

## 1.2.4 2. Newtonův zákon I

### Předpoklady: 1204

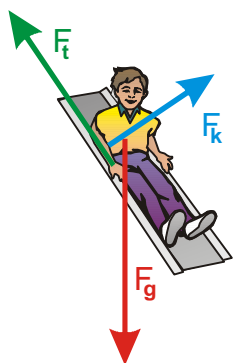
Začneme opakováním z minulé hodiny.

**Pedagogická poznámka:** Nejdříve nechám studenty vypracovat oba následující příklady, pak si zkontrolujeme první příklad a studenti dostanou dvě minuty na překontrolování druhého příkladu. Některým se podaří si opravit případný špatný výsledek.

**Př. 1:** Dítě si hraje na skluzavce. Jednou sedí uprostřed a nehýbe se, podruhé stejným místem rovnoměrně projíždí. Porovnej velikost třecí síly v obou případech.

Rozebereme si postupně oba případy:

**dítě se nehýbe**

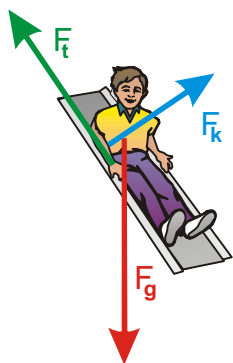


Na dítě působí tři síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země,
- $F_k$  - síla klouzačky (aby se dítě nepropadlo dolů),
- $F_t$  - třecí síla, která zabraňuje části gravitace stáhnout dítě dolů.

Podle 1. Newtonova zákona může dítě zůstat v klidu pouze v případě, že výsledná působící síla bude nulová  $\Rightarrow$  třecí síla musí vyrovnat působení gravitační síly a síly od klouzačky.

**dítě jede rovnoměrně**



Na dítě působí tři síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země,
- $F_k$  - síla klouzačky (aby se dítě nepropadlo dolů),
- $F_t$  - třecí síla, která zabraňuje části gravitace stáhnout dítě dolů.

Podle 1. Newtonova zákona se může dítě pohybovat rovnoměrně přímočaře pouze v případě, že výsledná působící síla bude nulová  $\Rightarrow$  třecí síla musí vyrovnat působení gravitační síly a síly od klouzačky.

Gravitační síla i síla klouzačky jsou v obou případech stejné  $\Rightarrow$  třecí síla musí být v obou případech stejná.

**Pedagogická poznámka:** Studenti většinou považují za větší sílu působící v klidu. Vychází to i z osobní skutečnosti, protože nerozlišují sílu, která musí zabrzdit klouzající dítě, od síly, která stačí k tomu, se už stojící dítě nepohybovalo. Druhým problémem je, že studenti nevychází z 1. Newtonova zákona, ale z vlastního odhadu (o kterém už z minulé hodiny víme, že je nejistý). Jde o jedno z míst, kde by se studenti měli naučit korigovat vlastní „selské“ odhady fyzikálními zákony. Právě tady je nutné dosáhnout toho, aby se školní fyzika začala týkat jejich života.

**Př. 2:** Parašutista vyskočí z letadla. Nejdříve padá se zavřeným padákem. Zrychluje, ale po určité době se jeho rychlost ustálí a padá rovnoměrně. Poté otevře padák, jeho pád se zpomaluje až do okamžiku, kdy začne opět padat rovnoměrně.  
Porovnej velikost odporu vzduchu, který na parašutistu působí:  
a) když rovnoměrně padá se zavřeným padákem,  
b) když rovnoměrně padá s otevřeným padákem.

Během pádu působí na parašutistu dvě síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země (během pádu se nemění),
- $F_v$  - odpor vzduchu.

a) Parašutista rovnoměrně padá se zavřeným padákem.

Rovnoměrný pohyb  $\Rightarrow$  na parašutistu působí nulová výsledná síla  $\Rightarrow$  musí platit  $F_v = F_g$ .

b) Parašutista rovnoměrně padá s otevřeným padákem.

Rovnoměrný pohyb  $\Rightarrow$  na parašutistu působí nulová výsledná síla  $\Rightarrow$  musí platit  $F_v = F_g$ .

$\Rightarrow$  v obou případech působí na parašutistu stejně velký odpor vzduchu, jehož velikost se rovná velikosti gravitační síly, kterou na parašutistu působí Země.

**Př. 3:** Vysvětli, jak je možné, že v obou bodech předchozího příkladu, působí na parašutistu stejně velký odpor vzduchu, když při pádu s otevřeným padákem brzdí parašutistu daleko větší plocha otevřeného padáku.

Odpor vzduchu závisí na:

- velikosti plochy,
- rychlosti pohybu.

$\Rightarrow$

- Parašutista rovnoměrně padá se zavřeným padákem: malá plocha, ale velká rychlost pádu  $\Rightarrow$  potřebná velikost odporu vzduchu.
- Parašutista rovnoměrně padá s otevřeným padákem: velká plocha, ale malá rychlost pádu  $\Rightarrow$  potřebná velikost odporu vzduchu.

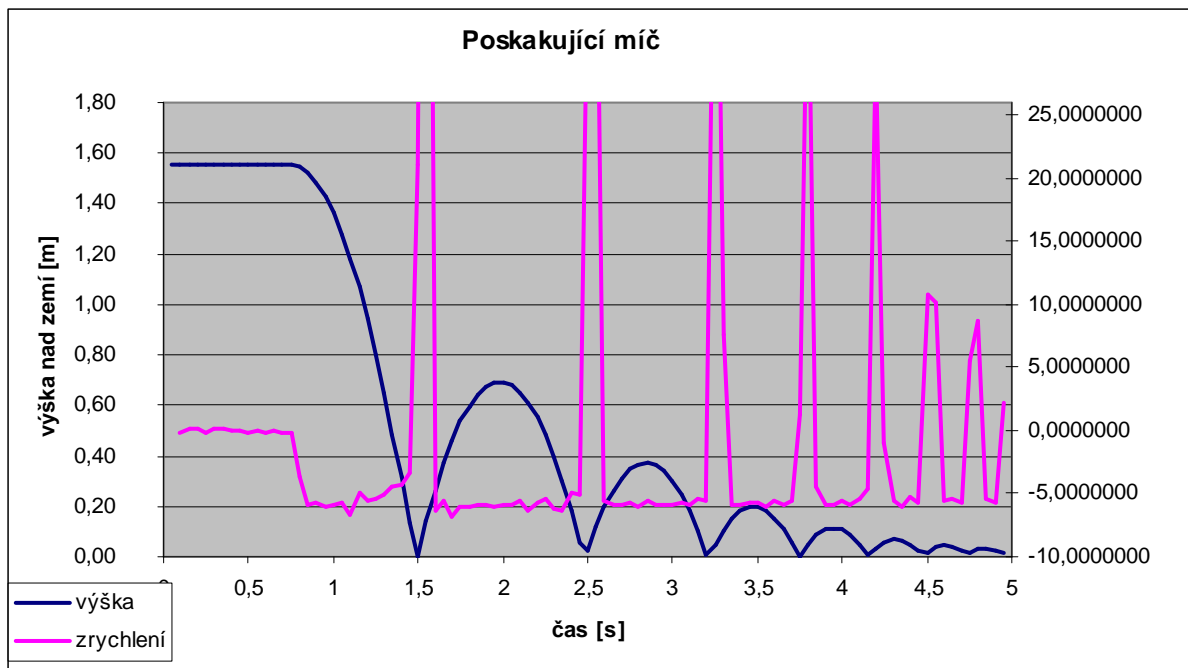
$\Rightarrow$  Smysl padáku: velká plocha padáku zaručí, že odpor vzduchu dosáhne potřebné velikosti už při malé rychlosti pádu a parašutista přežije dopad na zem (když se padák neotevře, dopadne s velkou pravděpodobností po nějaké době rovnoměrného pádu, ale příliš velkou rychlostí a zabije se).

$\Rightarrow$  Z minulých hodin víme, že neexistuje přímý vztah (typu přímé nebo nepřímé úměrnosti) mezi rychlostí a silou  $\Rightarrow$  hledáme jinou veličinu popisující pohyb, která je navázána na sílu.

Zbývající pohybové veličiny:

- zrychlení (změna rychlosti za jednotku času)
- dráha

Zrychlení jsme objevili při zkoumání poskakování nafukovacího míče  $\Rightarrow$  vrátíme se k tomuto pohybu a prozkoumáme, jak se během něj mění síly, které na míč působí.



**Př. 4:** Nakresli síly, které působí na padající míč během poskakování, když:  
 a) padá dolů,                      b) stoupá vzhůru,                      c) odráží se.  
 Odpor vzduchu zanedbej (ve skutečnosti je vzhledem k ostatním silám a chybám měření opravdu zanedbatelně malý). Do obrázků vyznač výslednou sílu.

rozbior sil:

**míč padá dolů**



Na padající míč působí (při zanedbání odporu vzduchu) síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země

⇒ platí  $F_v = F_g$ .

**míč stoupá vzhůru**

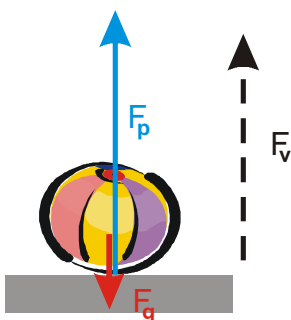


Na stoupající míč působí (při zanedbání odporu vzduchu) síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země

⇒ platí  $F_v = F_g$ .

**míč se odráží**



Na odrážející se míč působí (při zanedbání odporu vzduchu) síly:

- $F_g$  - gravitační síla Země,
- $F_p$  - odrazová síla podložky

⇒ platí  $F_v = F_p - F_g$ .

Z hlediska výsledné síly, může pohyb míče rozdělit na dvě části

- let vzduchem:  $F_v = F_g$ ,

- odraz:  $F_v = F_p - F_g$ .

**Př. 5:** Porovnej závislosti polohy a zrychlení na čase s obrázky výsledné síly působící na míč. Která z těchto veličin přímo souvisí s výslednou silou?

Poloha (výška) míče nad podlahou se během poskakování neustále mění a nesouvisí přímo s výslednou silou.

Z hlediska zrychlení můžeme rozdělit pohyb míče na dvě části

- let vzduchem (zrychlení se rovná přibližně  $-6 \text{ m/s}^2$ ),
- odraz (zrychlení nabývá velmi velkých kladných hodnot).

⇒ Zrychlení se během poskakování mění podobným způsobem jako výsledná síla ⇒ zřejmě existuje přímá závislost zrychlení předmětu na výsledné působící síle.

Závisí zrychlením i na dalších veličinách kromě síly?

Zřejmě závisí také na hmotnosti.

**Př. 6:** Představ si, že házíš kameny (míče) různé hmotnosti. Na základě zkušeností zkus sestavit vzorec pro velikost zrychlení.

Těžší kámen (těžší míč) je obtížnější hodit (tedy urychlit) ⇒ větší hmotnost znamená při stejné síle menší zrychlení.

Při hodu větší silou, dohodíme dál ⇒ kámen se pohyboval s větším zrychlením ⇒ větší síla způsobuje větší zrychlení.

Vzorec:  $a = \frac{F}{m}$ .

## 2. Newtonův zákon (zákon síly)

Velikost zrychlení tělesa je přímo úměrná velikosti výsledné síly a nepřímo

úměrná hmotnosti tělesa:  $a = \frac{F}{m}$ . Směr tohoto zrychlení se shoduje se

směrem působící síly:  $a = \frac{F}{m}$ .

2. Newtonův zákon je často zapisován ve tvaru:  $F = ma$ .

**Př. 7:** Vyjádři jednotku síly 1 N pomocí základních jednotek SI.

Použijeme 2. Newtonův zákon (jde o vztah mezi silou, hmotností a zrychlením, ve kterém pouze síla není vyjádřena pomocí základních jednotek SI).

$$F = ma$$

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

**Př. 8:** Volně padající závaží má hmotnost 2 kg. Vypočti jeho zrychlení. Odpor vzduchu zanedbej.

$$m = 2\text{kg}, a = ?$$

2. Newtonův zákon:  $a = \frac{F}{m}$

$$F = F_g = mg = 2 \cdot 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$$

$$\text{Dosazení: } a = \frac{F}{m} = \frac{20}{2} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$$

**Př. 9:** Volně padající závaží má hmotnost  $m$ . Vypočti jeho zrychlení. Odpor vzduchu zanedbej. Proč ve skutečnosti nepadají všechny předměty se stejným zrychlením?

Podobně jako předchozí příklad, jen neznáme hmotnost  $\Rightarrow$  zkusíme stejný postup, ale obecně.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_g}{m} = \frac{mg}{m} = g = 10 \text{ m/s}^2$$

Pokud zanedbáme odpor vzduchu bude závaží o libovolné hmotnosti padat se zrychlením  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Ve skutečnosti je v mnoha případech odpor vzduchu tak velký, že jej není možné zanedbat  $\Rightarrow$  předměty padají s různým zrychlením (které se v průběhu pádu mění).

Výsledek předchozího příkladu je možné snadno ověřit i experimentálně – pomocí Newtonovy trubice. Jde o skleněnou trubici, ze které je možné vyčerpát vzduch. Jakmile je vzduch z trubice vyčerpán, padají v ní kulička i pířko stejně rychle (se stejným zrychlením).

**Pedagogická poznámka:** Studenti mají s příkladem problém, protože v něm není udána hmotnost padajícího závaží. Je třeba je donutit k tomu, aby příklad v podobných situacích začali řešit obecně a snažili se ve vznikajících vzorcích neudané veličiny zbavit.

**Dodatek:** Výpočet v předchozím příkladu je z fyzikálního hlediska velmi zajímavý. Mohli bychom si ho napsat takto:  $a = \frac{F}{m_s} = \frac{F_g}{m_s} = \frac{m_g g}{m_s} = g = 10 \text{ m/s}^2$ . Hmotnost předmětu v něm hraje dvojí roli:  $m_s$  - setrvačná hmotnost, která udává odpor tělesa ke zrychlování,  $m_g$  - gravitační hmotnost, která udává, jak silně těleso reaguje na působení gravitace. Rovnost obou hmotností u všech těles není rozhodně samozřejmá, přesto je zřejmě skutečností a jako princip ekvivalence je základem obecné teorie relativity.

**Pedagogická poznámka:** Diskuse o padání předmětů pokračuje ještě na začátku příští hodiny.

**Př. 10:** (BONUS) V předchozím příkladu jsme spočítali, že všechny předměty by při zanedbání odporu vzduchu měly k zemi padat se zrychlením  $a = g = 10 \text{ m/s}^2$ . Najdi sílu, která je příčinou toho, že nafukovací míč padá během poskakování s menším zrychlením  $a \doteq 6 \text{ m/s}^2$ .

Hledaná síla musí působit směrem vzhůru (aby výsledná síla byla menší než gravitační a tím způsobila menší zrychlení).

Míč je po celou dobu pádu ponořen ve vzduchu a má značný objem  $\Rightarrow$  působí na něj vztlaková síla vzduchu (stejně jako na loď ve vodě, nebo balón). Protože míč je poměrně lehký, může tato síla podstatně ovlivnit velikost výslednice a tedy i zrychlení míče.

**Pedagogická poznámka:** Je samozřejmě otázka, zda by nebylo lepší použít místo poskakujícího míče jiný příklad, bližší ideálním podmínkám. Myslím, že ne. Naopak, nutnost neustále zpřesňovat pochopení zkoumaného, je velmi fyzikální a velmi reálná. Příklad s míčem by měl u studentů podpořit zkušenost, že zkoumání nejasností vede k lepšímu pochopení skutečnosti a potvrzení správných představ. Mnoha studentům je tento přístup zcela cizí, o pochybnostech raději nepřemýšlejí, aby se neukázalo, že jejich představy nejsou správné.

---

**Shrnutí:** Kde síla, tam zrychlení.