

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Jaroslav Reichl

Síla a Newtonovy zákony

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 94 (2019), No. 2, 32–45

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/148005>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2019

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Síla a Newtonovy zákony

*Jaroslav Reichl, Praha*

**Abstrakt.** Článek popisuje možný způsob zavedení fyzikální veličiny síla a následné vyslovení Newtonových pohybových zákonů v rámci středoškolské fyziky. Metodika popsaná v článku vychází z bohatých zkušeností autora se středoškolskými žáky i učiteli. Následně jsou v článku prezentovány kvalitativní úlohy, které (opět na základě zkušeností autora článku) dělávají problémy jak žákům, tak učitelům. Obě tyto skupiny čtenářů v článku tedy mohou najít inspiraci.

### Motivace

Chceme-li zvednout ze stolu mobilní telefon, musíme na telefon působit určitou silou. Jestliže chceme stisknout klávesu na klávesnici počítače (nebo určité místo na displeji mobilního telefonu), musíme na příslušnou klávesu (resp. místo na displeji) působit určitou silou. Jestliže nám spadne mobilní telefon na podlahu, působí na něj podlaha při dopadu určitou silou, což může vést k poškození displeje (poškrábání, prasknutí).

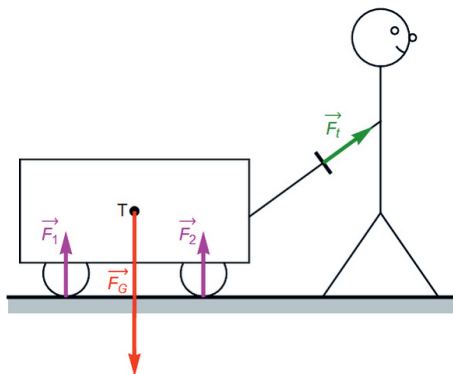
Z těchto konkrétních případů, které známe všichni, kdo používáme v 21. století moderní zařízení, je zřejmé, že pojem síla je skutečně důležitý. Také je zřejmé, že se nejedná jen o nezáživnou školní látku, ale o praktickou veličinu, které je vhodné rozumět. Bez ohledu na platné školní dokumenty, které učitelům radí a nařizují, co a jak mají učit, by pojmu síla měl rozumět na solidní úrovni každý středoškolák.

### Síla

Studiem silových účinků na různá tělesa se zabýval anglický fyzik, matematik, astronom a alchymista Isaac Newton (1643–1727). V roce 1687 vydal své stěžejní dílo *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, ve kterém shrnul své poznatky z dynamiky (část mechaniky zkoumající příčiny pohybu, kterými je právě působící síla) a infinitezimálního počtu (základy diferenciálního a integrálního počtu) nutného pro přesnější popis studovaných fyzikálních jevů.

Dříve než budou uvedeny Newtonovy zákony, je nutné pochopit pojem síla. Jedná se o vektorovou fyzikální veličinu, k jejímuž plnému popisu je nutné znát její působišť, směr a velikost. Tak např. na vozík zobrazený

na obr. 1 působí tíhová síla  $F_G$  svisle dolů v těžišti vozíku, tahová síla  $F_t$ , kterou je vozík tažen, svírá s vodorovnou podložkou jistý nenulový úhel a působí na konci oje vozíku a také síly  $F_1$  a  $F_2$ , kterými na vozík působí silnice a které působí v místě dotyku kol vozíku a silnice.



Obr. 1

Právě uvedený detailní rozpis je uveden proto, aby bylo zřejmé, že *síla je projevem vzájemného působení dvou těles* (vozík a Země, vozík a ruka, vozík a silnice). To znamená, že kdykoliv chceme mluvit o síle nebo sílu zakreslovat do obrázku, je nutné znát dvě tělesa („dva parťáky“), mezi kterými daná síla působí. Pokud si tuto skutečnost uvědomíme, stane se vyšetřování silového působení těles snadnější úlohou.

## Newtonovy zákony

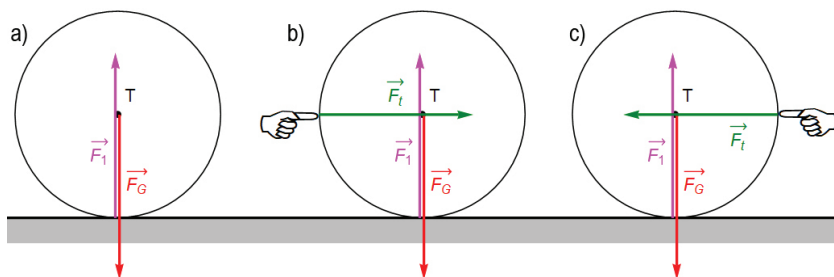
Souvislost síly s pohybem tělesa lze odvodit na příkladu míčku, který je položen na hladkém vodorovném stole. Tuto situaci lze sledovat v tomto textu teoreticky, ale popisované situace lze též snadno realizovat experimentálně.

Na míček působí Země tíhovou silou  $F_G$ , která ovšem míček na vodorovném stole do pohybu neuvede. Stejně tak jej do pohybu neuvede síla  $F_1$ , kterou na míček působí stůl (viz obr. 2a)). (Uvažované dvě síly leží na téže přímce – na obrázku jsou od sebe mírně posunuty, aby byly obě dobře patrné.) Výsledná síla působící na míček je tedy v tomto případě nulová a míček je v klidu.

Abyste se míček začal po stole pohybovat, musí na něj zapůsobit (v nejjednodušším případě vodorovná) síla – např. tlaková síla ruky  $F_t$  (viz obr. 2b)). Pokud chceme míček pohybující se po stole zastavit, musíme

na něj působit opět určitou silou. Tato síla musí mířit proti směru pohybu míčku (viz obr. 2c)). Pokud bychom míček nezastavili, tak by se pohyboval po stole poměrně dlouho. V případě, že by na míček nepůsobily žádné odporové a třecí síly (což se v běžných podmínkách realizuje velmi špatně), pohyboval by se stále stejnou rychlostí (míček by tedy nezrychloval, ani nezpomaloval a pohyboval by se stále stejným směrem).

Stejně tak na míček musí působit síla, pokud má míček změnit směr pohybu – např. hodíme-li míček proti zdi. Při dopadu míčku na zeď působí zeď na míček určitou silou a míček změní směr svého pohybu (bez ohledu na to, pod jakým úhlem na zeď dopadl).



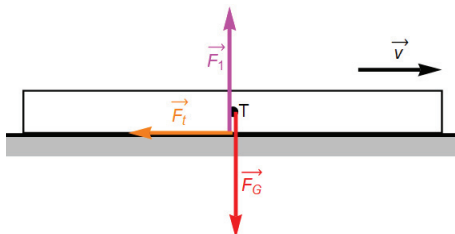
Obr. 2

Na základě této situace můžeme vyslovit znění *prvního Newtonova zákona – zákona setrvačnosti*: Nepůsobí-li na těleso žádná síla nebo jsou-li síly působící na těleso vzájemně vykompenzovány, pohybuje se těleso rovnoměrně přímočaře, nebo je v klidu.

Je důležité si uvědomit, že obě charakteristiky pohybu – rovnoměrný a přímočarý – jsou důležité; těleso prostě nesmí zrychlovat, ani zpomalovat. V předchozím příkladu se míček pohyboval rovnoměrně (při zanedbání odporových a třecích sil) mezi uvedením do pohybu a jeho zastavením. Častou námitkou žáků je, že v praxi 1. Newtonův zákon neplatí: pokud uvedeme do pohybu např. mobilní telefon ležící na stole s ubrusem, velmi rychle se zastaví. Ano, to je pravda. Ale telefon se zastaví proto, že na něj na ubrusu působila proti směru jeho pohybu poměrně velká třecí síla  $F_t$  (viz obr. 3). Nebyl tak splněn předpoklad uvedený ve znění 1. Newtonova zákona. Proto telefon zpomaluje, až se nakonec zastaví. (Zobrazené síly  $F_G$  a  $F_1$  leží na stejné přímce; pro lepší přehlednost obrázku byly záměrně navzájem mírně posunuty.)

Pokud si nyní představíme, že budeme chtít uvést do pohybu nejdříve prázdný vozík (zobrazený na obr. 1) a poté za jinak stejných podmí-

nek (dosažení stejné velikosti rychlosti za stejný čas jako u prázdného vozíku) tentýž vozík naložený těžkým nákladem, bude se při působení stejně velké tahové síly vozík pohybovat v uvedených situacích různě. Je zřejmé, že těžší vozík se bude uvádět do pohybu hůře – bude se rozjíždět pomaleji. To znamená, že se bude rozjíždět s menším zrychlením.



Obr. 3

Pokud by na vozík zobrazený na obr. 1 působili po řadě dva různě silní chlapci, uvedl by vozík snáze do pohybu ten chlapec, který dokáže vyvinout větší sílu. Tento chlapec by tedy udělil vozíku působením větší síly větší zrychlení.

Tyto poznatky lze shrnout ve formulaci *druhého Newtonova zákona – zákona síly*: Stálá síla  $F$  působící na těleso o hmotnosti  $m$  uvádí toto těleso do rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením  $a$ ; přitom platí

$$F = ma.$$

Z uvedené formulace je zřejmé, že se jedná o jedinou sílu, v případě více sil působících na totéž těleso výslednici těchto sil.

Různé situace dokumentující platnost zejména druhého Newtonova zákona budou uvedeny v následující kapitole. Předtím je ovšem důležité si uvědomit několik důležitých faktů.

Prvním z nich je skutečnost, že směr síly a směr zrychlení, které tato síla uděluje tělesu, jsou stejné. Bylo by velmi absurdní tlačít vozík směrem dopředu a ten by se začal rozjíždět směrem vzad. Ač to zní jako zřejmá věc, při zakreslování sil působících na různá tělesa tento poznatek občas zůstává pozapomenut.

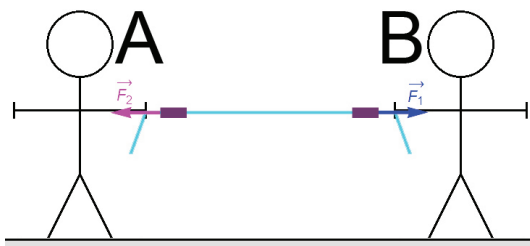
Druhým faktem, který je uveden přímo ve znění 2. Newtonova zákona, je souvislost síly a zrychlení. Familiárně lze 2. Newtonův zákon vyjádřit ve znění „Když síla, tak zrychlení!“ O rychlosti není ve znění zákona síly ani slovo! Souvislost síly a rychlosti se velmi často mylně vyskytuje v řadě nejen žákovských úvah při řešení úloh z dynamiky. Příčinou je

patrně skutečnost, že zapomínáme při rozkreslování sil na 1. Newtonův zákon, který vlastně říká, že klidový stav tělesa a rovnoměrný přímočarý pohyb (tj. pohyb s nulovým zrychlením) je z hlediska dynamiky stejný. V obou případech na těleso působí nulová síla (případně výslednice sil na těleso působících je nulová).

Před vyslovením třetího Newtonova zákona uvažujme (nebo zkuste sami provést) experiment, který je zobrazen na obr. 4. Dva kluci stojí na podlaze a v ruce mají provázek, ke kterému jsou přivázané dva siloměry (reprezentované na obr. 4 tmavými obdélníky). Nyní kluci provázek napnou postupně třemi způsoby:

- táhne kluk A;
- táhne kluk B;
- táhnou oba kluci.

Není podstatné, zda budou velikosti sil ve všech třech případech stejné. Podstatné je, že při každém způsobu napínání provázku ukážou oba siloměry stejné velikosti sil. Další síly, které nemají v tomto případě zásadní vliv na výklad, nejsou v obrázku pro přehlednost zakresleny.



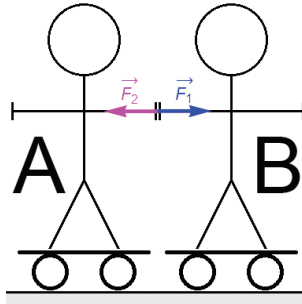
Obr. 4

Další situace, kterou budeme studovat (ideálně i experimentálně zkoušet), je situace zobrazená na obr. 5. Dva kluci stojící těsně u sebe každý na svém skateboardu na vodorovné podlaze mají stejnou hmotnost. Kluci se od sebe nyní odstrčí, což lze provést třemi způsoby:

- kluk A se odstrčí od kluka B;
- kluk B se odstrčí od kluka A;
- kluci se od sebe odstrčí navzájem.

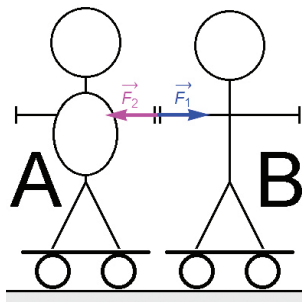
Bez ohledu na to, jak se kluci uvedou do pohybu, budeme pozorovat, že oba urazí do zastavení stejnou dráhu za tutéž dobu. To znamená, že po uvedení do pohybu vyjeli stejně velkou počáteční rychlostí, což při daných parametrech experimentu znamená, že se pohybovali oba se stejně velkým zrychlením. Z druhého Newtonova zákona tedy plyne, že oba

kluci na sebe navzájem působili stejně velkými silami opačného směru. Tyto síly jsou zobrazeny na obr. 5 (na kterém nejsou kvůli přehlednosti zakresleny síly tíhové a síly podlahy působící na oba kluky): silou  $F_1$  působí kluk A na kluka B a silou  $F_2$  působí kluk B na kluka A. Fakt, že obě síly mají stejnou velikost, lze vysvětlit i situací zobrazenou na obr. 4. Ačkoliv kluci jednou působí tahem (situace zobrazená na obr. 4) a podruhé tlakem (situace zobrazená na obr. 5), jsou situace analogické.



Obr. 5

Pro úplnost můžeme ještě provést (nebo alespoň teoreticky rozebrat) situaci zobrazenou schematicky na obr. 6. V tomto případě má kluk A větší hmotnost než kluk B. Po uvedení do pohybu jedním z výše uvedených způsobů budeme pozorovat, že kluk A urazí za stejný čas kratší vzdálenost, než urazí kluk B. To vyplývá z toho, že se po uvedení do pohybu pohyboval s menším zrychlením. Síly  $F_1$  a  $F_2$ , kterými na sebe kluci působí, přitom mají stejné velikosti; to vyplývá z experimentu schematicky zobrazeného na obr. 4.



Obr. 6

Na základě uvedených situací lze vyslovit znění *třetího Newtonova zákona – zákona akce a reakce*:

Každá dvě tělesa na sebe vzájemně působí stejně velkými silami opačného směru. Jedné ze sil se říká akce, druhé reakce. Síly akce a reakce současně vznikají a současně zanikají.

V uvedeném znění je podstatné, že „dvě tělesa vzájemně na sebe“ působí silami. Tento fakt byl zdůrazněn i u situací zobrazených na obr. 4 až obr. 6: síly akce a reakce totiž působí KAŽDÁ NA JINÉ TĚLESO (silou  $F_1$  kluk A na kluka B a silou  $F_2$  kluk B na kluka A), A PROTO TYTO SÍLY NELZE SKLÁDAT (sčítat ani odčítat). To je velmi častá chyba, která pak vede k mylným závěrům ohledně pohybového stavu těles.

Která ze sil se bude nazývat akce a která reakce, není důležité. Na situaci VZÁJEMNÉHO působení těles lze nahlížet z pohledu obou vzájemně působících těles.

Ačkoliv se znění právě třetího Newtonova zákona velmi silně v řadě učebnic a učebních textů zdůrazňuje, z Newtonových zákonů je tento zákon patrně nejméně podstatný. V řadě situací a úloh (řešených kvalitativně i kvantitativně) je podstatné zakreslit síly PŮSOBÍCÍ NA VYŠETŘOVANÉ TĚLESO, protože právě tyto síly ovlivňují pohybový stav daného tělesa. Skutečnost, že např. i mobil vyšetřovaný v situaci zobrazené na obr. 3 působí na stůl nebo dokonce na planetu Zemi, je pro určení pohybového stavu mobilu nepodstatná.

## Silová bilance různých situací

Dále popsané situace mají za cíl popsat a vysvětlit, jaké síly působí na dané těleso a jak tyto síly souvisí s pohybovým stavem uvažovaného tělesa (klid, rovnoměrný pohyb, zrychlený pohyb). Některé ze zobrazených situací lze jednoduchými prostředky realizovat experimentálně, jiné je třeba si představit, protože jejich realizace by byla poněkud nákladná (např. pohyb parašutisty).

Pochopení silové bilance je nezbytné pro další úvahy související s hledáním těžiště těles, chováním těles ponořených do různých tekutin, vyšetřováním deformačních účinků síly působící na těleso, popisem nabitě částice v elektrickém, magnetickém i elektromagnetickém poli, ... Výhodou zde uvedených úloh je, že pohyb míčku či parašutisty si představíme snadněji než např. pohyb nabitě částice.

Ve všech dále uvedených situacích bude cílem nakreslit na základě konkrétního zadání síly působící na dané těleso nacházející se v určitém



pohybovém stavu. Má-li tento článek přinést nové poznatky a dovednosti, bylo by dobré zkusit si síly zakreslit dříve, než si čtenář přečte řešení.

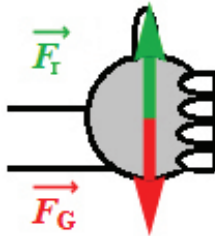
*Zakreslete síly působící na míček, který drží sportovec v ruce a který je vůči zvolené vztažné soustavě v klidu.*

Situace je zakreslena na obr. 7. Na míček působí dvě síly – síla ruky  $F_r$ , kterou na míček působí ruka sportovce, a síla tíhová  $F_G$ , kterou na míček působí Země. Míček je v klidu, proto na něj podle prvního (resp. druhého) Newtonova zákona nepůsobí žádná výsledná síla. To znamená, že velikosti popsanych sil jsou stejné. To můžeme matematicky formulovat vztahem  $F_r = F_G$ , který popisuje pouze VELIKOSTI obou sil; jejich směry jsou zřejmé z obr. 7.

Pokud bychom chtěli do matematického vztahu promítnout i směry sil, mohli bychom napsat vztah mezi vektory obou sil:

$$F_r = -F_G;$$

znaménko mínus značí, že vektor síly  $F_r$  má opačný směr než vektor síly  $F_G$ .



Obr. 7

*Zakreslete síly působící na míček puštěný z ruky sportovce. Přítomnost odporových sil vzduchu a) zanedbejte, b) uvažujte.*

a) Pokud nebudeme uvažovat odporové síly, bude na míček po jeho vypuštění z ruky sportovce působit pouze tíhová síla  $F_G$  (viz obr. 8a)). Míček se bude tedy pohybovat pouze pod vlivem této síly; bude se tedy pohybovat volným pádem (rovnoměrně zrychlený pohyb s nulovou počáteční rychlostí a se zrychlením rovným tíhovému zrychlení).

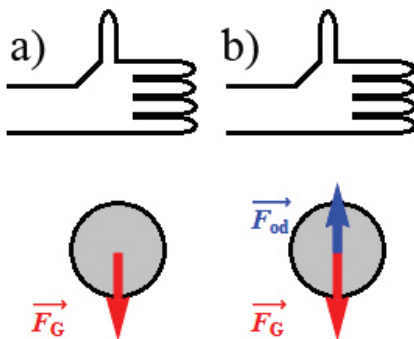
b) Budeme-li uvažovat přítomnost odporových sil, bude na míček kromě svisle dolů mířící tíhové síly  $F_G$  působit i svisle vzhůru odporová síla vzduchu  $F_{od}$ . V případě míčku je velmi pravděpodobné, že velikost

síly odporové bude menší než velikost síly tíhové (viz obr. 8b)), a proto se míček bude pohybovat zrychleným pohybem, ale už ne volným pádem. Na míček kromě tíhové síly působí další síla opačným směrem, a proto výsledná síla má menší velikost než síla tíhová. Zrychlení, které tato výsledná síla uděluje míčku, má tedy menší velikost, než je velikost tíhového zrychlení. Navíc se velikost zrychlení míčku bude mírně zmenšovat vlivem nárůstu velikosti odporové síly; zkoumání této závislosti ale není předmětem tohoto článku.

V této souvislosti upozorníme na správný zápis faktu, že velikost odporové síly vzduchu je menší než velikost tíhové síly. Správný zápis má tvar:  $F_{od} < F_G$ , tedy je nutné použít zápis pro velikosti sil, ne pro vektory. Nerovnost, ve které by vystupovaly vektory, nedává smysl.

Při detailním rozboru bychom mohli ještě navíc uvažovat vztakovou sílu vzduchu, která působí na míček. Její velikost je ale v tomto případě zanedbatelná ve srovnání s velikostí tíhové síly, a proto není zásadní chybou vztakovou sílu v tomto případě neuvažovat.

Další možnosti vztahu velikosti tíhové síly a odporové síly vzduchu budou probrány v situacích popisujících pohyb parašutisty.



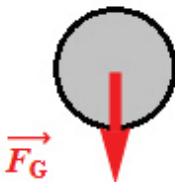
Obr. 8

*Zakreslete síly působící na míček, který sportovec vrhl směrem dolů. Míček byl vyfotografován v určité vzdálenosti pod rukou sportovce. Odporové síly vzduchu zanedbejte.*

Tato situace je pro řadu žáků (ale i učitelů fyziky) poměrně matoucí. I když z hlediska působících sil je naprosto jasná. Stačí si uvědomit to, co bylo řečeno v rámci definování síly a jejího působení. Jakmile chceme hovořit o nějaké síle (resp. zakreslovat sílu do obrázku), je nutné si uvědomit, že síla je projevem VZÁJEMNÉHO PŮSOBENÍ TĚLES (musíme

tedy znát „dva parťáky“, mezi kterými síla působí). Vzhledem k tomu, že míček není v kontaktu s rukou, působí na něj pouze tíhová síla  $F_G$  (viz obr. 9) prostřednictvím tíhového pole Země. Odporové síly vzduchu působící na míček máme dle zadání zanedbat, přítomnost (resp. důvod pro nepřítomnost) vztlakové síly jsme diskutovali při řešení předcházející situace.

Míček se v tomto případě bude pohybovat rovnoměrně zrychleným pohybem s nenulovou počáteční rychlostí (míček byl vržen) se zrychlením rovným tíhovému zrychlení (na míček působí pouze tíhová síla). Pro upřesnění dodejme, že se v tomto případně míček nepohybuje volným pádem. (Volný pád je sice definován jako pohyb s tíhovým zrychlením, ale zároveň také s nulovou počáteční rychlostí.)

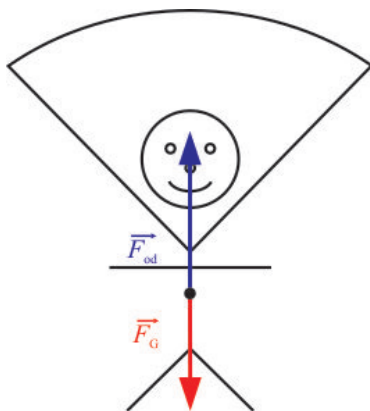


Obr. 9

*Zakreslete síly působící na parašutistu, který s otevřeným padákem při pohybu dolů zpomaluje.*

Vzhledem k tomu, že předpokládáme, že se parašutista nachází v blízkosti povrchu Země, působí na něj tíhová síla  $F_G$  svisle dolů. Vlivem otevřeného padáku na něj působí i odporová síla vzduchu  $F_{od}$  mířící svisle vzhůru (viz obr. 10). Jestliže se má parašutista pohybovat zpomaleným pohybem směrem dolů, míří vektor jeho zrychlení směrem vzhůru (tj. proti pohybu parašutisty). V tomto směru působí také (podle druhého Newtonova zákona) výsledná síla. A vzhledem k tomu, že na parašutistu působí pouze dvě síly ležící na téže přímkě, je zřejmé, že velikost odporové síly musí být větší než velikost tíhové síly. Jedině tak bude výsledná

síla směřovat vzhůru a bude pohyb parašutisty brzdit. Matematicky můžeme psát:  $F_{od} > F_G$ .



Obr. 10

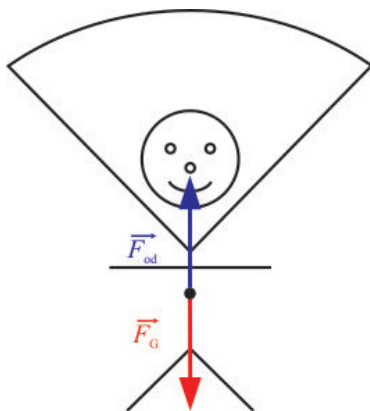
*Zakreslete síly působící na parašutistu, který se s otevřeným padákem pohybuje k povrchu Země stálou rychlostí.*

V blízkosti povrchu Země na parašutistu bude působit tíhová síla  $F_G$ . Vlivem otevřeného padáku na něj bude působit odporová síla vzduchu  $F_{od}$ . Parašutista se pohybuje stálou rychlostí, což podle prvního Newtonova zákona znamená, že na něj nepůsobí žádná síla, případně (což je případ „našeho“ parašutisty) se síly na něj působící musejí vzájemně kompenzovat (viz obr. 11). Proto je jasné, že velikosti obou působících sil musejí být stejné. To můžeme zapsat (v případě rovnosti velikostí dvou sil) dvojím způsobem: buď skalárně ve tvaru  $F_{od} = F_G$  nebo vektorově ve tvaru, do kterého je nutné ovšem promítnout i vzájemně opačné směry obou sil:

$$\vec{F}_{od} = -\vec{F}_G.$$

Popsaná situace nastává v poslední části parašutistovy trajektorie nad povrchem Země. U vojáků, soutěžících a dalších profesionálních parašutistů tato část pohybu netrvá příliš dlouhou dobu. V případě tandemových seskoků, které nabízejí různé agentury prodávající „adrenalinové zážitky“, je tato část profesionálním parašutistou zákazníkovi prodloužována, aby se zákazník mohl kochat pohledem z výšky na krajinu pod sebou.

Tato fáze pohybu parašutisty současně zaručuje dopad na povrch Země rychlostí s relativně malou velikostí; tak lze předejít úrazu parašutisty (a v případě tandemového seskoku i zákazníka). Velikost této rychlosti je možné spočítat na základě vztahu pro velikost odporové síly, který popisuje závislost na hustotě tekutiny, příčném průřezu tělesa, koeficientu odporu a právě velikosti rychlosti (viz např. [1]).



Obr. 11

*Zakreslete síly působící na parašutistu, který s otevřeným padákem při pohybu vzhůru zrychluje.*

Než začneme uvažovat nad silovou bilancí, je dobré si uvědomit, že tato situace není pouze školní úlohou zaměřenou na trénink Newtonových zákonů. Při jedné příležitosti autor článku měl možnost diskutovat s profesionálním pilotem vojenských bojových letadel, který při zmínce této situace potvrdil její realitu. Sám pilot se v rámci tréninku nouzového výsadku z letadla do podobné situace dostal – silný vzestupný proud vzduchu ho táhl směrem vzhůru. Padák v tomto případě byl naopak přítěží. Odporová síla vzduchu, která v tuto chvíli byla silou urychlující pilota směrem vzhůru, měla vlivem velkého příčného průřezu padáku (který je ve standardních situacích vyžadován) značnou velikost. Pilot přežil, ale tento typ pohybu je velmi nebezpečný, pilot se tímto způsobem mohl dostat do oblasti atmosféry, kde bylo málo kyslíku pro pohodlné dýchání a (nebo) kde poklesla teplota pod hodnotu příjemného teplotního komfortu nutného pro přežití.

Pokud budeme nyní rozebírat situaci z hlediska dynamiky, zjistíme, že na parašutistu působí opět dvě síly. Tíhová síla  $F_G$  svisle dolů a odporová síla vzduchu  $F_{od}$  svisle vzhůru. Parašutista se podle zadání pohybuje vzhůru zrychleným pohybem. Zrychlení parašutisty tedy míří směrem nahoru a v tomto směru musí mířit (ve shodě s Newtonovým zákonem síly) i výsledná síla. To tedy znamená, že odporová síla musí mít větší velikost než síla tíhová. (To je v souladu i s uvedeným zážitkem pilota.)

Tato situace je ale zobrazena na obr. 10, ačkoliv zadání k danému obrázku bylo jiné. Nedošli jsme k žádnému rozporu, jen je nutné si uvědomit, že obě situace se liší směrem pohybu parašutisty. To je dobré si uvědomit i pro další podobné situace: různé typy pohybů mohou být (resp. musejí být) popsány stejnými silami (typ síly, směr i velikost). A opět se potvrzuje to, co je uvedeno jako komentář u formulace druhého Newtonova zákona: síla úzce souvisí se zrychlením, nikoliv s rychlostí.

*Zakreslete síly působící na automobil nacházející se v klidu na vrcholu nakloněné roviny.*

Jako motivace pro vyšetřování této situace může posloužit ukázka z filmu [2]. Hlavní hrdinka přijíždí do domku svého tchána a nechá auto na vrcholu kopce (aniž si to uvědomí špatně zabrzděné). Zatímco ona jde do domku, auto se samovolně rozjede. O jeho zastavení se pak pokouší místní traktorista.

Z hlediska silové bilance na automobil bude určitě působit tíhová síla  $F_G$  svisle dolů a síla  $F_k$ , kterou na automobil působí kopec; tato síla působí kolmo ke svahu (viz obr. 12). Zanedbáme-li odporové a třecí síly, jsou tyto síly jedinými skutečnými (tj. „své parťáky majícími“) silami, které na automobil působí. Působí-li na jedno těleso více sil, můžeme najít jejich výslednici, pro kterou v tomto případě platí:

$$F_p = F_G + F_k;$$

síla  $F_p$  je rovnoběžná se směrem svahu a běžně se nazývá pohybová síla. Tato síla totiž uvádí těleso na nakloněné rovině do pohybu. Pokud na automobil nepůsobí jiné síly proti této síle (síla brzd, síla špaluku pod koly, ...), uvede tato síla automobil do rovnoměrně zrychleného pohybu. Směr síly  $F_p$  (tj. její rovnoběžnost se směrem svahu) je dán tím, že tato síla uvádí (jak bylo uvedeno) těleso do pohybu po nakloněné rovině; směr zrychlení i směr rychlosti automobilu jsou se svahem rovnoběžné. Stejný směr působící síly a zrychlení, které síla tělesu uděluje, vyplývá i ze druhého Newtonova zákona.

Ve filmu [2] tento automobil sjede ze svahu a vyjede do protisvahu, kde se zastaví a následně se začne vracet zpět. Pokud bychom během jízdy do protisvahu zakreslovali síly na automobil působící, byla by situace velmi podobná. Na automobil bude působit výsledná síla  $F_p$  ve směru rovnoběžném se svahem, ale tentokrát proti směru pohybu automobilu. To je ale ve shodě s druhým Newtonovým zákonem: při jízdě do protisvahu automobil brzdí – vektor zrychlení tedy míří proti směru jeho pohybu.

Pokud bychom uvažovali existenci odporových a třecích sil, zmenšila by se velikost zrychlení automobilu při jízdě ze svahu dolů. Při jízdě do protisvahu by se velikost zrychlení naopak zvětšila. Odporové a třecí síly totiž v obou případech působí proti směru pohybu.



Obr. 12

## Závěr

Podobných situací, které byly popsány v tomto článku, lze vymyslet celou řadu. Při zakreslování sil působících na vybrané těleso a při psaní podmínek, které musí mezi působícími silami platit, je nutné se držet základních pravidel vyplývajících ze zavedení fyzikální veličiny síla: uvažovat (resp. zakreslovat) jen ty síly, které vznikají vzájemným působením těles (tj. síly, které „mají dva parťáky“), a mít na paměti, že druhý Newtonův zákon dává do souvislosti sílu a zrychlení, nikoliv sílu a rychlost, jak se někteří žáci i učitelé domnívají.

## Literatura

- [1] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/127>, [cit. 4. 2. 2019].  
 [2] Jak se krotí krokodýli. Film, režie Marie Poledňáková, 2006.