu: a) výzkumníků na nástupišti b) výzkumníků ve vagónu.

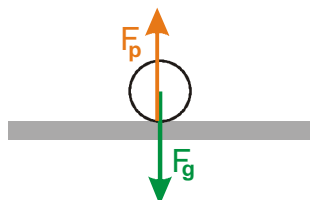
**Vagón SVARME jede doprava a rovnoměrně zpomaluje.**

**a) Čidla na nástupišti (pohled STABILŮ na nástupišti):**

MEHOZ – ukazuje nulovou hodnotu (nástupiště nezrychluje).

**DOLKUL**

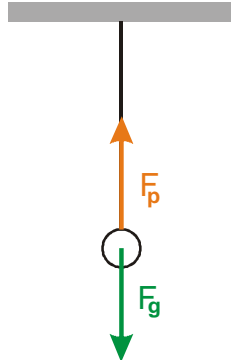
Čidlo stojí na místě.



Výsledná síla je nulová.

**HORKUL**

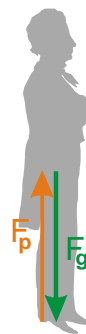
Čidlo stojí, visí svisle.



Výsledná síla je nulová.

**SEPA**

Čidlo stojí.



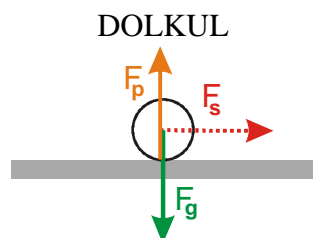
Výsledná síla je nulová.

### Vagón SVARME jede doprava a rovnoměrně zpomaluje.

#### b) Čidla na nástupišti (pohled MOBILŮ ve vagónu):

MEHOZ – ukazuje nulovou hodnotu (nástupiště nezrychluje, i když MOBILOVÉ vidí, že zrychluje, protože cítí, že zrychlují oni).

Nástupiště i všechny předměty na něm zpomalují svůj pohyb doleva  $\Rightarrow$  pohybují se se zrychlením, které směřuje doprava.



Kulička na nástupišti zpomaluje svůj pohyb doleva  $\Rightarrow$  zrychluje doprava.

Na kuličku působí doprava setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$   
 $\Rightarrow$  tato síla je zároveň výslednou silou působící na kuličku  $\Rightarrow$   
kulička se pohybuje rovnoměrně zrychleně doprava.

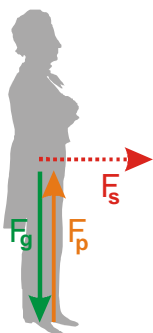


Kulička visí svisle a spolu s nástupištěm zpomaluje svůj pohyb doleva  $\Rightarrow$  zrychluje doprava..

$\Rightarrow$

Na kuličku působí doprava setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$   
 $\Rightarrow$  tato síla je zároveň výslednou silou působící na kuličku  $\Rightarrow$   
kulička se pohybuje rovnoměrně zrychleně doprava.

SEPA



SEPA stojí a spolu s nástupištěm zpomaluje svůj pohyb doleva  $\Rightarrow$  zrychluje doprava..

$\Rightarrow$

Na SEPU působí doprava setrvačná jakosíla o velikosti  $F = ma$   
 $\Rightarrow$  tato síla je zároveň výslednou silou  $\Rightarrow$  SEPA se pohybuje rovnoměrně zrychleně doprava (protože se stejným zrychlením se pohybuje i nástupiště, nepadá).

**Př. 7:** Tatínek jede výtahem domů. Během zastavování výtahu mu praskne ucho u tašky s nákupem. V jakém patře bydlí?

Ucho tašky praskne během zastavování  $\Rightarrow$  děj můžeme popsat z inerciální soustavy mimo výtah nebo z neinerciální soustavy výtahu.

**Inerciální vztažná soustava:** Ucho prasklo při zastavování  $\Rightarrow$  během zastavování působí na tašku větší silou než při rovnoměrném pohybu  $\Rightarrow$  výsledná síla při zastavování směřuje vzhůru  $\Rightarrow$  při zastavování směřuje zrychlení nahoru  $\Rightarrow$  výtah jel směrem dolů  $\Rightarrow$  tatínek bydlí v suterénu.

**Neinerciální vztažná soustava:** Ucho prasklo při zastavování  $\Rightarrow$  během zastavování působí na tašku větší síla než při rovnoměrném pohybu  $\Rightarrow$  setrvačná síla při zastavování směřuje dolů  $\Rightarrow$  při zastavování směřuje zrychlení nahoru  $\Rightarrow$  výtah jel směrem dolů  $\Rightarrow$  tatínek bydlí v suterénu.

---

**Shrnutí:** Při popisu z neinerciální soustavy musíme setrvačnou jakosílu přidávat na všechny tělesa (v soustavě i mimo ni).