

1.6.3 Gravitační a tíhové zrychlení

Předpoklady:

Pedagogická poznámka: Tato hodina je pro mě jedním z prvních kandidátů na vypuštění.

Osobně považuji zavádění tíhové síly a tíhového zrychlení (natož pak tíhy) za nesmyslné a zamlžující. V žádném případě nejde o typy sil ve smyslu gravitační síly nebo síly třecí či tlakové. Jak tíhovou sílu tak tíhu je všech případech možné obejít důslednou analýzou situace (jak je podáno v této hodině). Zavedení obou sil do výuky je kontraproduktivní, většina žáků nikdy důsledně nepochopí, proč místo gravitace (kterou by očekávali a která by měla jasnou příčinu a je i slovem běžně používaným) mají do obrázků kreslit jinou sílu (která existuje pro ně bez zjevného důvodu).

Navíc změny, které zanedbání rotace Země a nepoužívání tíhové síly přináší, jsou řádově menší než jiná zanedbání činěná ve středoškolské fyzice (i při výpočtech na inženýrské úrovni) a zanedbatelně se projevují fakticky pouze při výpočtech periody kyvadlových hodin (v tomto srovnání je pikantní zejména příklad 6 strana 157 v učebnici Mechanika).

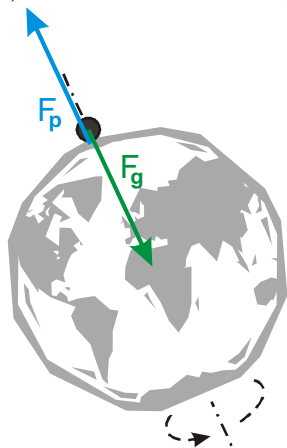
Pedagogická poznámka: Na úvod hodiny studentům říkám, že pokud jim celá hodina přijde zbytečná a nejasná, nemají se s ní trápit a její výsledky ve svém fyzikálním přemýšlení nepoužívat.

V minulé hodině jsme se zabývali gravitační silou a intenzitou gravitačního pole na Zemi. Naše úvahy byly správné a nemusíme na nich nic měnit, přesto mohou nastat (velmi vzácně) situace, kdy budeme muset uvažovat nejen gravitační působení Země, ale i důsledky její rotace okolo své osy.

Př. 1: Na podlaze leží železná koule. Porovnej velikost síly, kterou podlaha působí na kouli, pokud: a) koule se nachází na pólu b) koule se nachází na rovníku. Předpokládej, že poloměr Země i velikost její gravitační síly je v obou místech stejná. Příklad řeš z hlediska inerciální soustavy i z hlediska pozorovatele spojeného se Zemí.

Pohled z inerciální vztahné soustavy (vidíme, jak se Země otáčí okolo své osy)

a) koule se nachází na pólu

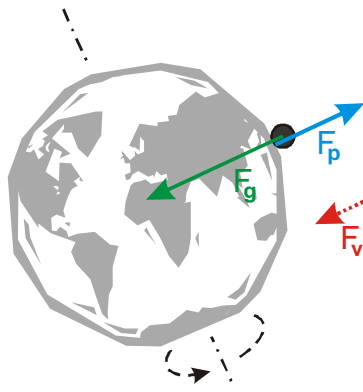


b) koule se nachází na rovníku

Na kouli působí dvě síly:

- gravitační síla Země F_g směrem do středu Země,
- síla podlahy F_p směrem od středu Země.

Koule stojí na místě \Rightarrow výsledná síla působící na kouli musí být nulová $\Rightarrow F_p = F_g$.



Na kouli působí dvě síly:

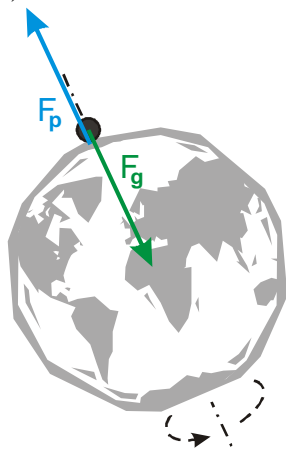
- gravitační síla Země F_g směrem do středu Země,
- síla stolu F_p směrem od středu Země.

Koule se otáčí se Zemí \Rightarrow na kouli musí působit nenulová výsledná síla, která hraje roli dostředivé síly (směřuje do středu Země) $\Rightarrow F_v = F_d = F_g - F_p \Rightarrow F_p = F_g - F_d \Rightarrow$ síla podlahy je menší než gravitační síla.

\Rightarrow Podlaha působí na kouli větší silou na pólu, protože část gravitační síly, kterou přitahuje Země kouli na rovníku se spotřebuje na „dostředování“ koule během jejího otáčivého pohybu se Zemí.

Pohled z neinerciální vztažné soustavy spojené se Zemí (Země stojí)

a) koule se nachází na pólu

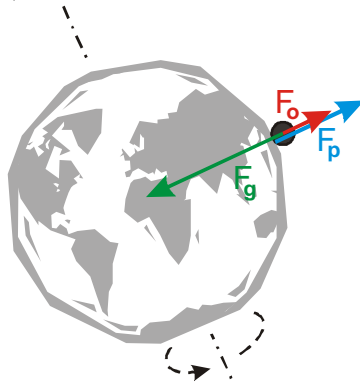


Na kouli působí dvě síly:

- gravitační síla Země F_g směrem do středu Země,
- síla podlahy F_p směrem od středu Země.

Koule stojí na místě \Rightarrow výsledná síla působící na kouli musí být nulová $\Rightarrow F_p = F_g$.

b) koule se nachází na rovníku



Na kouli působí tři síly:

- gravitační síla Země F_g do středu Země,
- síla stolu F_p směrem od středu Země,
- setrvačná odstředivá síla F_o směrem od středu Země.

Země i koule jsou v klidu \Rightarrow na kouli musí působit nulová výsledná síla $\Rightarrow F_v = 0 = F_g - F_p - F_o \Rightarrow F_p = F_g - F_o \Rightarrow$ síla podlahy je menší než gravitační síla.

\Rightarrow Podlaha působí na kouli větší silou na pólu, protože část gravitační síly, kterou přitahuje Země kouli na rovníku je vyrušena setrvačnou odstředivou silou způsobenou rotací Země a pohledem z neinerciální vztažné soustavy s ní spojené.

V obou vztažných soustavách jsme dospěli ke stejnému výsledku: síla, kterou působí podlaha na kouli je na rovníku menší než na pólu, protože část gravitační síly:

- a) se „spotřebuje na dostředování“ koule při jejím otáčivém pohybu se Zemí,
- b) je vyrušena setrvačnou odstředivou silou.

Jaký je rozdíl pro obě situace například pro vrhačskou kouli o hmotnosti 7,257 kg? Rozdíl mezi silou podlahy na pólu a na rovníku způsobuje potřeba dostředivé síly (působení odstředivé síly při pohledu z neinerciální soustavy Země) \Rightarrow stačí určit velikost této síly.

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

$$\text{Úhlová rychlost Země: } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \text{ rad/s} = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}.$$

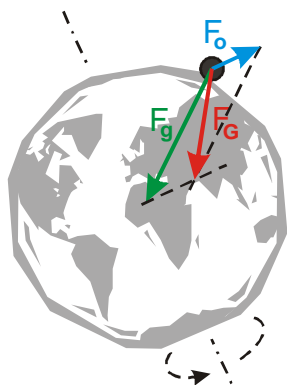
$$\text{Rozdíl mezi silami } F_s = m\omega^2 r = 7,257 \cdot (7,27 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 6378000 \text{ N} = 0,24 \text{ N}.$$

$$\text{Gravitační síla Země na kouli: } F_g = mg = 7,257 \cdot 10 \text{ N} = 72,57 \text{ N}$$

Rozdíl mezi oběma silami není vzhledem k velikosti gravitační síly příliš velký, jde pouze o 0,33% gravitační síly.

Všechny předměty, se kterými se v životě setkáváme, se otáčejí se Zemí \Rightarrow měli bychom otáčení Země uvažovat \Rightarrow nezáleží pouze na působící gravitační síle, ale i na vlivu otáčení Země (který vyjadřuje z pohledu Země odstředivá síla F_o) \Rightarrow při pohledu ze Země se předměty chovají tak, jakoby na ně působila výslednice sil F_g a F_o . Tato síla se nazývá **tíhová síla**, značí se F_G . Platí: $F_G = F_g + F_o$.

Př. 2: Nakresli na obrázek Zeměkoule tíhovou sílu, která působí na kouli, která se nachází přibližně na 45° severní šířky.



Z pohledu Země (neinerciální soustavy) na kouli působí:

- gravitační síla Země F_g
- odstředivá síla F_o

Tíhovou sílu získáme jako jejich výslednici.

Z obrázku je vidět, že u předmětů, které se nenacházejí na rovníku nebo pólu, nepůsobí tíhová síla do středu Země.

Směr působení tíhové síly se shoduje se směrem zavěšené olovnice a říkáme mu **svislý směr**.

Když zavedeme tíhovou sílu, můžeme mluvit i o:

- **tíhovém poli** (pole vytvořené gravitačním polem Země a působením setrvačných sil způsobených rotací Země),
- **tíhovém zrychlením** (zrychlením, se kterým se v tíhovém poli Země pohybují volně puštěná tělesa).

Př. 3: Přiřaď uvedené hodnoty tíhového zrychlení ($9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $9,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) místům na Zemi (ČR, rovník, pól).

Velikosti tíhového zrychlení:

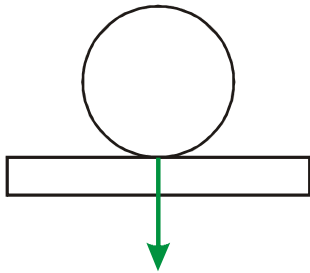
- pól $9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (tento bod povrchu Země se neotáčí \Rightarrow žádná část gravitační síly se nespotebovává na dostřed'ování),
- rovník $9,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (tento bod povrchu Země se otáčí nejvyšší obvodovou rychlostí \Rightarrow největší část gravitační síly se spotřebuje na dostřed'ování),
- Česká republika: $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (v rychlosti otáčení leží mezi rovníkem a pólem \Rightarrow náleží k ní střední hodnota tíhového zrychlení).

Mezinárodní dohodou je stanoveno také normální tíhové zrychlení $9,80655 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Stejně jako dosud i nadále budeme používat až na výjimky přibližnou hodnotu $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Další silou, která souvisí s gravitačním působením je tíha.

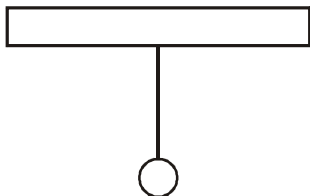
Př. 4: Urči sílu zakreslenou v obrázku.



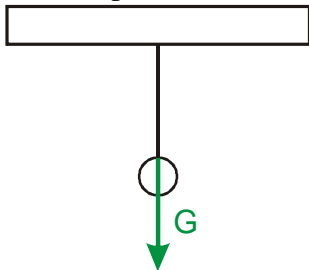
Zakreslená síla je síla, kterou působí kulička na podložku.

Právě tato síla, která je důsledkem působení gravitace na kuličku, se označuje jako tíha \Rightarrow tíha (značí se G) vyjadřuje působení gravitačně přitahovaného předmětu na okolí.

Př. 5: Zakresli do obrázku tíhu kuličky.



Kulička působí na závěs v místě, kde se ho dotýká.



Pomocí tíhy můžeme snadno rozlišovat beztlížný stav a stav tíže.

- Stav tíže – projevuje se působení tíhy předmětu na okolí.
- Stav beztlíže – předmět na své okolí nepůsobí tíhou.

Shrnutí: Přitahování předmětů, které se otáčejí se Zemí, ovlivňuje potřeba dostředivé síly. Zdá se jakoby na takové předměty působila síla označovaná jako tíhová.