

NEWTONOVY ZÁKONY

STRUČNÝ PRŮVODCE

1 Historický přehled

Formulaci Newtonových zákonů, které rozebereme v tomto stručném přehledu, lze chápat jako významný průlom v lidském chápání světa a zrod fyziky tak, jak k ní přistupujeme dodnes. Tyto počátky "moderní fyziky" sahají do období kolem roku 1600, kdy italský astronom *Galileo Galilei* (1564 - 1642) prováděl mimojiné experimenty související s **volným pádem** a pohybem těles v okolí Země obecně.

Mezi lety 1610 až 1620 pak k fyzikálnímu poznání významně přispěl německý astronom *Johannes Kepler* (1571 - 1630). Během svého působení v Praze učinil astronomická pozorování, která vedla k formulaci zákonů o pohybu planet kolem Slunce (o tzv. **Keplerových zákonech** si povíme více později).

V první polovině 17. století bylo tedy již poměrně dobře známo, jak se pohybují tělesa na Zemi nebo jakými zákonitostmi se řídí pohyb planet obíhajících kolem Slunce. Nebyla však známa souvislost mezi těmito pohyby a vcelku přirozeně převládal názor, že pohyby v blízkosti Země a mimo ni se řídí jinými zákonitostmi. Rozlišovala se tedy tzv. **pozemská** a **nebeská** mechanika.

Pro anglického fyzika a matematika *Isaaca Newtona* (1643 - 1727) se tato předchozí pozorování stala jakýmsi odrazovým můstkem k poměrně revoluční myšlence, že **pohyby na Zemi i mimo ni se řídí stejnými zákony**. Roku 1687 poprvé vydal své dílo *Matematické principy přírodní filosofie*, ve kterém uvedl tři zákony o síle a pohybu. Dnes je nazýváme **Newtonovy pohybové zákony**.

2 Síla

2.1 Hmotný bod

Připomeňme, že hmotným bodem rozumíme objekt, který má nekonečně malé rozměry a ze všech vlastností mu připisujeme pouze jeho **hmotnost**. V přírodě pochopitelně takové objekty neexistují, skutečná tělesa však můžeme chápat jako hmotné body, jestliže jejich rozměry a další vlastnosti v dané situaci nejsou podstatné.

2.2 Jaké účinky má síla působící na hmotný bod?

Jako sílu chápeme projevy **vzájemného** působení těles (interakce těles). Sílu měříme jednotkou zvanou Newton. Jde o tzv. vektorovou veličinu, kromě velikosti tedy rozlišujeme také směr a místo působení síly.

Z hlediska mechaniky může mít působení síly na hmotný bod následující účinky

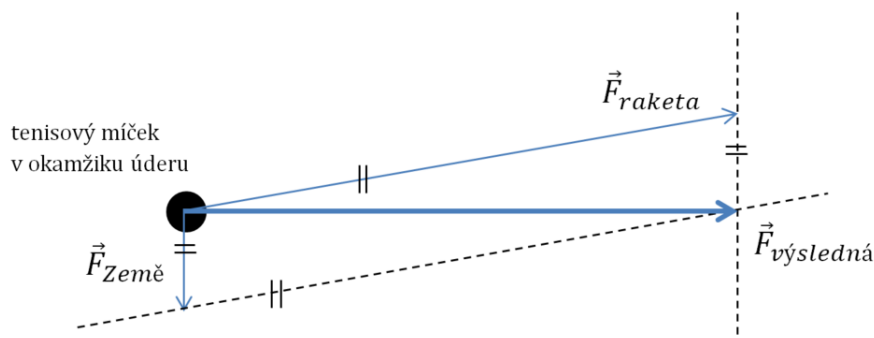
- uvedení hmotného bodu do pohybu, tedy jeho **urychlení**,
- zastavení pohybujícího se hmotného bodu, tedy jeho **zpomalení**.

Souhrnně můžeme říci, že

působení síly na hmotný bod má za následek změnu jeho rychlosti.

2.3 Skládání sil

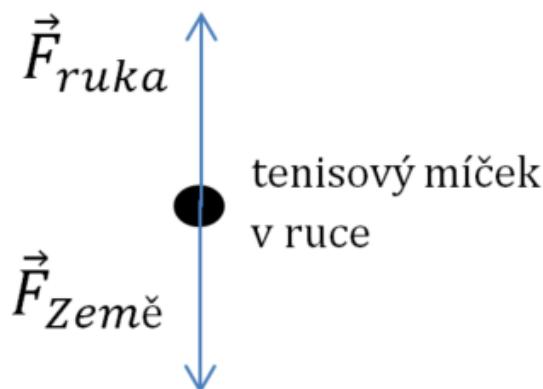
Protože je síla tzv. vektorová veličina, můžeme síly působící na **stejný** hmotný bod jako vektory sečíst. Naším hmotným bodem může být např. tenisový míček v okamžiku, kdy do něj uhodíme raketou. Na míček v tu chvíli působí významně dvě síly: síla, kterou míček přitahuje Země, a síla, kterou působí na míček tenisová raketa při úderu.



Obrázek 1: Složení sil působících na tenisový míček doplněním na rovnoběžník

Na situaci se můžeme dívat tak, že na tenisový míček nepůsobí dvě síly, nýbrž jejich součet, tedy jediná síla - $\vec{F}_{\text{výsledná}}$. Součet sil obvykle nazýváme **výslednice sil**.

Obdobně se můžeme podívat na situaci, kdy míček pouze držíme v ruce a nepohybujeme s ním. V tu chvíli na míček nejvýrazněji působí stejně velkými silami Země a ruka, která míček drží.



Obrázek 2: Působí-li na hmotný bod stejně velké síly opačného směru, rychlost hmotného bodu se nemění.

Protože součet stejně velkých sil opačného směru je nulový, míček se chová, jako by na něj síla nepůsobila. Nemění tedy svou rychlost a zůstává z pohledu člověka, který jej drží, v klidu.

3 První Newtonův zákon

První Newtonův zákon shrnuje výše uvedené úvahy.

Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, jestliže je součet sil, které na něj působí, nulový.

První Newtonův zákon se někdy také nazývá **zákon setrvačnosti**. Jinými slovy nám říká, že tělesa nemění svou rychlost (tedy setrvávají ve stálém pohybovém stavu), jestliže je výslednice sil, které na ně působí, nulová.

Na tomto místě je dobré připomenout, že to, zda je těleso v klidu nebo zda se pohybuje rovnoměrně přímočaře, **závisí pouze na tom, jaký pozorovatel pohyb popisuje**. Klid

a rovnoměrný přímočarý pohyb jsou z pohledu mechaniky rovnocenné. Toto pozorování se nazývá **Galileiho princip relativity**.

4 Inerciální a neinerciální vztažné soustavy

Jak je uvedeno výše, klid a rovnoměrný přímočarý pohyb jsou rovnocenné stavy a jejich rozlišení závisí pouze na volbě pozorovatele, ke kterému pohyb nebo klid vztahujeme. Tomuto pozorovateli častěji říkáme **vztažná soustava**.

Představme si nyní vlak přijíždějící k nástupišti a v něm telefon položený na stolku. Člověk, který stojí na nástupišti (tedy nezrychluje), pak pozoruje, že telefon při prudkém brždění vlaku ze stolku spadne. Jestliže tento pozorovatel zná první Newtonův zákon, nemůže jej pohyb telefonu překvapit. Na vlak působí síla, která způsobuje jeho zpomalení, telefon má však tendenci setrvat ve svém původním rovnoměrném pohybu, což má za následek jeho pád ze stolku.

Vztažné soustavy, které jsou v klidu nebo se pohybují rovnoměrně přímočaře, nazýváme **inerciální** (v angličtině *inertia* znamená setrvačnost). V inerciálních vztažných soustavách platí zákon setrvačnosti. Soustavu spojenou s člověkem stojícím na nástupišti můžeme považovat za inerciální.

*Poněkud odlišně se může jevit situace z pohledu majitele telefonu sedícího uvnitř vlaku. Předpokládejme, že takový pozorovatel je s vlakem pevně spojen, tedy zrychluje a zpomaluje spolu s ním. Při zpomalení vlaku pozoruje cestující pád svého telefonu na zem. Telefon z jeho pohledu změnil svůj pohybový stav, tedy **zrychlil**. Cestující rovněž zná zákon setrvačnosti, a tak pátrá po tělese, které svým silovým působením "shodilo" telefon ze stolku. Žádné takové těleso však ve vlaku nelze najít!*

Telefon ve zpomalujícím vlaku tedy z pohledu cestujícího mění svůj pohybový stav, ačkoliv k tomu není donucen působením jiných těles. Z pohledu pozorovatele, který zpomaluje, **neplatí zákon setrvačnosti!**

Ve vztažných soustavách, které se pohybují se zrychlením, neplatí zákon setrvačnosti. Takové vztažné soustavy nazýváme **neinerciální**, což můžeme po překladu do češtiny chápat jako "nesetrvačné". Pro úplnost dodejme, že mezi takové soustavy patří i soustavy, které se např. otáčejí.

5 Druhý Newtonův zákon

První Newtonův zákon říká, že nepůsobí-li síla, případně je-li součet sil působících na těleso nulový, těleso nezrychluje. Druhý Newtonův zákon nám pak říká, jak těleso (resp. hmotný bod) o hmotnosti m zrychluje, jestliže na něj působí nenulová síla $\vec{F}$. Tuto zákonitost, která se také jinak také nazývá **zákon síly**, můžeme napsat "úsporně" pomocí vzorce:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

kde $\vec{a}$ je zrychlení hmotného bodu, $\vec{F}$ je součet sil, které na hmotný bod působí a m je hmotnost hmotného bodu.

Druhý Newtonův zákon můžeme obdobně zapsat také pro **velikost zrychlení** a **velikost síly**, tj. "bez šipek":

$$a = \frac{F}{m}$$

Ačkoliv při prvním pohledu může rovnice vypadat poměrně záhadně, její slovní výklad dává dobrý smysl. Čím větší síla na těleso působí, tím větší je zrychlení tělesa. Strčíme-li např. do stojícího nákupního košíku, košík se začne pohybovat, tedy zrychlí. Pokud si dáme skutečně záležet a do košíku strčíme větší silou, košík zrychlí výrazněji.

Jiná situace však nastane, budeme-li chtít na parkovišti u supermarketu roztláčit stojící automobil. Automobil má oproti košíku větší hmotnost m . Strčíme-li do automobilu stejnou silou jako do nákupního košíku, bude jeho zrychlení nepochybně daleko menší. Druhý Newtonův zákon můžeme slovně zformulovat takto:

Velikost zrychlení hmotného bodu je přímo úměrná velikosti výslednice sil působících na hmotný bod a nepřímo úměrná hmotnosti hmotného bodu. Směr zrychlení je stejný jako směr výslednice působících sil.

5.1 Hmotnost

Všimněme si, že s uvedením 2. Newtonova zákona je potřeba začít se zabývat novou veličinou - hmotností. Právě tato vlastnost těles dává do souvislosti jejich zrychlení při silovém působení. Čím větší hmotnost těleso má, tím menší je jeho zrychlení při působení stálé síly $\vec{F}$.

Hmotnost můžeme chápat jako neochotu tělesa měnit svůj pohybový stav.

Veličina m vystupující ve druhém Newtonově zákonu se někdy nazývá **setrvačná hmotnost**, protože popisuje tendenci tělesa setrvat ve svém předchozím pohybovém stavu.

Výše zmíněný automobil má oproti nákupnímu košíku větší setrvačnost, neboť ke změně jeho pohybového stavu je zapotřebí působit větší silou.

6 Hybnost tělesa

V předchozí "kapitolce" jsme porovnávali obtížnost rozpohybování nákupního vozíku a automobilu s tím, že v obou situacích je síla potřebná k jejich rozpohybování výrazně odlišná, a to zejména díky jejich rozdílné hmotnosti. Stejně odlišná bude situace i v případě, kdy se nákupní košík a automobil budou pohybovat. Pohybující se košík můžeme snadno zastavit nastavením ruky nebo jiné části těla. U pohybujícího se automobilu však provedení takového pokusu nelze doporučit, a to ani pokud se automobil pohybuje nízkou rychlostí...

Z tohoto jednoduchého "myšlenkového pokusu" můžeme usoudit, že pohybový stav tělesa je určen nejen jeho rychlostí, ale také jeho hmotností. Z tohoto důvodu zavedeme novou veličinu, která bude zohledňovat jak rychlost tělesa $\vec{v}$, tak jeho hmotnost m . Takovou veličinu nazýváme **hybnost**, budeme ji značit písmenem p . Definujeme ji takto:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Jednotku hybnosti snadno odvodíme z definičního vztahu:

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

Protože je rychlost v vektorová veličina, je vektorem i hybnost p . **Hybnost tělesa má stejný směr jako jeho rychlost.**

Podobnou veličinu rozlišoval již v první polovině 17. století významný francouzský přírodovědec a filosof *René Descartes* (čti René Dekárt). Tuto veličnu nazýval **množství pohybu**. Ačkoliv je tato formulace z pohledu fyziky poměrně zvláštní, dává dobrý návod, jak hybnost můžeme chápat.

6.1 Co říká o hybnosti 2. Newtonův zákon?

Připomeňme, že 2. NZ můžeme zapsat takto:

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

Zrychlení ovšem není nic jiného, než změna rychlosti $\Delta\vec{v}$ za čas Δt . Tento vztah můžeme do 2. NZ dosadit:

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

Pokud se hmotnost m nemění (symbol Δ se jí tedy nijak netýká), můžeme napsat

$$m \cdot \Delta \vec{v} = \Delta(m \cdot \vec{v})$$

Výraz $m \cdot \vec{v}$ však není nic jiného než hybnost $\vec{p}$! Výraz $\Delta(m \cdot \vec{v})$ odpovídá změně hybnosti $\Delta \vec{p}$. Druhý Newtonův zákon můžeme zapsat pomocí změny hybnosti:

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

Převědeme-li všechny výrazy do čitatele:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Představme si opět pohybující se automobil. Jestliže jej chceme zastavit, musíme změnit jeho hybnost o Δp . K tomu je však potřeba, aby na automobil působila síla o velikosti F , která navíc musí působit jistou dobu, tedy Δt . Čím dříve chceme automobil zastavit, tj. zkrátit čas Δt , tím větší silou F je třeba působit.

7 Třetí Newtonův zákon

Abychom mohli vysvětlit další jevy spojené s pohybem těles, je třeba dodat k zákonu síly a setrvačnosti ještě třetí. Ten hovoří o tom, že silové působení těles je vždy **vzájemné**. Pokud budeme např. tláčit dlaní do stěny, pocítíme, že stěna tlačí na naši dlaň. Nemůže nastat situace, kdy jedno těleso bude působit na druhé silou a druhé přitom nebude působit na těleso první. Toto vzájemné silové působení má však zvláštní vlastnosti, které třetí Newtonův zákon (**zákon akce a reakce**) rovněž popisuje:

*Dvě tělesa na sebe **vždy** působí **stejně velkými silami opačného směru**. Tyto síly vznikají a zanikají současně.*

Tyto dvě síly nazýváme akce a reakce. Toto pojmenování může být poněkud zavádějící, protože ani jedna ze sil nemá nad druhou žádné výsadní postavení. Je tedy jedno, kterou ze sil pojmenujeme akce, resp. reakce. Na druhou stranu nám takové pojmenování připomíná, že pokud pozorujeme působení nějaké síly (akce), nevyhnutelně musíme očekávat také silové působení na těleso, které akci vyvolalo, tj. reakci.

Při pohledu na třetí Newtonův zákon nás může napadnout, že akce a reakce se navzájem "vynulují", protože jde o stejně velké síly opačného směru. Je však potřeba vzít v úvahu, že tyto dvě síly **působí na různá tělesa**! Takové síly a účinky proto nemůžeme "sčítat" jako kdyby působily na jediné těleso.