

1.2.5 2. Newtonův zákon I

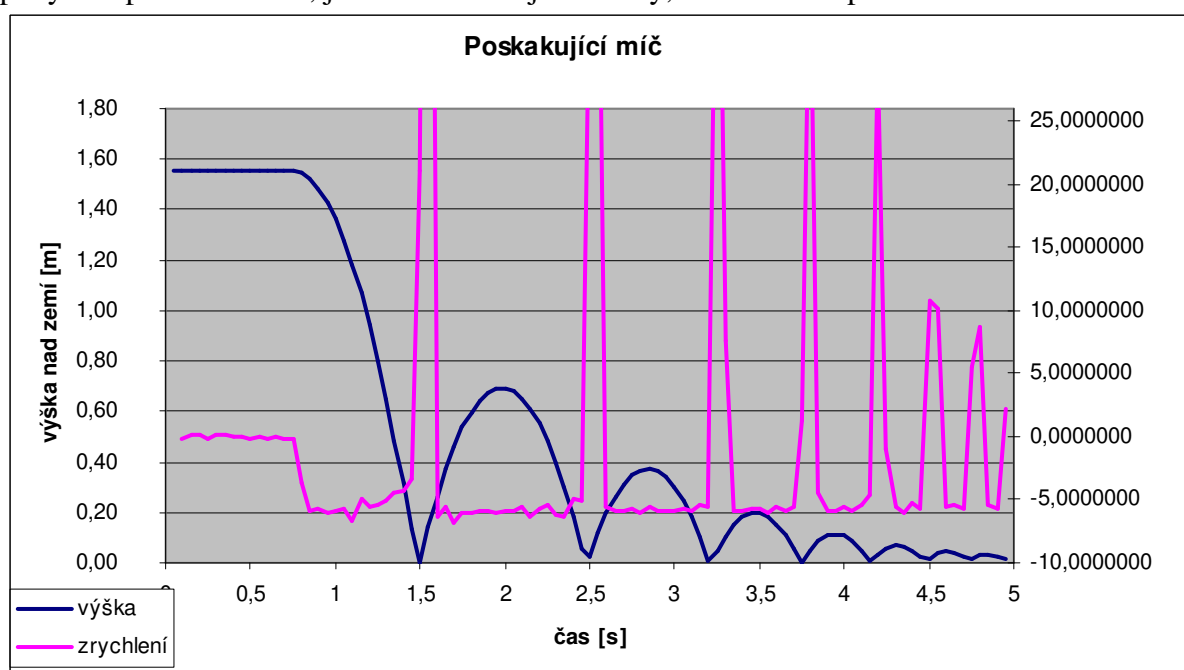
Předpoklady: 1204

⇒ 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 rychlost 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

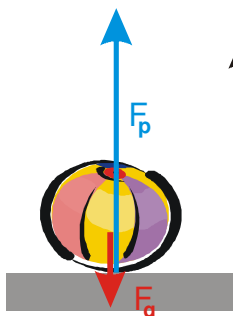


Na stoupající míč působí (při zanedbání odporu vzduchu) síly:

- F_g - gravitační síla Země

$\Rightarrow$ 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

$\Rightarrow$ 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 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 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 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.

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. Jde o skleněnou trubici, ze které je možné vyčerpát vzduch. Pokud je trubice plná vzduchu, padá kulička k zemi rychleji než pírko. Jakmile je vzduch z trubice vyčerpán, padají v ní kulička i pírko stejně rychle (se stejným zrychlením). Pokus je možné vidět na Youtube také v 2 epizodě seriálu Mechanical Universe v čase 5:00. Novější verzí je třeba zde <https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs> (časy 1:40 se vzduchem, 2:50 bez vzduchu).

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 vztlačková 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.