

1.4.2 Zrychlující vztažné soustavy

Předpoklady: 1401

Na zkoumání zrychlujících vztažných soustav využijeme speciální výzkumný vagón metra SIKIOR VK01-ARME (Sikior VK01 – Acceleration Research by Mechanical Effects, dále jen SVARME).

SVARME je nadstandardně vybaven těmito čidly:

- MEHOZ: měřič okamžité hodnoty zrychlení v tečném směru,
- DOLKUL: pokusná ocelová kulička umístěna na vodorovné podlaze (ve všech úvahách zanedbáváme tření mezi kuličkou a podlahou),
- HORKUL: pokusná ocelová kulička zavěšená na provázku (vychýlení kuličky od svislého směru je okamžitě měřeno speciálním zařízením a zjištěná hodnota je předávána do řídicího střediska),
- SEPA: pokusný sebevražedný pasažér (stojí nehybně ve stoji spatném čelem ve směru jízdy a nechává na sebe působit zrychlování vagónu).

Činnost zařízení SVARME je neustále monitorována dvěma skupinami pozorovatelů:

- jedna skupina stojí s kompletní sadou záložních čidel na nástupištích stanic (STABILOVÉ) a sleduje dění z hlediska nástupiště,
- druhá skupina cestuje ve vagónu (MOBILOVÉ) a sleduje dění z pohledu vagónu (vagón vidí vždy jako stojící).

Př. 1: Vagón SVARME stojí na stanici. Existují rozdíly mezi tím, co vidí obě skupiny pozorovatelů? Co ukazují jednotlivá čidla? (Nakresli obrázky s působícími silami. Jaká je jejich výslednice?)

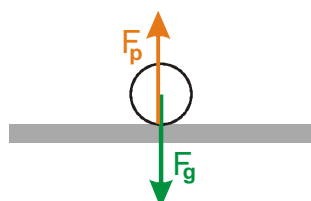
Obě skupiny pozorovatelů vidí sebe i kolegy, že stojí.

Obě skupiny čidel ukazují stejné hodnoty.

MEHOZ – ukazuje nulovou hodnotu (SVARME nezrychluje).

DOLKUL

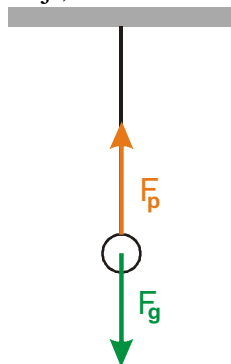
Čidlo stojí na místě.



Výsledná síla je nulová.

HORKUL

Čidlo stojí, visí svisle.



Výsledná síla je nulová.

SEPA

Čidlo stojí.



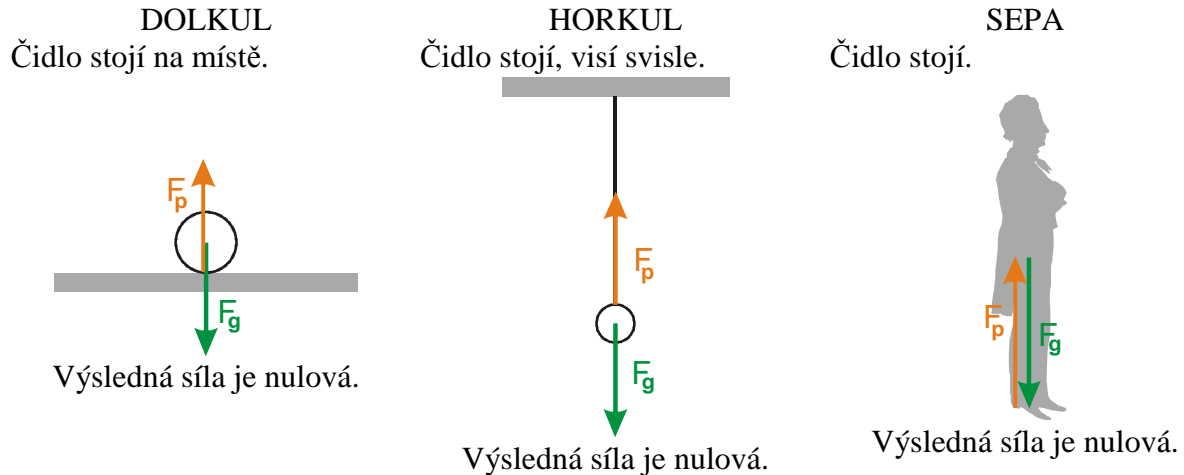
Výsledná síla je nulová.

Př. 2: Vagón SVARME rovnoměrně projíždí stanicí směrem doprava. Existují rozdíly mezi tím, co vidí obě skupiny pozorovatelů? Co ukazují jednotlivá čidla? (Nakresli obrázky s působícími silami. Jaká je jejich výslednice?)

Obě skupiny pozorovatelů vidí rozdíly:

- STABILOVÉ: Naše nástupiště stojí, vagón jede rovnoměrně doprava.
- MOBILOVÉ: Náš vagón stojí, nástupiště jede rovnoměrně doleva.

MEHOZ – ukazuje nulovou hodnotu (SVARME nezrychluje).



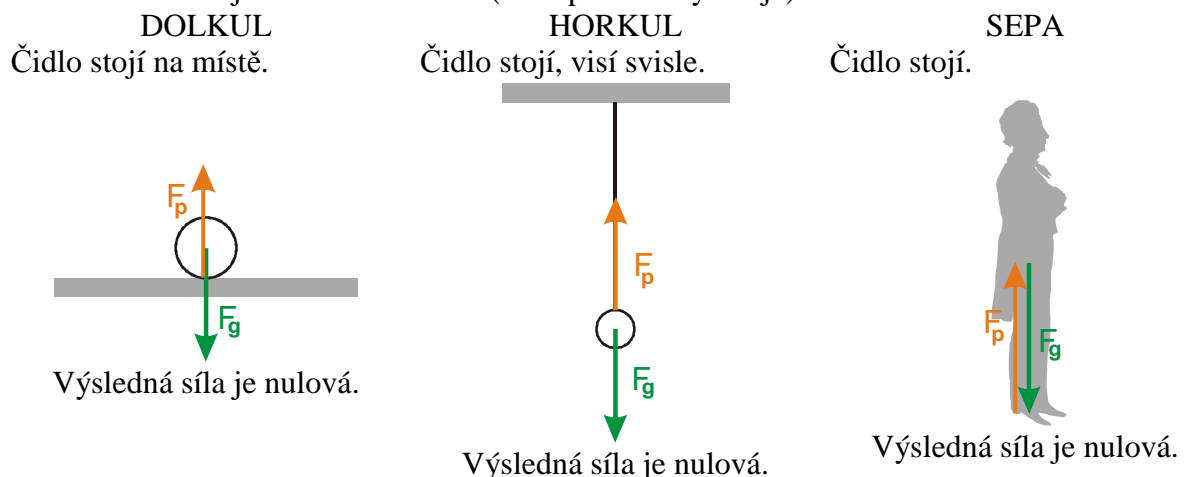
Př. 3: Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava. Co vidí STABILOVÉ? Co ukazují čidla ve vagónu? Co ukazují čidla na nástupišti? (Nakresli obrázky s působícími silami. Jaká je jejich výslednice?) Jak vysvětlují STABILOVÉ údaje z čidel?

Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava.

STABILOVÉ: Naše nástupiště stojí, vagón zrychluje doprava.

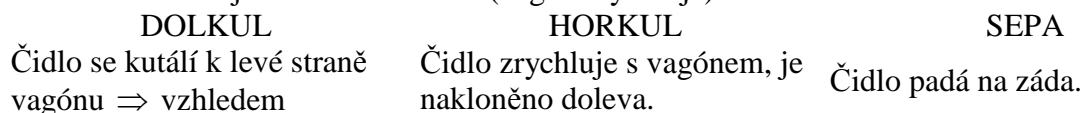
Čidla na nástupišti (pohled STABILŮ z nástupiště):

MEHOZ – ukazuje nulovou hodnotu (nástupiště nezrychluje).

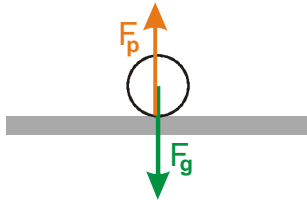


Čidla uvnitř vagónu SVARME (pohled STABILŮ z nástupiště):

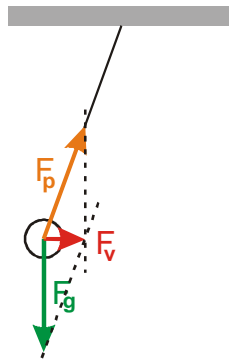
MEHOZ – ukazuje kladnou hodnotu (vagón zrychluje).



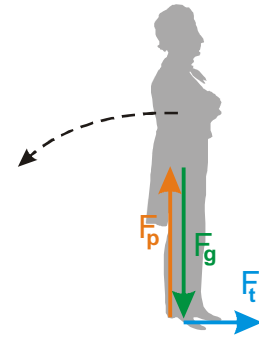
k nástupišti stojí na místě.



Výsledná síla je nulová \Rightarrow kulička stojí na místě (z pohledu nástupišť).



Síla provázku působí v jeho směru \Rightarrow na kuličku působí výsledná síla směrem doprava \Rightarrow kulička se pohybuje se zrychlením a (díky výsledné síle $F = ma$).



Vagón zrychluje \Rightarrow podlaha ujíždí doprava \Rightarrow na nohy působí třecí síla mezi podlahou a podrážkami \Rightarrow na zbytek těla žádná síla doprava nepůsobí \Rightarrow tření podtrhne SEPOVI nohy a on padá dozadu.

Z pohledu týmu na nástupišti je vše v pořádku. Chování všech čidel můžeme vysvětlit působením nakreslených sil.

Př. 4: Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava. Co cítí a co vidí MOBILOVÉ?

MOBILOVÉ cítí, že SVARME zrychluje.

Vidí:

- vagón stojí na místě,
- nástupišť se Zemí, Sluncem i zbytkem vesmíru zrychluje směrem doleva.

Pedagogická poznámka: Tvzení předchozího příkladu jsou pro velkou část žáků těžce stravitelná. Přesto je třeba, aby se žáci smířili s tím, že při popisu z libovolné vztažné soustavy předpokládám, že má vztažná soustava stojí a pohybuje se zbytek vesmíru. Jestli při tom cítím její neinerciálnost je druhý problém.

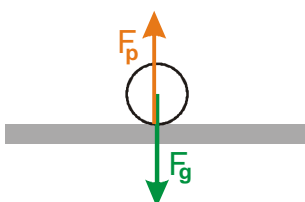
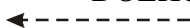
Př. 5: Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava. Rozeber silové působení a stav čidel ve vagónu z pohledu MOBILŮ.

Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava.

Čidla uvnitř vagónu SVARME (pohled MOBILŮ ze zrychlujícího vagónu):

MEHOZ: Ukazuje kladnou hodnotu (vagón zrychluje) \Rightarrow odpovídá pocitům.

DOLKUL

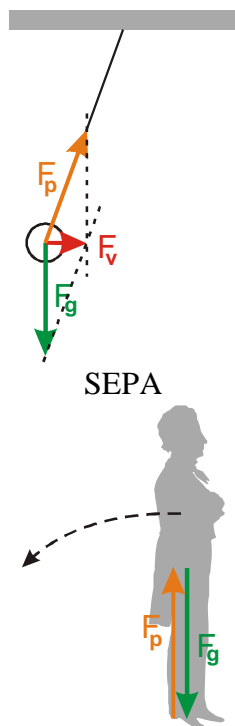


HORKUL

Kulička se ve vagónu pohybuje zrychleně k zadní stěně (doleva). \Rightarrow

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

Kulička se na závěsu stojí na místě, nakloněná směrem dozadu



(doleva).

⇒

Problém: na kuličku působí doprava nenulová výsledná síla ⇒ kulička nemůže viset nakloněná na místě.

SEPA padá na záda. Podlaha stejně jako SEPOVY nohy stojí na místě ⇒ nepůsobí třecí síla.

⇒

Problém: na SEPA působí nulová výsledná síla ⇒ měl by bez problémů stát ⇒ nemůže bezdůvodně padat dozadu.

Shrnutí:

- Při pohledu z nástupiště (inerciální vztažné soustavy) je možné vysvětlit chování všech čidel (na nástupišti i ve vagónu). Newtonovy zákony fungují (správně předpovídají chování všech čidel na nástupišti i ve vagónu).
- Při pohledu z vagónu (neinerciální vztažné soustavy, kterou tak považujeme za nehybnou) není možné vysvětlit chování žádného čidla ve vagónu. Newtonovy zákony neplatí (předpovídají něco jiného než vidíme).

V tomto okamžiku nejsme schopni popisovat svět pomocí Newtonových zákonů z neinerciálních vztažných soustav.

⇒ Co dál?

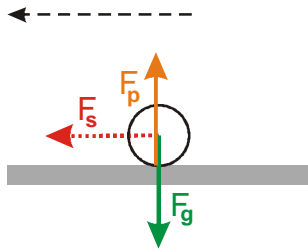
- Můžeme prohlásit, že popisovat svět pomocí zákonů mechaniky je možné pouze z hlediska inerciální vztažné soustavy (pro nás by to bylo lepší řešení).
- Využijeme toho, že víme o neinerciálnosti naší vztažné soustavy, a do popisu světa něco přidáme, aby se podařilo Newtonovy zákony zachránit.

Zkusíme spravit výsledky, které jsou vidět z vagónu:

DOLKUL:

- Kulička se ve vagónu pohybuje zrychleně k zadní stěně (doleva se zrychlením a).
- Výsledná síla působící na kuličku je nulová.

⇒ Přidáme na kuličku **setrvačnou jakosílu**, která má velikost $F_s = ma$ a která působí na kuličku směrem doleva kvůli tomu, že ji pozorujeme ze zrychlujícího vlaku.



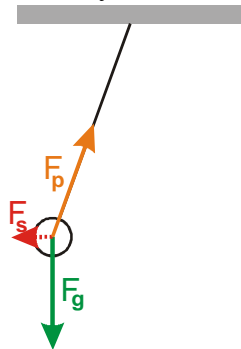
Nyní platí $F_v = F_s = ma \Rightarrow$ kulička se pohybuje doleva se zrychlením a .

Pedagogická poznámka: Termín jakosíla používám po zralé úvaze záměrně. Má zabránit žákům, aby začali ztotožňovat setrvačné síly se silami, které studovali dosud.

Př. 6: Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava. Pokus se pomocí setrvačné jakosíly popsat chování čidla HORKUL ve vagónu z pohledu MOBILŮ.

Čidlo stojí, i když je provázek nakloněný a působí na něj nenulová výsledná síla směrem doprava, která by ho měla zrychlit.

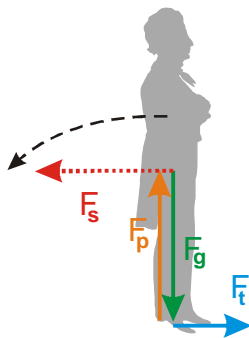
Přidáme na kuličku kvůli pohledu z neinerciální vztažné soustavy setrvačnou jakosílu o velikosti $F = ma$ působící doleva \Rightarrow výsledná síla působící na kuličku je nulová \Rightarrow kulička může být nakloněná a zároveň stát na místě.



Př. 7: Vagón SVARME rovnoměrně zrychluje směrem doprava. Pokus se pomocí setrvačné jakosíly popsat chování čidla SEPA ve vagónu z pohledu MOBILŮ.

SEPA padá doleva i když na něj působí nulová výsledná síla.

Předpokládáme, že na SEPA působí kvůli pohledu z neinerciální vztažné soustavy setrvačná jakosíla o velikosti $F = ma$ doleva, tření zabraňuje pohybu nohou doleva \Rightarrow SEPA padá na záda.



Zdá se, že po přidání setrvačné jakosíly je možné používat Newtonovy zákony i při popisu z neinerciální vztažné soustavy.

Shrnutí: Platnost Newtonových zákonů v neinerciálních vztažných soustavách můžeme zachránit přidáním setrvačných jakosil, které nejsou důsledkem vzájemného působení těles, ale důsledkem volby neinerciální vztažné soustavy.