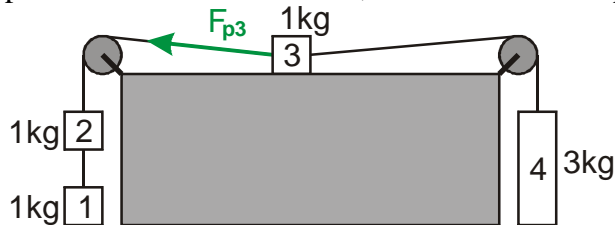


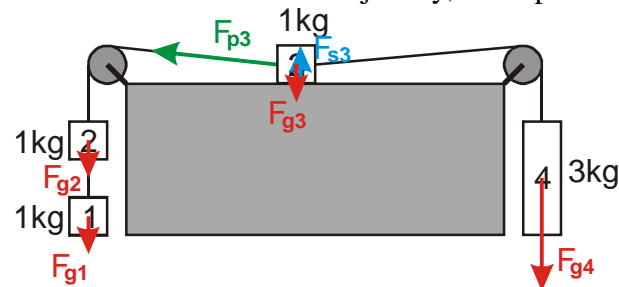
## 1.2.6 2. Newtonův zákon III

**Předpoklady:** 1205

**Př. 1:** Urči zrychlení soustavy závaží na obrázku. Urči vyznačenou sílu, kterou působí provázek na závaží 2. Tření, hmotnost kladek i provázku zanedbej.



Nakreslíme do obrázku vnější síly, které působí na jednotlivá závaží:



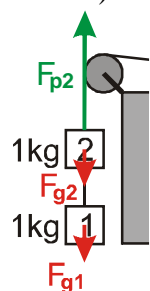
- Síly  $F_{g3}$  a  $F_{s3}$  neovlivňují urychlování soustavy.

$\Rightarrow$  Zrychlování soustavy ovlivňují síly  $F_{g1}$ ,  $F_{g2}$  a  $F_{g4}$ .

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g4} - F_{g1} - F_{g2}}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{m_4 g - m_1 g - m_2 g}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{3 \cdot 10 - 1 \cdot 10 - 1 \cdot 10}{1 + 1 + 1 + 3} \text{ m/s}^2 = 1,67 \text{ m/s}^2$$

**Výpočet síly  $F_{p3}$ :**

Síla  $F_{p3}$  je stejně velká jako partnerská síla  $F_{p2} \Rightarrow$  určíme sílu  $F_{p2}$  (působící směrem nahoru).



Síla  $F_{p2}$  vyrovnává síly  $F_{g1}$ ,  $F_{g2}$  a urychluje závaží 1 a 2  $\Rightarrow$  platí

$$F_{p2} = F_{g1} + F_{g2} + m_1 a + m_2 a$$

$$F_{p2} = m_1 g + m_2 g + m_1 a + m_2 a = m_1 (a + g) + m_2 (a + g) = (m_1 + m_2)(a + g)$$

$$F_{p2} = (m_1 + m_2)(a + g) = (1 + 1)(10 + 1,67) \text{ N} = 23,34 \text{ N}$$

Soustava závaží na obrázku zrychluje se zrychlením  $1,67 \text{ m/s}^2$ , provázek působí na závaží 3 silou o velikosti  $23,34 \text{ N}$ .

**Př. 2:** Člověk je schopen při roztačování automobilu vyvinout sílu 250 N. Může touto silou roztačit na vodorovné rovině osobní automobil o hmotnosti 1,6 tuny, pokud se všechny druhy tření působící proti pohybu auta dohromady rovnají 100 N? Jak dlouho by trvalo než by auto roztačil na rychlost 10 km/h? Mohl by tento člověk při působení stejných třecích sil roztačit nákladní automobil o hmotnosti 20 t?

$F_c = 250 \text{ N}$ ,  $F_t = 100 \text{ N}$ ,  $m_o = 1,6 \text{ t} = 1600 \text{ kg}$ ,  $m_n = 20 \text{ t} = 20000 \text{ kg}$ ,  $v = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$   
 Člověk auto roztačí, pokud bude síla, kterou auto tlačí větší než tření. V obou případech platí  
 $F_v = F_c - F_t = 250 - 100 \text{ N} = 150 \text{ N}$ .

Hmotnost auta ovlivňuje pouze velikost zrychlení:  $a = \frac{F}{m}$ .

Pokud bude člověk tlačít stále stejnou silou, bude se automobil pohybovat rovnoměrně

zrychleně  $\Rightarrow$  jeho rychlost je určena vztahem  $v = at$  (počáteční rychlost je nulová)  $\Rightarrow t = \frac{v}{a}$

Dosadíme za zrychlení:  $t = \frac{v}{a} = \frac{v}{\frac{F_v}{m}} = \frac{vm}{F_v}$

Dosazení:

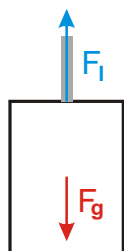
a) osobní automobil  $t = \frac{vm_o}{F_v} = \frac{2,78 \cdot 1600}{150} \text{ s} = 30 \text{ s}$

b) nákladní automobil  $t = \frac{vm_n}{F_v} = \frac{2,78 \cdot 20000}{150} \text{ s} = 370 \text{ s} = 6,2 \text{ min}$

**Pedagogická poznámka:** Cílem příkladu je, aby si studenti uvědomili, že člověk může roztačit libovolně těžký předmět (samozřejmě za cenu velmi malého zrychlení), pokud se podaří dostatečně zmenšit případné třecí síly.

**Př. 3:** Výtahová kabina o hmotnosti 400 kg je tažena výtahovým lanem o nosnosti 15 000 N. S jakým největším zrychlením a jakým směrem může být tažena, aby nebylo překročeno povolené zatížení lana, které je jednou třetinou jeho nosnosti. Při jakém zrychlení by se lano přetrhlo?

$m = 400 \text{ kg}$ ,  $F_{\max} = 15000 \text{ N}$ ,  $a = ?$



Na výtah působí dvě síly: gravitační síla  $F_g$  a síla lana  $F_l$ . Pokud je jedna z těchto sil větší než druhá, působí na výtah nenulová výslednice a výtah zrychluje. Zajímají nás velké hodnoty síly lana, tedy případy, kde bude výtah zrychlovat směrem nahoru.

Vztah pro velikost zrychlení:  $a = \frac{F}{m}$ , kde  $F = F_l - F_g$ .

Překročení povoleného zatížení:

$F_l = \frac{F_{\max}}{3} = \frac{15000}{3} \text{ N} = 5000 \text{ N}$ ,  $a = \frac{F_l - F_g}{m} = \frac{5000 - 4000}{400} \text{ m/s}^2 = 2,5 \text{ m/s}^2$ .

Přetržení lana:  $F_l = F_{\max} = 15000 \text{ N}$ ,  $a = \frac{F_l - F_g}{m} = \frac{15000 - 4000}{400} \text{ m/s}^2 = 27,5 \text{ m/s}^2$ .

Povolené zatížení lana výtahu by bylo překročeno, pokud by výtah zrychloval směrem vzhůru se zrychlením  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Lano by se přetrhlo při zrychlení  $27,5 \text{ m/s}^2$ .

**Př. 4:** Automobil narazí v rychlosti  $60 \text{ km/h}$  do stromu. Během srážky se karosérie zdeformuje a strom do ní pronikne do hloubky  $40 \text{ cm}$  (na této dráze automobil zastaví). Urči jakou silou musí držet bezpečnostní pásy:

- a)  $80 \text{ kg}$  těžkého řidiče                      b)  $6 \text{ kg}$  těžké mimino v sedačce

$$v_0 = 60 \text{ km/h} = 16,7 \text{ m/s}, \quad s = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}, \quad m_r = 80 \text{ kg}, \quad m_d = 6 \text{ kg}, \quad F = ?$$

Při srážce bude automobil zpomalovat s obrovským zrychlením (ztratí velkou rychlost za velmi krátkou dobu)  $\Rightarrow$  na předměty v autě musí působit obrovská síla, která toto zpomalení způsobí (bezpečnostní pásy). Na nepřipoutané pasažéry taková síle nepůsobí a proto pokračují v pohybu rovnoměrném přímočarém přes čelní sklo mimo vůz.

Velikost síly z 2. Newtonova zákona:  $a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = ma \Rightarrow$  pokud máme určit působící sílu, musíme spočítat zrychlení.

Předpokládáme rovnoměrně zpomalený pohyb s nulovou konečnou rychlostí  $\Rightarrow$  provedeme záměnu za rovnoměrně zrychlený pohyb s nulovou počáteční rychlostí.

Rovnice:  $v = at$ ,  $s = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow$  v obou rovnicích neznáme dvě veličiny  $\Rightarrow$  z první rovnice

vyjádříme  $t$  (nezajímá nás) a dosadíme do druhé:  $v = at \Rightarrow t = \frac{v}{a}$ .

$$s = \frac{1}{2}a\left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{1}{2}a\frac{v^2}{a^2} = \frac{v^2}{2a}$$

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

Dosadíme do vztahu pro sílu:  $F = ma = \frac{mv^2}{2s}$

Dosažení:

a) Dospělý řidič  $m_r = 80 \text{ kg}$ :  $F = \frac{mv^2}{2s} = \frac{80 \cdot 16,7^2}{2 \cdot 0,4} \text{ N} = 28000 \text{ N}$  (síla nutná k udržení závaží o hmotnosti  $2800 \text{ kg}$ ).

b) Dítě  $m_d = 6 \text{ kg}$ :  $F = \frac{mv^2}{2s} = \frac{6 \cdot 16,7^2}{2 \cdot 0,4} \text{ N} = 2100 \text{ N}$  (síla nutná k udržení závaží o hmotnosti  $210 \text{ kg}$ ).

Při srážce automobilu se stromem musí bezpečnostní pásy udržet řidiče silou  $28000 \text{ N}$ , miminko v sedačce silou  $2100 \text{ N}$ .

**Dodatek:** Pro srovnání hodnoty při nárazu v rychlosti  $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ :

a) dospělý řidič  $m_r = 80 \text{ kg}$ :  $F = \frac{mv^2}{2s} = \frac{80 \cdot 25^2}{2 \cdot 0,4} \text{ N} = 62500 \text{ N}$

b) dítě  $m_d = 6 \text{ kg}$ :  $F = \frac{mv^2}{2s} = \frac{6 \cdot 25^2}{2 \cdot 0,4} \text{ N} = 4690 \text{ N}$

Z výsledků je zřejmé, že není v lidských silách se při takovém nárazu udržet

v sedačce a nepřipásaní pasažéři musí nutně pokračovat v pohybu dopředu a buď narazit na automobil nebo proletět předním sklem ven z auta.

**Př. 5:** Při automobilových závodech formule jedna nejsou nádrže vozů natankované naplno a závodníci musejí během závodu zastavit v boxech, kde jim mechanici palivo doplní (často i dvakrát během jednoho dvouhodinového závodu). Tato strategie je výhodnější než natankovat na začátku plnou nádrž a během závodu netankovat. Vysvětli.

Palivo v nádrži zvětšuje hmotnost vozu a tím zmenšuje zrychlení, kterého může automobil při jízdě dosahovat (lehčí vůz je hbitější).

**Př. 6:** Navrhni způsob, jak určit hmotnost předmětů na oběžné dráze (v beztížném stavu).

Klasické váhy používané na Zemi neměří přímo hmotnost, ale gravitační sílu, kterou Země předměty přitahuje (a která je na povrchu Země přímo úměrná jejich hmotnosti).

Taková váha na oběžné dráze v beztížném stavu naměří nulovou hmotnost. Předměty v beztížném stavu nejsou zdánlivě přitahovány Zemí vůbec a nemají tendenci padat k zemi (a tedy ani tlačit na váhu).

Hmotnost předmětu jako odpor vůči jeho urychlování však nezmizí  $\Rightarrow$  můžeme sestrojít „setrvačnou“ váhu, která se například snaží předmět roztočit a podle síly, která je nutná k jeho udržení na kruhové dráze, určí jeho hmotnost.

---

**Shrnutí:**