

### 1.2.3 1. Newtonův zákon

#### Předpoklady: 1202

**Pedagogická poznámka:** Hodina je poměrně obsáhá a vyžaduje svižné odvození zákona v první polovině. Vždy je potřeba nechat studentům čas, aby protestovali, pokud se jim odvození nelíbí a snažit se je přesvědčit. Zbytek hodinu pak můžete buď vynechat nebo přidat k hodině následující, která se tak protáhne na dvě.

Dnešní hodina je nejdůležitější v celé středoškolské fyzice. Ze dvou důvodů:

- Na dnešním problému ztroskotali i staří Řekové (možná proto, že o přírodě spíše jen přemýšleli a prováděli málo experimentů). Naopak jeho konečné vyřešení v druhé polovině 17. století pomohlo odstartovat raketový rozvoj vědy a techniky nejdříve v Evropě a později i ve zbytku světa. Bez Newtonových pohybových zákonů si není možné představit dnešní svět aut, letadel, televizí a počítačů.
- Výsledek, ke kterému dnes dojdeme, odporuje klasickým představám „selského rozumu“. Výsledek je sice logický, ale vyžaduje opravdové zamyšlení. Při řešení příkladů v této hodině pak budeme muset postupovat podle tohoto zákona a ne podle prvního odhadu. Výsledky, ke kterým dospějeme, se při logickém rozboru vždy ukáží správné, ale v prvním okamžiku přijdou většině nefyziků nesmyslné. Budeme se muset naučit dodržovat pravidla a nespoléhat se na první nápady.

Správné pochopení Newtonových zákonů představuje překročení fyzikálního Rubikonu mezi starověkem a moderní vědou. Nic na tom nemění skutečnost, že i velké většině gymnazistů se to nedaří a zůstávají na té starověké straně.

V předchozích hodinách fyziky jsme se naučili popisovat pohyb a ujasnili jsme si, co rozumíme pod pojmem síla. Protože víme, že pohyby kolem nás souvisí se silami, můžeme se nyní pokusit o přesné popsání této souvislosti.

Základní zkušenost s pohybem v běžném životě se dá shrnout asi takto: každá věc se pohybuje, dokud na ní působí nějaká síla. Co se stane, když zatlačíme do krabičky od sirek položené na stole?

Dokud budeme do krabičky tlačit pojede. Když tlačit přestaneme, krabička se zastaví.

Stejnou zkušenost získáme třeba při stěhování skříní a lidé z ní usoudili, že rychlost (pohyb) může existovat jenom tehdy, dokud na těleso působí síla. Představa, že k pohybu je nutná neustále působící síla, byla jedním ze základů do aristotelovské fyziky.

**Problém:** Pokud do krabičky cvrnkeme, krabička se začne pohybovat. Než se zastaví, pohybuje se chvíli i přes to, že už se jí nedotýkáme a žádnou silou na ní nepůsobíme  $\Rightarrow$  rozpor s představou, že pohyb může existovat jenom dokud na těleso působí síla.

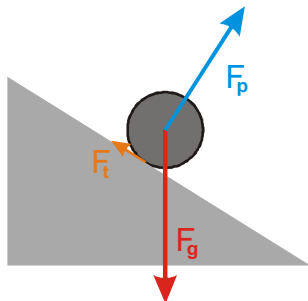
#### **Bližší průzkum situace:**

Vezmeme váleček (po počátečním impulsu se pohybuje déle než krabička) a pouštíme ho z nájezdu (tím zajistíme stejný počáteční pohyb).

Váleček se na šikmém nájezdu rozjede, na vodorovné ploše postupně zpomaluje až se zastaví.

**Pedagogická poznámka:** Pokus s válečkem je třeba opravdu provést. Nevyžaduje zvláštní vybavení a je přesvědčivý. Váleček používám místo kuličky, protože u něj není problém s dodržováním přímého směru.

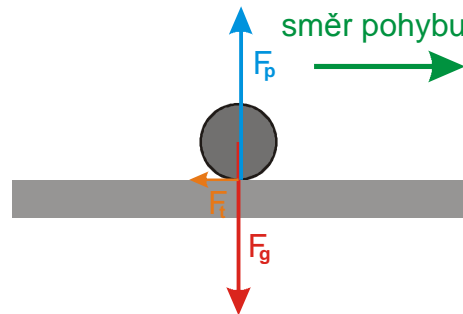
**Př. 1:** Nakresli obrázky válečku na nájezdu a na vodorovné rovině. Do obrázků dokresli síly, které na váleček působí.



Na váleček působí tři síly:

- gravitační  $F_g$
- síla od podložky  $F_p$
- třecí síla  $F_t$

Část gravitační síly ostatní síly přetlačí a stáhne váleček dolů.



Na váleček působí tři síly:

- gravitační  $F_g$
- síla od podložky  $F_p$
- třecí síla  $F_t$

Gravitační síla se odečte se silou podložky  $\Rightarrow$  výslednou silou působící na váleček je třecí síla.

**Pedagogická poznámka:** V tomto okamžiku neřešíme podrobnosti situace na nakloněné rovině. Závěr uvedený v příkladu přijde studentům přirozený a není nutné je o něm přesvědčovat.

Když se zamyslíme nad situací na vodorovné rovině, je to s aristotelovskou fyzikou ještě horší než před chvílí. Nejen, že se váleček pohybuje doprava a nepůsobí na něj v tomto směru žádná síla, on se pohybuje doprava i přes to, že na něj působí třecí síla opačným směrem.

Zformulujeme hypotézu: **Síla způsobuje změny pohybu.**

V našem pokusu s válečkem:

- Na nájezdu gravitační síla roztlačila nehybný váleček.
- Na vodorovné rovině třecí síla pohybující váleček zastavila.

**Př. 2:** Najdi v běžném životě další příklady, kdy síla způsobuje změnu pohybu.

Obrovské množství příkladů, například:

- Strčíme do stojícího předmětu, aby se pohyboval.
- Chytíme míč a při tom ho silou zastavíme.
- Tenisovou raketou odpálíme míček a obrátíme směr jeho rychlosti.
- Silou ruky zvedneme tašku vzhůru.

$\Rightarrow$  Víme, že síla způsobuje změny pohybu, ale nevíme zda je síla nutná i k pohybu samotnému.

Využijeme náš pokus s válečkem.

Během jízdy po vodorovné rovině působí na váleček pouze třecí síla  $\Rightarrow$  budeme měnit velikost třecí síly mezi válečkem a podložkou a sledovat, jak se mění pohyb válečku.

Najdeme si několik různých povrchů a pomocí siloměru a krabičky se přesvědčíme, jak se mění tření, kterým brzdí předměty, které se po nich pohybují.

Získáme například takovou posloupnost povrchů (od největšího tření k nejmenšímu): molitan, chlupatý koberec, méně chlupatý koberec, sololit, deska katedry.

**Pedagogická poznámka:** Opět není nutné studenty o pořadí povrchů podle velikosti tření přesvědčovat.

Váleček postupně pouštíme ze stále stejného nájezdu tak, aby se při vodorovné části pohybu, kutálel po různých površích.  $\Rightarrow$  **Při každém zmenšení třecí síly se prodlouží dráha, kterou váleček ujede než zastaví.**

Nemáme k dispozici lepší povrch než sklo  $\Rightarrow$  myšlenkový pokus:

- Pustili jsme kuličku po líně, zastavila se na určité dráze.
- Pustili jsme ji po skle, tím jsme snížili tření a ona dojela dál.
- Jak by se změnila dráha kuličky na kvalitnějším povrchu než je sklo? Dráha kuličky se opět zvětší.

Rozhodující okamžik:

Představme si, že budeme třecí sílu pořád zmenšovat  $\Rightarrow$  dráha, kterou urazí kulička, bude stále delší a delší.

Co se stane, když kuličku nebude brzdit žádné tření?

Dvě možnosti:

- Kulička i s nulovým třením na nějaké (třeba hodně dlouhé) dráze zastaví (to by ale znamenalo, že při zmenšení tření na polovinu se dráha nezvětší dvakrát).
- V okamžiku, kdy kuličku nebude nic brzdit, se kulička bude pohybovat pořád dál a dál až do nekonečna. Kulička, na kterou nepůsobí tření, nebude zpomalovat.

**Kulička, na kterou nepůsobí žádné síly, nebo výslednice působících sil je nulová, se pohybuje přímočaře stále stejnou rychlostí a nikdy se nezastaví.**

**Pedagogická poznámka:** Pokud budete argumentovat výše uvedeným způsobem, podaří se Vám studenty přesvědčit asi poměrně snadno. Tím je ovšem splněna pouze menší část úkolu, protože při řešení příkladů z praxe se většina studentů začne podvědomě vracet k aristotelovskému pojetí.

Proč je tento závěr tak obtížně přijatelný?

V našem okolí neexistují žádné předměty, na které by nepůsobily žádné síly. Na všechny předměty z naší zkušenosti působí třecí síla (nebo odpor vzduchu, nebo obojí). Proto když na ně přestaneme působit ve směru jejich pohybu, postupně zastaví.

**Náš závěr se netýká předmětů, se kterými se běžně setkáváme.**

K čemu je výsledek, který popisuje chování předmětů, se kterými se běžně nesetkáme?

Tímto výsledkem jsme pochopili, jakým způsobem se pohybují předměty v nejjednodušším možném případě (bez působení sil nebo s nulovou výslednicí)  $\Rightarrow$  máme větší šanci pochopit, jak se předměty chovají ve složitějších situacích (s nenulovou výslednicí).

### 1. Newtonův pohybový zákon:

**Těleso, na nějž působí síly, jejichž výslednice je nulová, se pohybuje rovnoměrně přímočaře nebo zůstává v klidu.**

#### Jiná formulace:

**Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit.**

**Př. 3:** Najdi předměty, které se dlouhodobě pohybují stále stejným způsobem, aniž by na ně působila síla ve směru jejich pohybu.

Například Měsíc se otáčí kolem Země po přibližně kruhové dráze, stále stejnou rychlostí. Ve směru jeho pohybu na něj nepůsobí žádná síla, protože gravitační síla od Země působí do její středu, kolmo k jeho dráze.

Podobně obíhá Země kolem Slunce, družice kolem Země.

Kosmické sondy pro průzkum vnějších částí sluneční soustavy se pohybují s vypnutými motory desítky let a dosud se nezastavily (jejich rychlost se však kvůli přitahování Slunce pomalu zmenšuje, přesto je Slunce už nikdy nezastaví).

**Při náledí** se chvilkově ocitáme v situacích, kdy nám příroda téměř doslovně demonstruje platnost 1. Newtonova zákona:

- Pokud jdeme, nemůže se ihned zastavit ani zatočit.
- Stojící auto se nemůže rozjet.
- Jedoucí auto nemůže zastavit ani zatočit.

Tření je velmi malé  $\Rightarrow$  výsledná síla, která na nás působí je velmi malá  $\Rightarrow$  setrváváme v rovnoměrném přímočarém pohybu nebo v klidu.

**Př. 4:** Najdi situace, ve kterých se kulička položená na vodorovné ploše sama od sebe rozjede (a neplatí pro ni 1. Newtonův zákon).

Například kulička na podlaze vlaku nebo za sedadly auta, se při rozjíždění, zpomalování a zatáčení rozjede.

Když se na všechny tyto pohyby kuličky podíváme pozorně, zjistíme, že se rozjede pouze vzhledem k autu (vlaku). Například, když se vlak začne z klidu rozjíždět, kulička se v něm rozjede dozadu. Z pohledu nástupiště se tedy snaží zůstat na místě (přesně, jak má podle 1. Newtonova zákona).  $\Rightarrow$  Existují dva druhy souřadných soustav:

- „Normální soustavy“, kde platí 1. Newtonův zákon (nástupiště, stojící vlak, vlak jedoucí rovnoměrně přímočaře), kterým říkáme **inerciální**.
- „Divné soustavy“, kde neplatí 1. Newtonův zákon (vlak jedoucí zrychleně, nebo projíždějící zatáčkou), kterým říkáme **neinerciální**.

$\Rightarrow$  **Všechny pokusy se budeme snažit popisovat z inerciálních vztažných soustav.**

**Dodatek:** Ve chvíli, kdy začneme uvažovat otáčení Země, přestává být nástupiště inerciální soustavou. Ve většině příkladů však otáčení Země hraje jen velmi malou roli.

**Pedagogická poznámka:** Další diskuse o inerciálních a neinerciálních soustavách nemá v tomto okamžiku smysl. Samotný 1. Newtonův zákon je pro studenty dostatečným problémem.

**„Vysokoškolská“ formulace 1. Newtonova zákona:**

**Izolované těleso se v inerciální souřadné soustavě pohybuje rovnoměrně přímočaře nebo je v klidu.**

**Př. 5:** Na základě předchozího formulace 1. Newtonova zákona, definuj izolované těleso.

Izolované těleso = těleso, na které nepůsobí žádné síly, nebo je výslednice působících sil nulová.

**Př. 6:** Rozhodni, které z následujících vět můžeme chápat jako další formulace 1. Newtonova zákona:

- a) „Je-li výslednice sil, které působí na těleso, nulová, nemění těleso svůj pohyb - pohybuje se rovnoměrně přímočaře nebo je v klidu.“
- b) „Pokud se těleso pohybuje rovnoměrně přímočaře, nepůsobí na něj žádná síla“.
- c) „Těleso, na které působí síla, nemůže zůstat v klidu“.
- d) „Síla je nutná ke změně pohybu (velikosti rychlosti nebo směru), ne k pohybu samotnému.“

a) „Je-li výslednice sil, které působí na těleso, nulová, nemění těleso svůj pohyb - pohybuje se rovnoměrně přímočaře nebo je v klidu.“

Jde o další formulaci 1. Newtonova zákona.

b) „Pokud se těleso pohybuje rovnoměrně přímočaře nepůsobí na něj žádná síla“.

Nejde o další formulaci 1. Newtonova zákona. Na rovnoměrně přímočaře se pohybující těleso síly působit mohou, ale musí mít nulovou výslednici.

c) „Těleso, na které působí síla, nemůže zůstat v klidu“.

Nejde o další formulaci 1. Newtonova zákona. Pokud je působících sil více a mají nulovou výslednici, těleso zůstane v klidu (například lavice postavená na zemi).

d) „Síla je nutná ke změně pohybu (velikosti rychlosti nebo směru) ne k pohybu samotnému.“

Jde o další formulaci 1. Newtonova zákona.

Pokud podle 1. Newtonova zákona těleso zůstává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, znamená to, že setrvává ve stále stejném pohybovém stavu  $\Rightarrow$  1. Newtonův zákon se často nazývá **zákon setrvačnosti**.

$\Rightarrow$  **Setrvačnost není síla, ale základní tendence všech hmotných předmětů, zachovávat svůj pohybový stav.**

**Př. 7:** Jak se projeví setrvačnost těles při jízdě autobusem v zatáčce nebo při brždění?

Brždění: pasažér si chce uchovat svůj pohybový stav  $\Rightarrow$  chce se pohybovat stále stejnou rychlostí dopředu  $\Rightarrow$  má pocit, že ho něco zvedá ze sedadla (stojící se musí držet).

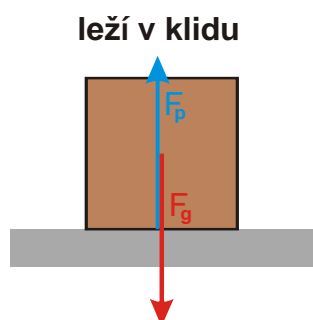
Zatáčení: pasažér si chce uchovat svůj pohybový stav  $\Rightarrow$  chce se pohybovat přímočaře  $\Rightarrow$  má pocit, že ho něco tlačí k ven ze zatáčky.

**Př. 8:** Proč se musí v automobilech používat bezpečnostní pásy?

Při nárazu automobil velmi rychle zabrzdí, ale cestující mají podle zákona setrvačnosti tendenci pokračovat v rovnoměrném přímočarém pohybu  $\Rightarrow$  proletí předním sklem a vyletí ven z automobilu.  $\Rightarrow$  Musí být připoutání pásy, které cestujícím dodají sílu potřebnou k tomu, aby zabrzdili s autem.

**Pedagogická poznámka:** K výpočtu síly, která je nutná k zabrždění cestujících se ještě dostaneme.

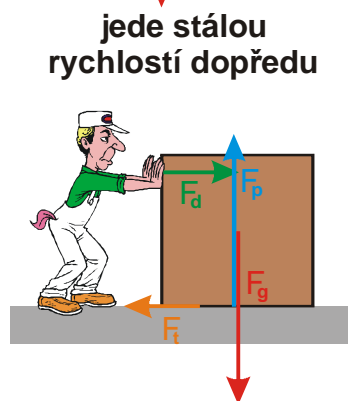
**Př. 9:** Vyznač do obrázků, jaké síly působí na bednu v jednotlivých situacích. Jaké jsou jejich výslednice?



Krabice stojí  $\Rightarrow$  výslednice působících sil musí být nulová. Na krabici působí:

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

Obě síly jsou stejně velké a navzájem se odečtou.

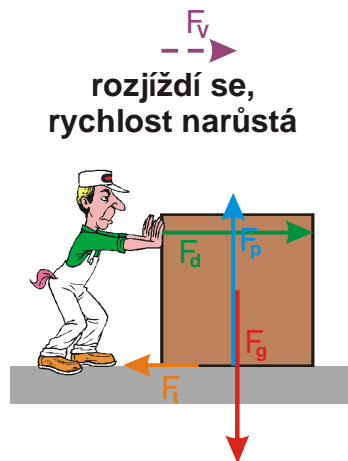


Krabice jede rovnoměrně  $\Rightarrow$  výslednice působících sil musí být nulová.

Na krabici působí:

- $F_g$  - gravitační síla Země,
- $F_p$  - síla podložky,
- $F_t$  - třecí síla mezi krabicí a podložkou,
- $F_d$  - síla dělníka, který krabici tlačí.

Dvojice sil stejného směru mají stejnou velikost a navzájem se odečtou.



Krabice zrychluje  $\Rightarrow$  výslednice působících sil musí být nenulová, ve směru zrychlování.

Na krabici působí:

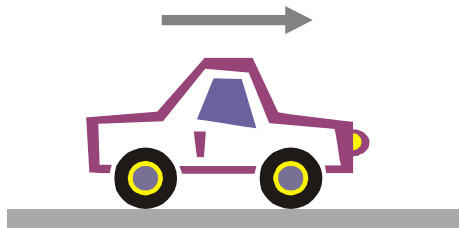
- $F_g$  - gravitační síla Země
- $F_p$  - síla podložky
- $F_t$  - třecí síla mezi krabicí a podložkou
- $F_d$  - síla dělníka, který krabici tlačí

Svislé síly mají stejnou velikost a navzájem se odečtou, síla  $F_d$  je větší než síla  $F_t$ .

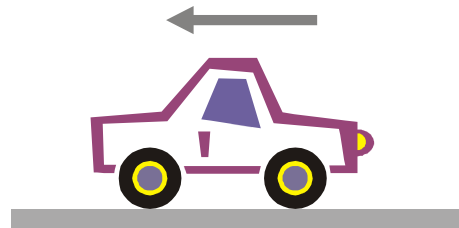
**Pedagogická poznámka:** Výslednice sil působí některým studentům problémy, protože ji motají dohromady s působícími silami jako další působící sílu. Proto kreslím výslednici vždy jako čárkovanou šipku.

**Př. 10:** Jaké síly působí na auto jedoucí stálou rychlostí po rovné silnici. Jaká je jejich výslednice?

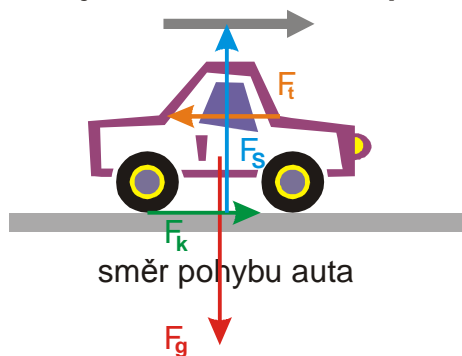
**auto jede rovnoměrně dopředu**



**auto rovnoměrně couvá**



**auto jede rovnoměrně dopředu**



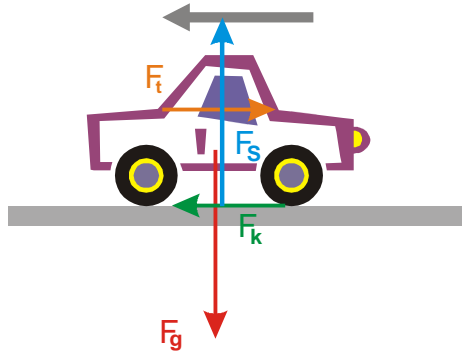
Auto jede rovnoměrně  $\Rightarrow$  výslednice působících sil musí být nulová.

Na auto působí:

- $F_g$  - gravitační síla Země
- $F_s$  - síla silnice
- $F_t$  - třecí síla a odpor vzduchu
- $F_k$  - síla kol, kterou se odstrkují od silnice a udržují auto v rovnoměrném pohybu.

Dvojice sil stejného směru mají stejnou velikost a navzájem se odečtou.

### auto rovnoměrně couvá



Auto jede rovnoměrně  $\Rightarrow$  výslednice působících sil musí být nulová.

Na auto působí:

- $F_g$  - gravitační síla Země
- $F_s$  - síla silnice
- $F_t$  - třecí síla a odpor vzduchu
- $F_k$  - síla kol, kterou se odstrkují od silnice a udržují auto v rovnoměrném pohybu

Dvojice sil stejného směru mají stejnou velikost a navzájem se odečtou.

**Pedagogická poznámka:** Některé studenty překvapuje, že oba obrázky jsou téměř stejné. Podrobnější diskusi o tom, která síla auto udržuje v pohybu necháváme na později.

**Pedagogická poznámka:** Cílem předchozích dvou příkladů je, aby se studenti naučili vycházet z rovnoměrnosti pohybu, ze které vyplývá nulovost výslednice a z té poměry velikostí jednotlivých sil. Jde o obrácený postup než studenti volí spontánně.

**Shrnutí:** Těleso, na které působí nulová výsledná síla, setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém.