

## 1.2.5 2. Newtonův zákon I

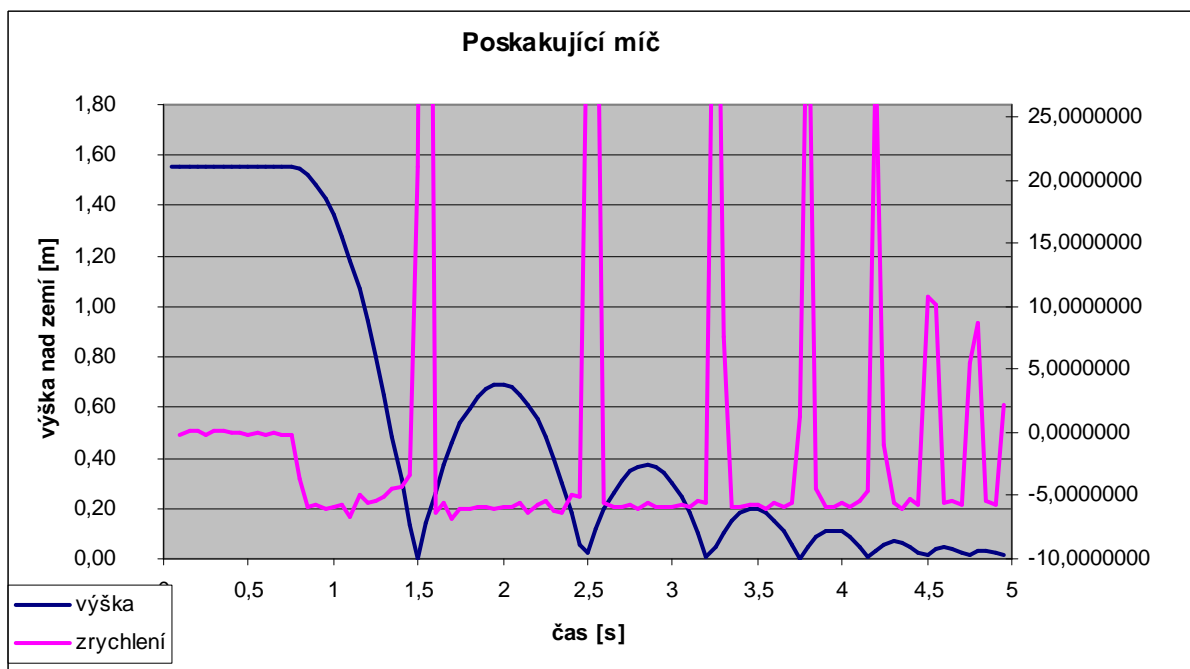
### Předpoklady: 1204

⇒ Z minulé hodiny víme, že neexistuje přímý vztah (typu přímé nebo nepřímé úměrnosti) mezi rychlostí a silou ⇒ hledáme jinou veličinu popisující pohyb, která je navázána na sílu.

Zbývající pohybové veličiny:

- zrychlení (změna rychlosti za jednotku času),
- poloha.

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



**Př. 1:** 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.

rozbor sil:

**míč padá dolů**



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

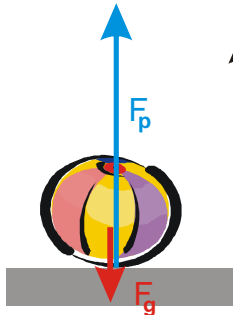
- $F_g$  - gravitační síla Země

⇒ platí  $F_v = F_g$ .

### míč stoupá vzhůru



### míč se odráží



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

- $F_g$  - gravitační síla Země

$\Rightarrow$  platí  $F_v = F_g$ .

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

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

$\Rightarrow$  platí  $F_v = F_p - F_g$ .

Podle výsledné síly můžeme pohyb míče rozdělit na dvě části:

- let vzduchem:  $F_v = F_g$ ,
- odraz:  $F_v = F_p - F_g$ .

**Př. 2:** 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.

Podle 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).

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

Závisí zrychlení i na dalších veličinách (mimo sílu)?

Zřejmě závisí také na hmotnosti.

**Př. 3:** 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)  $\Rightarrow$  větší hmotnost znamená při stejné síle menší zrychlení.

Při hodu větší silou, dohodíme dál  $\Rightarrow$  kámen se pohyboval s větším zrychlením  $\Rightarrow$  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. 4:** 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. 5:** Volně padající závaží má hmotnost 2 kg. Vypočti jeho zrychlení. Odpor vzduchu zanedbej.

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

$$2. \text{ Newtonův zákon: } a = \frac{F}{m}$$

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

$$\text{Dosazení: } a = \frac{F}{m} = \frac{20}{2} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2 \text{ (hodnota, kterou jsme mnohokrát použili v příkladech).}$$

Pokud zanedbáme odpor vzduchu, padá závaží se zrychlením  $10 \text{ m/s}^2$ .

**Př. 6:** Volně padající předmět má hmotnost  $m$ . Vypočti jeho zrychlení. Odpor vzduchu zanedbej.

Podobné 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  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Proto jsme konstantě  $g$  celou dobu říkali gravitační zrychlení.

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

**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.

**Př. 7:** Proč ve skutečnosti nepadají všechny předměty se stejným zrychlením?

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

Výsledek předchozího příkladu je možné snadno ověřit i experimentálně – pomocí Newtonovy trubice (video <http://www.youtube.com>). Jde o skleněnou trubici, ze které je možné vyčerpát vzduch. Jakmile je vzduch z trubice vyčerpán, padají v ní kulička i pírkó stejně rychle (se stejným zrychlením).

**Př. 8:** (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 vztlková 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.

**Př. 9:** Dvě stejně velké koule o různých hmotnostech začaly padat ve stejném okamžiku ze stejné výšky nad povrchem Měsíce. Dopadnou stejně? Proč? Jak by pokus dopadl na Zemi?

Zrychlení tělesa na Měsíci:  $a = \frac{F}{m} = \frac{mg_M}{m} = g_M \Rightarrow$  zrychlení nezávisí na hmotnosti předmětu

(podle očekávání) a protože na Měsíci není atmosféra a tedy ani odpor vzduchu, všechna tělesa by měla ze stejné výšky padat naprosto stejně a tedy i dopadnout ve stejný okamžik. Výsledek stejného pokusu na Zemi závisí na tom, jestli pokus probíhá za normálních podmínek nebo v prostoru s vyčerpáním vzduchem.

Ve vzduchoprázdnu dopadnou obě koule stejně jako na Měsíci (pouze padají s větším zrychlením).

Za přítomnosti vzduchu začne na obě koule působit odpor vzduchu a pak bude těžší koule padat rychleji. Působí na ní větší gravitační síla a proto není působení odporu tak znatelné jako u lehčí koule (při stejném odporu vzduchu bude výsledná síla způsobující zrychlování pádu větší).

**Př. 10:** Rozhodni, zda je pravda, že těžší tělesa padají na Zemi kvůli odporu vzduchu s větším zrychlením (a tedy rychleji).

Není to pravda. Kromě hmotnosti záleží i na tvaru a ploše předmětu. Ve většině případu platí, že těžší tělesa padají rychleji, ale není to tak vždy.

Stačí si vzít list papíru, malý kus z něj utrhnout a zmuchlat. Ačkoliv je zmuchlaný kousek lehčí než zbytek nezmuchlaného papíru, bude padat viditelně rychleji.

**Pedagogická poznámka:** Část studentů bude se zadáním příkladu souhlasit. Nechte je, aby vysvětlili svůj závěr ostatním, kteří by v jejich argumentaci měli najít chyby.

**Shrnutí:** Kde síla, tam zrychlení.