

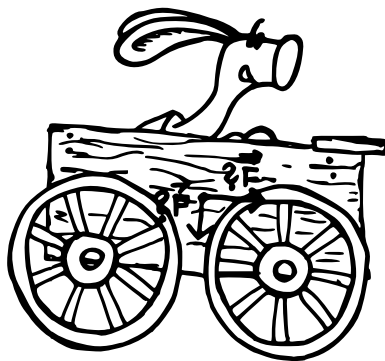


## Výfučení: Původ různých sil

S nejrůznějšími silovými působeními se setkáváme v každém okamžiku našeho života, aniž bychom si to třeba vůbec uvědomovali. Ze zkušenosti dobře víme, že gravitace nás drží pevně při zemi, ale už necítíme, že *silná jaderná síla* udržuje pohromadě protony a neutrony našeho těla. Když si chceme rozsvítit světlo, nestačí jen působit silou na vypínač, současně musí v elektrárně nějaká síla roztáčet turbíny, které vyrábějí elektřinu. Síly jsou velmi různorodé, ale zároveň mají mnoho společného. Pojďme se tedy na ně podívat blíže.

### O síle

Definice síly říká, že to je *vektorová* fyzikální veličina. Vektorovými nazýváme veličiny, u kterých nám nestačí znát pouze jejich velikost, ale musíme vědět i směr jejich působení. Když chceme znát třeba teplotu v místnosti, spokojíme se s údajem  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kdybychom ovšem věděli jen to, že na vozík působí síla o velikosti  $200\text{ N}$ , moc moudří bychom z toho nebyli. Začal by se vozík pohybovat vpřed, nebo vzad? Anebo by se mu promáčklo dno? Právě proto musíme vždy udávat nejen velikost síly, ale i její směr. V případě s vozíkem bychom mohli například tvrdit, že na vozík působí kolmo dolů síla o velikosti  $200\text{ N}$ .



U našeho vozíku ještě chvíli zůstaneme. Než jsme určili směr působení síly, váhali jsme nad variantami, zda se vozík začal pohybovat nebo jestli se mu promáčklo dno (změnil tvar). A takovou otázku si můžeme klást u jakéhokoli tělesa a jakékoli síly. Obecně totiž síly způsobují deformaci tělesa (tj. mění jeho tvar a objem) nebo změnu jeho pohybu (případně oboje).

Je třeba zdůraznit, že za změnu pohybu jsou zodpovědné právě síly, tzn. za zrychlení tělesa nebo změnu směru jeho pohybu. Z toho můžeme správně usoudit, že když se těleso pohybuje rovnoměrně přímočaře, žádná výsledná síla na něj nepůsobí.

## Dělení sil – provázek a zásuvka

Uvažujme dvě situace:

a) Máme kyvadlo v podobě kuličky zavěšené na provázku. Provázek přestříháme, takže se kulička dá do pohybu a spadne na zem.

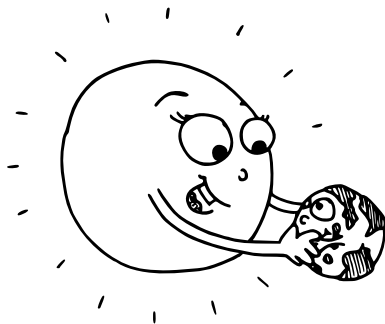
b) Chceme otevřít zásuvku ve stolu, proto chytíme její madlo a zatáhneme.

Oba tyto případy mají společnou vlastnost: způsobili jsme, že se kulička i zásuvka začaly pohybovat. Na druhou stranu ale mezi nimi najdeme i velký rozdíl. Zatímco kuličky jsme se nemuseli ani dotknout, zásuvku jsme museli držet po celou dobu jejího pohybu. Není to podivné?

Ukážeme si, že je to úplně normální :-). Zkoumejme působící síly. Na kuličku pověšenou na provázku působí směrem dolů tíhová síla Země, směrem vzhůru tahová síla provázku. Výslednice sil je nulová, a proto je kulička v klidu. Jakmile provázek přestříháme, zrušíme tahovou sílu. Tíhová síla potom způsobí změnu pohybu, tzn. uvede kuličku z klidu do rovnoměrně zrychleného pohybu.

Právě tíhová síla je typickým příkladem tzv. dalekodosahové síly. To znamená, že Země (jako původce tíhové síly) se kuličky nemusí ani dotknout, aby na ni silově působila. Podobných sil je více, další je třeba elektrostatická síla. Vysvětlení, jak mohou působit na dálku je složité,<sup>1</sup>. nám proto postačí jednoduché přiblížení.

Představme si, že Země má neviditelné ruce, kterými sahá na všechno ve svém okolí a přitahuje to k sobě. Oblast, kam všude dosáhnou, se nazývá *silové pole*. Čím více musí Země ruce natahovat (tzn. čím jsme dál od Země), tím je intenzita pole slabší. Moc dobře víme, že magnety se přitahují (odpuzují), pouze když se nachází blízko sebe. Když jsou dál, jejich vzájemná pole už nemají dostatečnou *intenzitu*. O intenzitě rozhoduje nejen vzdálenost, ale také hmotnost (resp. pro elektrické pole elektrický náboj) toho objektu, jehož „ruce“ pozorujeme.



<sup>1</sup>Zprostředkovateli těchto sil jsou částice. U elektromagnetické hovoříme o fotonu, u gravitační o tzv. gravitonu, jehož existence se však zatím pouze předpokládá

### Tíhová síla

Mezi dalekodosahové síly patří například síla gravitační a síla tíhová. Většina si myslí, že to jsou pouze dva názvy pro stejnou sílu. Avšak pravda je jiná, neboť každý název vyjadřuje něco odlišného.

Gravitační síla působí mezi všemi hmotnými tělesy, způsobuje jejich vzájemné přitahování. Patrná je ale teprve u těles o velké hmotnosti (Slunce působí na Zemi nebo Země působí na Měsíc). To je zřejmé nejen z naší zkušenosti, ale také ze vztahu pro výpočet gravitační síly

$$F_G = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

kde  $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  je Newtonova gravitační konstanta,  $m_1$  a  $m_2$  hmotnosti těles, která na sebe působí, a  $r$  jejich vzájemná vzdálenost.<sup>2</sup>

A co je potom ta tíhová síla? Musíme si uvědomit, že Země rotuje kolem své osy. Proto na všechna tělesa na Zemi působí nejen gravitační síla směřující do středu Země, ale také síla odstředivá  $F_{\text{od}}$ , o které si přečtete níže. Ta směřuje kolmo od osy otáčení. Tíhová síla je proto součtem vektorů gravitační a odstředivé síly, tzn.  $\mathbf{F}_g = \mathbf{F}_G + \mathbf{F}_{\text{od}}$ . Tíhová síla na rozdíl od gravitační síly Země nesměruje do středu Země, ale je kolmá k povrchu.<sup>3</sup> Velikost tíhové síly závisí na vzdálenosti od osy otáčení a tedy na zeměpisné šířce: na rovníku bude tíhová síla nejmenší a na pólech největší.

Nyní se vraťme k naší zásuvce. Abychom ji otevřeli, museli jsme působit tahovou silou na její madlo. Tahová síla patří mezi tzv. kontaktní síly. Tyto síly nemají žádné pole, působí na tělesa pouze v místech dotyku s nimi. Další kontaktní silou je třeba tlaková síla, která působí například mezi tělesem a podložkou, na které stojí (právě díky této síle, kterou na nás působí podlaha nebo země, se nikam nepropadneme).

### Tření

Příkladem typické kontaktní síly je smykové tření. Tření je fyzikální jev vznikající mezi pevnými tělesy při jejich vzájemném pohybu. Práce potřebná k překonání třecí síly se mění většinou v teplo – dobře víme, že když nám mrznou ruce, můžeme si je efektivně zahřát třením jedné o druhou.

Důležité je uvědomit si, že tření je doprovázeno silami, které působí v opačném směru, než v jakém se těleso pohybuje. Velikost třecí síly  $F_t$  můžeme matematicky popsat vzorcem  $F_t = f F_n$ , kde  $F_n$  je *normálová* síla: to je síla, kterou těleso působí *kolmo* na podklad a  $f$ , což je součinitel smykového tření.

Tření můžeme rozdělit na tzv. dynamické a statické. Dynamické tření vzniká mezi dvěma tělesy, které se vůči sobě pohybují, například auto na silnici. Statické tření vzniká mezi tělesy, které jsou vůči sobě zatím v klidu, ale „snaží“ se posunout.

Představme si bednu, kterou chceme tlačit před sebou. Abychom ji uvedli do pohybu musíme na ni působit takovou silou, která bude mít větší velikost než velikost klidového tření. Když se však bedna pohne, najednou je jednodušší s ní pohybovat a nemusíme vyvinout tak velkou sílu jako předtím. Je to způsobeno tím, že velikost součinitele dynamického tření  $f$  je (většinou) menší než velikost součinitele statického tření  $f_0$ .

<sup>2</sup>Všimněte si, že tento vzorec přesně odpovídá obecnému popisu dalekodosahových sil, který jsme si uvedli výše.

<sup>3</sup>A není to ten samý směr? Není – právě odstředivá síla způsobuje, že Země není dokonalá koule.

Síly tedy lze rozdělit na dvě velké skupiny podle způsobu působení na okolní tělesa. Po-  
díváme-li se ale na kontaktní síly pod silným mikroskopem, i ty můžeme zařadit do skupiny  
dalekodosahových. Vzpomínaná tahová i tlaková síla jsou totiž projevem silového působení mezi  
jednotlivými částicemi tělesa, které se přitahují nebo odpuzují elektromagnetickou silou. A jak  
už víme, tato síla patří mezi dalekodosahové.

### Setrvačné síly

Představte si, že jedete v autě konstantní rychlostí po rovné silnici. Tudíž výslednice sil, které  
na vás působí, je nulová. Najednou auto prudce zabrzdí, což vás vyhodí vpřed. Váš pohyb se  
tedy změní, z čehož vyplývá, že na vás musí působit nějaká síla. Je tato síla dalekodosahová  
nebo kontaktní? Dalekodosahová zřejmě ne, když působí pouze na tělesa v autě a třeba na  
stromy okolo silnice žádný vliv nemá. Ale kontaktní přece také není, když se vás nedotýká nic,  
co by vás posunulo dopředu. Tak co to tedy je za sílu?

Tuto a ji podobné síly nazýváme zdánlivými silami, protože její původ nemůžeme fyzikálně  
vysvětlit. Popsanému jevu se říká setrvačnost. Je to vlastnost všech hmotných těles, které se  
snaží setrvat ve stejném pohybovém stavu. Tento poznatek zformuloval Isaac Newton a dnes  
tuto formulaci nazýváme první Newtonův zákon neboli zákon setrvačnosti.

Za normálních podmínek na Zemi se těleso vždy zastaví, protože zde působí vnější síly,  
například odpor vzduchu či vody nebo tření o podložku. Docílit toho, aby na těleso nepůsobily  
žádné vnější síly se dá například ve vesmíru daleko od jiných těles (proto například vesmírné  
sondy nemusí mít celou dobu zapnuté motory, sondy setravávají ve stejném směru a se stejnou  
rychlostí jako předtím, než byly motory vypnuty). S projevy setrvačnosti musíme počítat hlavně  
při rychlých pohybech nebo při pohybech velmi hmotných těles.

Navíc se setrvačností se setkáváme denně, v autobuse, kdy se autobus rozjede, ale naše tělo  
má tendenci zůstat v klidu, a tak padáme dozadu. Při rychlém zastavení by naše tělo chtělo  
zůstat v pohybu, a proto padáme dopředu. Kvůli setrvačnosti musí rychle jedoucí vlak brzdit  
daleko před stanicí, čím je vlak těžší, tím je „náročnější“ jej zastavit – setrvačnost je přímo  
úměrná hmotnosti tělesa.

### Dostředivá síla

Vezměme si kuličku upevněnou na provázku, kterou roztočíme nad hlavou. Směr kuličky se  
neustále mění – a jak jsme si již řekli, změnu směru pohybu zajišťuje nějaká síla. Zde ji nazýváme  
*dostředivou* silou, která směřuje do středu kružnice,<sup>4</sup> kterou kulička opisuje. Velikost této síly  
ovlivňuje hmotnost a rychlost kuličky a poloměr kružnice podle vztahu

$$F = m \frac{v^2}{r} .$$

Dostředivá síla kuličku stáčí a vyvolává jako reakci zdánlivou odstředivou sílu, která napíná  
nit. Kdybychom na kuličce seděli, právě tato odstředivá síla by nás tlačila směrem ven, stejně  
jako na kolotoči. Zanikne-li dostředivá síla (např. přetržením vlákna), zanikne zároveň i síla

<sup>4</sup>Obecněji je její směr kolmý na směr okamžité rychlosti.

odstředivá a kulička se bude pohybovat rovnoměrně přímočaře ve směru rychlosti, který měla v okamžiku zániku obou sil.

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.