

# 3. Dynamika

Zabývá se příčinou pohybu (jak vzniká a jak se udržuje). Vše se odehrávalo na základě přesných pokusů, vše shrnul Isac Newton v díle „Matematické základy fyziky“. Z díla vyplývají 3 pohybové zákony.

## 3. 1. Zákon setrvačnosti

### 1. Newtonův zákon (zákon setrvačnosti)

Každé těleso setrvává v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, tak dlouho pokud není nuceno tento stav změnit působením vnější síly.

Tato síla může vzniknout působením jiného tělesa.

Ze zkušenosti víme, že žádné těleso se nedostane z klidu do pohybu samo od sebe.

Př. vůz je do pohybu uveden traktorem

### 3. 1. 1. Změna směru, rychlosti

Díky působení jiných těles můžeme rychlost tělesa zvětšit či zmenšit. Nemůže se to však dít samo od sebe.

Př: Rychlost střely se zmenšuje s odporem vzduchu (to je to jiné těleso).

Má-li vlak zvětšit svou rychlost, je k tomu třeba tažné síly lokomotivy (motor je to jiné těleso).

To samé platí i pro směr.

### 3. 1. 2. Setrvačnost

Vlastnost těles setrvávat v klidu nebo v pohybu a ve směru se nazývá **setrvačnost**.

Př. Pohyb v autě, v autobuse. Lidé v autobuse se nakloní dozadu, jakmile se vozidlo dá do pohybu. Lidé v autobuse se nakloní dopředu, začne-li autobus brzdit.

## 3. 2 Zákon síly

### 2. Newtonův zákon (zákon síly)

Velikost zrychlení hmotného bodu je přímo úměrná velikosti výslednice vnějších sil působících na hmotný bod a nepřímo úměrná jeho hmotnosti.

Obecné zjištění:

Lokomotiva, jejíž motor může vyvinout velkou tažnou sílu, uvede vlak do pohybu dříve než lokomotiva s malou tažnou silou. Větší síla udělí větší zrychlení (pokus houba).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Obecné odvození: } a \sim F \\ a \sim \frac{1}{m} \end{array} \right\} a = \frac{F}{m} \Rightarrow \text{Zákon síly}$$

**Zrychlení je přímo úměrné F a nepřímo úměrné m.**

### 3. 2. 1 Výpočet síly a stanovení jednotky newton

$$F = m \cdot a$$

$$[F] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ N}$$

**Slovně:**

1N je síla, která tělesu o hmotnosti 1 kg uděluje zrychlení  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Odchylky zákona se objevují u rychlostí  $300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 3. 2. 2 Důsledky zákona síly

**a) Dynamika rovnoměrně přímočarého pohybu** – pohybuje-li se těleso rovnoměrně přímočaře, je jeho rychlost konstantní. V tom případě platí toto:

$$a = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad F = a \cdot m \quad \Rightarrow F = 0 \text{ N}$$

Tento výsledek je ve shodě se zákonem setrvačnosti. Nepůsobí-li na těleso jiná tělesa silami, pohybuje se rovnoměrně přímočaře.

**b) Dynamika rovnoměrně zrychleného pohybu** – se děje s konstantním zrychlením  $a$ . Hmotnost  $m$  se při pohybu nemění.  $m = \text{konst.}$  pak

$$F = \text{konstantní}$$

Rovnoměrně zrychlený pohyb je působen konstantní silou.

**c) Dynamika volného pádu** - je rovnoměrně zrychleným pohybem s konstantním zrychlením, kterým padají všechna tělesa k Zemi.

Tíhová síla přitahuje všechna tělesa k Zemi. Ozn.  $F_G$

Podle 2. pohybového zákona působí na těleso o hmotnosti  $m$  tíhová síla:  $|\mathbf{F}_G| = G = m \cdot g$

Tíhová síla směřuje stejně jako tíhové zrychlení vždy svisle dolů.

### d) Dynamické měření hmotnosti

Pro zjištění hmotnosti tělesa nám stačí znát výslednici sil působící na těleso a pak změříme velikost jeho zrychlení.

**Využití v praxi:** určování hmotnosti malých (atomy) či naopak velmi hmotných těles (hvězdy)

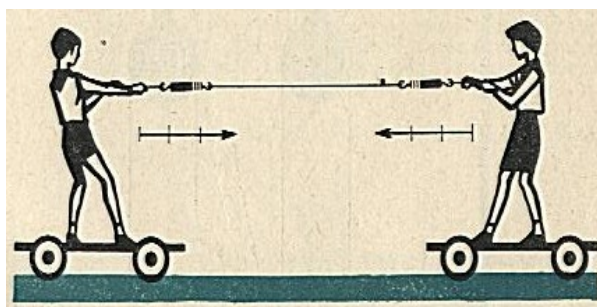
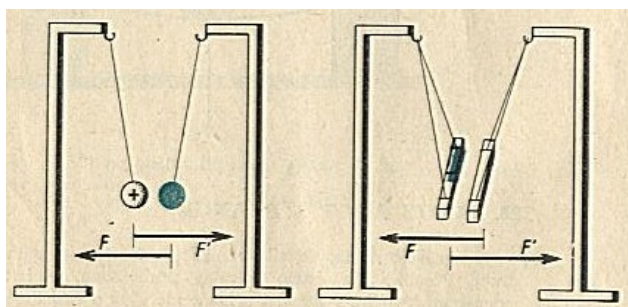
## 3. 3 Zákon akce a reakce

### 3. Newtonův zákon (Zákon akce a reakce)

Každá akce vyvolá reakci, která je stejně veliká, ale opačně orientovaná.

Každá z těch sil působí na jiné těleso.

Př: působení dvou siloměrů, působení dvou magnetek



### 3. 4 Řešení úloh v soustavě SI

Při výpočtu složitějších úloh vyjadřujeme nejprve dané veličiny v jednotkách soustavy SI. Počítáme-li správně fyzikální úlohu, musí vyjít správně i rozměr jednotky počítané veličiny. Proto jsou rozměry jednotek také kontrolou správnosti řešení úloh. Celý výpočet upravujeme přehledně, např. takto:

#### Zadání úlohy:

Automobil, který má hmotnost 2 t, se rozjíždí po dobu 20 s a nabude rychlosti  $54 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Jakou stálou sílu vyvíjel jeho motor? (Zanedbáváme tření a jiné odpory proti pohybu.)

### 3. 5 Hybnost tělesa a impuls síly

#### 3. 5. 1 Hybnost

V kinematice je stav tělesa určen hlavně rychlostí. V dynamice je pohybový stav určen nejen rychlostí tělesa, ale také jeho hmotností. Pro vyjádření pohybového stavu tělesa používáme fyzikální veličinu, hybnost.

#### Odvození:

Nechť na těleso o hmotnosti  $m$  působí síla  $F$  po dobu  $t$  a uvede jej z klidu do pohybu o rychlosti  $v$ .

Ze zákona síly a vztahu pro zrychlení vyplývá:

$$F = m \cdot a, \quad a = \frac{v}{t}, \quad F = m \cdot \frac{v}{t}$$

$$F \cdot t = m \cdot v$$

Rozbor rovnice:

Rychlost nezávisí na její velikosti ale i na době působení. I při veliké síle může těleso nabýt jen nepatrné rychlosti, působí-li síla po velmi krátkou dobu.

Př. úder

součin hmotnosti a rychlosti označíme hybnost  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ ;  $[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Je to hybnost hmotného bodu o hmotnosti 1 kg, který se pohybuje rychlostí o velikosti  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 3. 5. 2 Impuls síly

Součin síly a času označíme jako impuls síly  $\vec{I} = \vec{F} \cdot t$ ;  $[I] = N \cdot s$

Ve skutečnosti je to změna hybnosti za změnu času.

Vyjádření pomocí druhého pohybového zákona:

$$\vec{F} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

Vše platí za předpokladu, že hmotnost bude konstantní.

### 3. 6 Zákon zachování hybnosti

Uvažujeme dvě tělesa, která na sebe působí podle třetího pohybového zákona a nepůsobí na ně žádná jiná tělesa (izolovaná soustava).

Máme na kolejkách dva vozíčky.

Hybnost celé soustavy je:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Tělesa působí pomocí akce a reakce. První sílu označíme  $\vec{F}_1$ , druhou  $\vec{F}_2$  hybnost se mění v čase  $\Delta\vec{p}_1 = \vec{p}_1 - \vec{p}_{01}$ . Pro druhý vozíček:  $\Delta\vec{p}_2 = \vec{p}_2 - \vec{p}_{02}$ . Na počátku hybnosti  $\vec{p}_{01}$ ,  $\vec{p}_{02}$ . Za dobu  $t$  dojde ke změně hybnosti na  $\vec{p}_1$ ,  $\vec{p}_2$ . Podle 2. NZ píšeme:

$$\vec{F}_1 = \frac{\Delta\vec{p}_1}{\Delta t} \quad \vec{F}_2 = \frac{\Delta\vec{p}_2}{\Delta t}$$

pro síly platí  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ ,  $\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2$

hybnosti se rovnají

$$\vec{p}_1 - \vec{p}_{01} = -(\vec{p}_2 - \vec{p}_{02})$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{02} + \vec{p}_{01}$$

#### **Zákon zachování hybnosti**

Celková hybnost izolované soustavy těles se vzájemným působením těles nemění.

#### **V izolované soustavě platí zákon zachování hmotnosti:**

Celková hmotnost izolované soustavy těles je konstantní.

### 3.6.1 Důsledek zákona zachování hybnosti (ZZH)

Podívejme se, jak souvisí rychlost s hmotností ZZH?

Příklad:

Po vodorovných kolejích se pohybují dva vozíky. Vozík druhý je rychlejší než vozík první a pohybují se v téže směru. Při nárazu se oba vozíky spojí a dále se pohybují společně. Určete obecně jejich rychlost po srážce. Tření a odpor vzduchu neuvažujte.

Obrázek:

Postup řešení:

Velikost hybnosti obou vozíků před srážkou:  $p = p_1 + p_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$

Po srážce se oba vozíky pohybují rychlostí  $v$  a  $m = m_1 + m_2$

Velikost hybnosti  $p'$  po srážce je  $p' = (m_1 + m_2) \cdot v$

Podle ZZH se  $p = p'$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

Celková hmotnost izolované soustavy je konstantní.

Celková  $m =$  součet všech hmotností všech těles z nichž se soustava skládá.

### 3.6.2 Praktické využití

#### 1 izolovaná soustava zbraně a střely

Před výstřelem, kdy střelec opírá pušku o rameno je celková hybnost soustavy 0.

Při výstřelu vzniknou hořením střelného prachu plyny, které působí stejně velkými silami jednak na střelu, jednak na uzávěr pušky zbraně. Silami akce a reakce jsou uvedeny do pohybu opačnými směry a získají hybnost  $\vec{p}_1$  a  $\vec{p}_2$ .

soustava puška + střela (Celková hybnost soustavy se podle ZZH nemění, bude při výstřelu stejná jako před ním, nulová)

$$\begin{array}{ccc} \text{hm. střely} & \text{hm. pušky} & \\ \uparrow & \uparrow & \\ \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \vec{0} & & \end{array}$$

Hybnosti, které naberou zbraň i střela jsou stejně velké, ale op. směru a velikosti .

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}}$$

**Závěr:**

Velikosti rychlosti jsou v opačném poměru než jejich hmotnosti.

Rychlost zbraně je při výstřelu tolikrát menší než rychlost střely, kolikrát má zbraň větší hmotnost.

**Reálným důsledkem je, že střelec musí počítat se zpětným nárazem, a proto si zbraň opírá o rameno. Platí i pro tanky, děla atd.**

## 2 reaktivní pohon

U lodí otáčí motor šroubem. Při otáčení působí šroub tlakovou silou na vodu. Voda pak stejně velkou reaktivní silou působí na šroub a síla se přenáší a uvádí tím loď do pohybu. (vrtulová letadla to samé)

### 3.7 Inerciální soustava

Pro běžné pohyby probíhající na povrchu Země, či v její blízkosti předpokládejme vztažnou soustavu spojenou s povrchem Země za inerciální.

Přesvědčme se, že v soustavách, které se vzhledem k povrchu Země pohybují rovnoměrně přímočaře, probíhají všechny mechanické děje stejně jako na povrchu Země.

#### **Příklad:**

Cestující ve vlaku nebo na lodi, pokud nemá možnost pozorovat okolí, nemůže žádným mechanickým pokusem zjistit, zda se vztažná soustava spojená s vlakem nebo lodí pohybuje, jak velkou rychlostí a kterým směrem. Rovnoměrný přímočarý pohyb vztažné soustavy vzhledem k povrchu Země nerozliší pozorovatel uvnitř soustavy od klidu.

Vše vede k vyústění následujícího zákona:

#### **Galileiho princip relativity**

Zákony mechaniky jsou stejné ve všech inerciální vztažných soustavách. Rovnice, které je vyjadřují, mají stejný tvar.

### 3.8 Neinerciální vztažná soustava

Soustava, která se vzhledem k inerciální vztažné soustavě nepohybuje rovnoměrně přímočaře je neinerciální (pohyb zrychlený, zpomalený, otáčí se).

#### **Příklad neinerciální soustavy:**

Nejjednodušší neinerciální soustavu tvoří zrychlený přímočarý pohyb (konstantní zrychlení).

#### **Vše si vysvětlíme na následujícím příkladu:**

Sledujme pohyb izolovaného tělesa ve vztažné soustavě spojené s železničním vozem, který jede bez otřesů po přímé vodorovné trati. Model izolovaného tělesa vytvoříme pomocí kuličky umístěné na podlahu vagonu.

#### **Důsledky:**

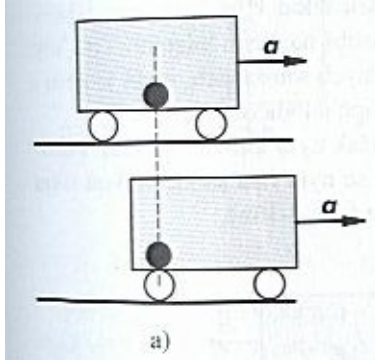
##### **1. Pohyb rovnoměrný**

Pohyb kuličky budeme sledovat z hlediska dvou pozorovatelů. Jeden bude v pohybujícím se voze a druhý vně vozu (tzn. v soustavě inerciální spojené s povrchem Země). Pojede-li vůz stálou rychlostí rovněž vytváří inerciální vztažnou soustavu.

Vzhledem k pozorovateli ve voze je kulička v klidu. Vzhledem k pozorovateli vně vozu se pohybuje rovnoměrně přímočaře spolu s vagonem. Pro oba platí, že kulička má nulové zrychlení a nepůsobí na ni žádná síla.

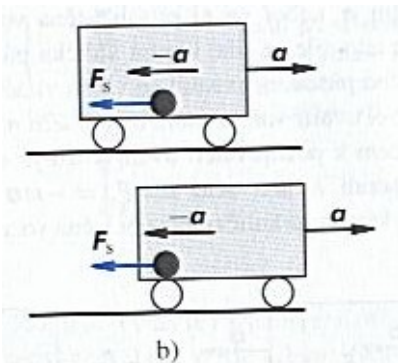
## 2. Pohyb zrychlený

### a) Pozorovatel vně vozu.



Pohyb vagonu změním na rovnoměrně zrychlený. Podlaha je dokonale hladká, takže mezi ní a kuličkou nepůsobí třecí síly (vzhledem k Zemi bude kulička setrvávat v rovnoměrném přímočarém pohybu). Pozorovatel vně vozu zjistí, že kulička má stálou rychlost, vůz se však pohybuje se zrychlením, proto se zadní stěna vozu přibližuje ke kuličce (obrázek a). Z hlediska pozorovatele v inerciální soustavě na kuličku nepůsobí žádná síla.

### b) Pozorovatel uvnitř vozu.



Pozorovatel uvnitř vozu zjistí, že se kulička dala do zrychleného pohybu směrem k zadní stěně vozu. (obrázek b). Zrychlení kuličky vzhledem k vagonu je stejně velké jako zrychlení a vagonu vzhledem k povrchu Země, má však opačný směr. Zrychlení kuličky vzhledem k vagonu je  $-a$ . Díky zrychlení jsme v neinerciální soustavě, usoudí, že na kuličku působí síla:

$$\vec{F}_s = -m \cdot \vec{a}$$

$\vec{F}_s$  - setrvačná síla - je to důsledek zrychleného pohybu,

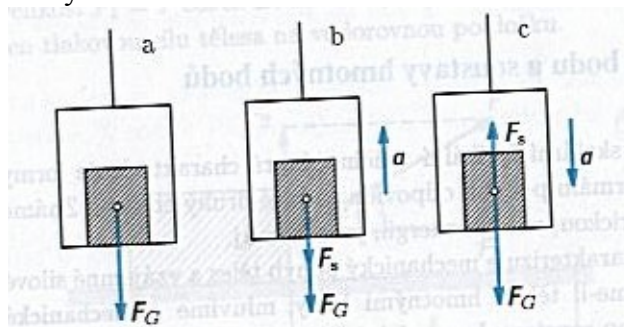
**vždy působí proti pohybu.** Není k této síle reakce, protože její původ není ve vzájemném působení kuličky s jinými tělesy.

### 3.8.1 Setrvačná síla ve výtahu

Uvažujme vztažnou sílu, která se pohybuje vzhledem k povrchu Země s konstantním zrychlením ve svislém směru.

#### Příklad:

Tomuto odpovídá kabina výtahu.



#### Vysvětlení obrázků + důsledky pro život:

##### a) Výtah stojí

Kabina je v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu (inerciální soustava). Na těleso o hmotnosti  $m$  působí jen tíhová síla  $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$ .

### b) Výtah jede nahoru

Pohybuje-li se kabina se zrychlením  $a$ , působí na těleso tyto síly: tíhová síla  $\vec{F}_G$  (směřuje dolů), setrvačná síla  $\vec{F}_s = -m \cdot \vec{a}$ .  $\vec{F}_s$  má opačný směr než zrychlení výtahu, a proto tato síla směřuje dolů. Nás zajímá velikost výsledné síly a ta je:

$$F = F_s + F_g = m \cdot a + m \cdot g = m(a + g)$$

V kabině vzniká přetížení. K největšímu přetížení dochází v kabině startujících kosmických lodí.

### c) Výtah jede dolů

Při zrychleném pohybu kabiny směrem dolů směřuje setrvačná síla nahoru a má opačný směr než tíhová síla. Výslednice sil má velikost:

$$F = F_G - F_s = m \cdot g - m \cdot a = m(g - a)$$

#### Speciální případ:

Pokud kabina padá volným pádem  $a = 10m \cdot s^{-2}$ , pak  $a = g \Rightarrow F = 0N \Rightarrow$  **těleso je v beztížném stavu.**

**Příklad:** V beztížném stavu může být krátkodobě výsadkář po výskoku z letadla před otevřením padáku.