Netradiční typy úloh z fyziky

Mgr. Jaroslav Reichl
Střední průmyslová škola sdělovací techniky, Panská 3, Praha 1; reichl@panska.cz

Anotace

V příspěvku je popsáno několik úloh, které mohou přispět k zatraktivnění výuky fyziky. Ačkoliv jsou tyto úlohy zadány netradičním způsobem, v rámci jejich řešení žáci pochopí důležité fyzikální zákony a vztahy. Většinu popsaných úloh lze ověřit (resp. demonstrovat) pomocí jednoduchých experimentů.

Úvod

Řešení fyzikálních úloh je nezbytnou součástí výuky fyziky. V řadě případů jsou ale žáci už předem demotivováni nudným zadáním, se kterým nemají zkušenosti (hmotné body, tuhá tělesa, …) nebo které nedokáží analyzovat tak, aby mohli úlohu zdárně vyřešit. V rámci hodin fyziky je sice nutné modely reálných objektů zavést a pracovat s nimi, ale při řešení úloh je vhodné zvolit konkrétní úlohy z praxe, které si žák dovede představit a které mu budou alespoň částečně blízké. Z toho důvodu se snažím v hodinách fyziky používat různým způsobem zadané úlohy.

Jeden ze způsobů, jak zadat fyzikální úlohu, je použít fotografii. Taková fotografie musí být ale jednoznačná a musí na ní být dobře a jasně zobrazen daný fyzikální jev nebo děj, který je předmětem úlohy. V současné době, kdy má většina z nás kvalitní mobilní telefony a jiná podobná zařízení, není problém kvalitní fotografie pořídit. Je ale nutné věnovat pozornost i obsahu fotografie (zaostřená fotografie, detail fotografovaného předmětu, dobré osvětlení, …). K některým fotografiím je přitom nutné dodat detailnější vysvětlení v podobě doprovodného textu, k jiným fotografiím stačí stručný komentář a otázka.

Inspirací pro další typ úloh mi byly a jsou filmy. V nich je možné najít pro výuku fyziky řadu inspirací: zobrazení jevu, který jinak ve třídě není možné předvést (např. let družice kolem Země), ukázku jevu, který je ve filmu značně nadsazen nebo je přímo fyzikálně špatně, ale také zadání úloh - a to jak kvalitativních, tak i kvantitativních.

Dále lze zadávat úlohy pomocí zakreslených schémat nebo obrázků; jsou-li tyto navíc zakresleny např. ve čtvercové síti, nemusíme dodávat žádné další informace, protože požadované rozměry (případně velikosti sil) lze odečíst přímo z daného schématu či obrázku.

V neposlední řadě lze úlohy zadávat také formou jednoduchých experimentů, u kterých předvedeme pouze zadání, a část experimentu, která objasňuje řešení, předvedeme až po vyřešení úlohy resp. poté, kdy žáci sami (nebo s pomocí učitele) řešení najdou.

Konkrétní ukázky úloh z fyziky

V této části příspěvku bude popsáno několik úloh, které běžně zadávám žákům v průběhu jejich studia fyziky.

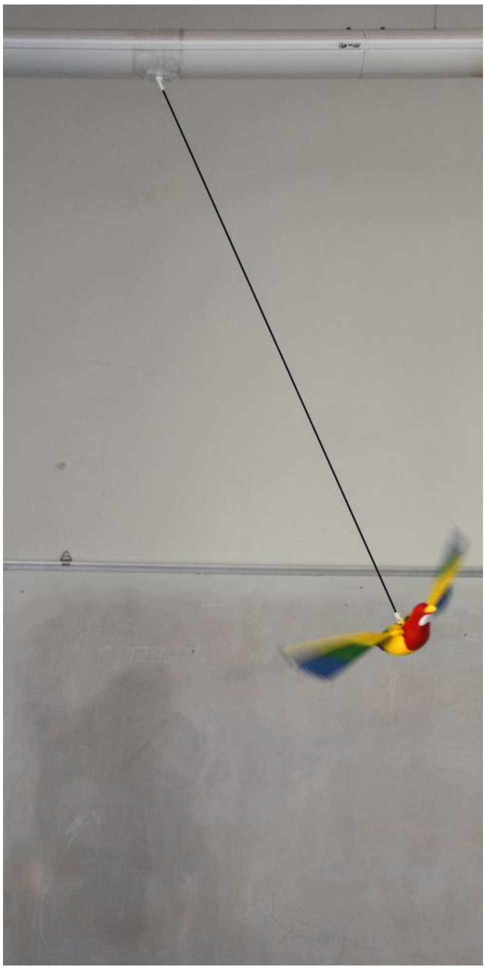
Zboží na váze

Na obr. 1 je zobrazena váha v obchodě s potravinami, na které je položen pomeranč. Jaká je hmotnost pomeranče? Detailní pohled na ukazatel váhy je zobrazen na obr. 2.

Řešení úlohy vyplývá přímo z fotografie na obr. 2. Je zřejmé, že hrubé dělení odpovídá dělení po 100 gramech, jemnější dělení pak dělení po 20 gramech. Hmotnost pomeranče proto je 360 gramů.

Obr. 1 a obr. 2: Zboží na váze v obchodě

Létající pták

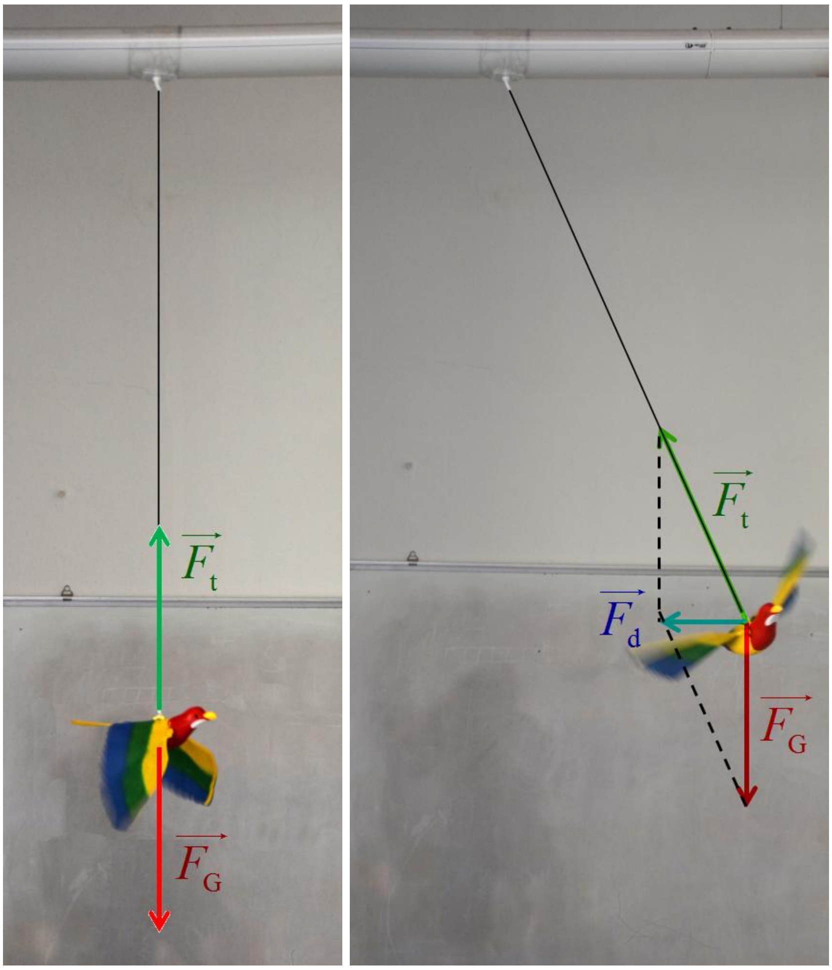


Obr. 3 a obr. 4: Hračka ptáka v klidové poloze v obecné poloze

Na fotografii na obr. 3 je zobrazena hračka ptáka v klidové poloze, na fotografii na obr. 4 pak tatáž hračka v obecné poloze, ve které se pták pohybuje po kružnici. Závěs, na kterém hračka visí, přitom opisuje kužel. Proto je možné tento typ pohybu hračky považovat za kónické kyvadlo. Zakreslete všechny síly, které na hračku v obou zobrazených situacích působí.

Na hračku, která se nachází v tíhovém poli Země, působí tíhová síla $\mathbf{F_G}$ mířící svisle dolů. Tato síla je kompenzována tahovou silou $\mathbf{F_t}$ závěsu, na kterém hračka visí. Velikosti obou sil jsou v tomto případě stejné (viz obr. 5).

Jestliže se pták pohybuje po kružnici, musí na něj působit dostředivá síla $\mathbf{F_d}$, která je realizovaná tahovou silou závěsu a tíhovou silou. Dostředivá síla je tedy výslednicí obou těchto sil: $\mathbf{F_d} = \mathbf{F_G} + \mathbf{F_t}$. Tato situace je zobrazena na obr. 6.



Obr. 5 a obr. 6: Síly působící na hračku ptáka v klidové a v obecné poloze.

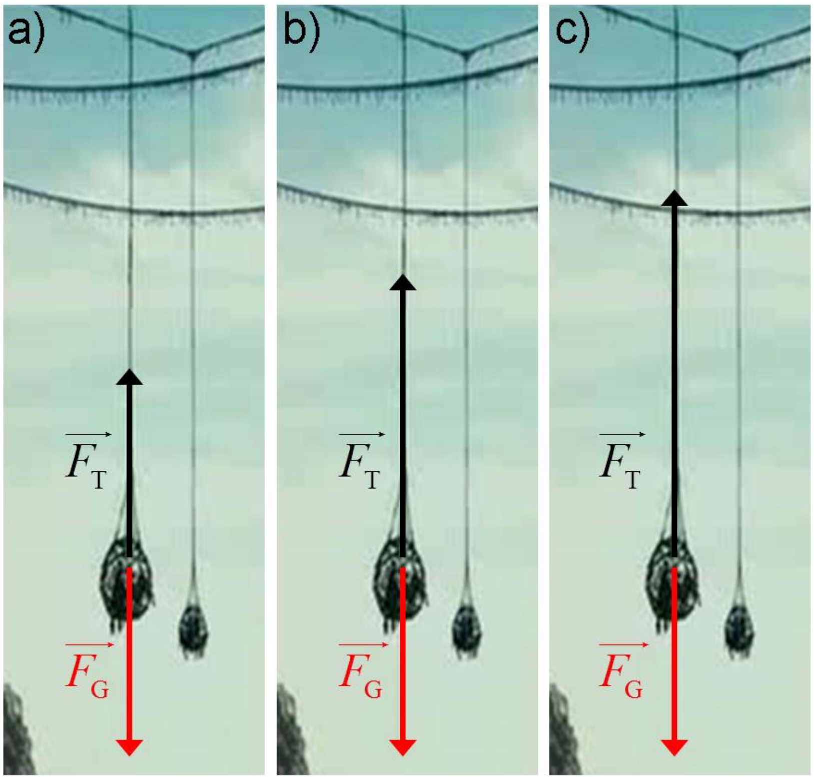
Pohyb kyvadla

Jako názornou ukázku sil působících na těleso, které kýve, lze využít část amerického filmu *Piráti z Karibiku: Truhla mrtvého muže* (2006, režie Gore Verbinski). Jedná se o tu část děje, v níž skončí piráti jako zajatci lidojedů a visí v klecích nad mořem (viz obr. 7).

Zakreslete síly, které na klec působí ve třech situacích: klec visí v klidu, klec se kývá a je zobrazena právě při průchodu rovnovážnou polohou a v okamžiku, kdy klec padá svisle dolů a přitom se trhá závěsné lano klece.

Ve všech případech na klec působí svisle dolů tíhová síla $\mathbf{F_G}$ a svisle vzhůru tahová síla $\mathbf{F_T}$ lana (resp. liány), na kterém je klec zavěšena. Velikost tíhové síly je ve všech třech uvažovaných situacích stejná, ale velikost tahové síly lana se liší.

Obr. 7: Klece se zajatci z filmu



Obr. 8: Síly působící na klec se zajatci

Nejmenší je velikost tahové síly lana v první situaci, kdy je klec v klidu. Výsledná síla působící na klec musí být nulová, proto je velikost tahové síly stejná, jako je velikost tíhové síly (viz obr. 8a).

Pokud se klec kýve, pohybuje se po části kružnice, a proto na ní musí působit dostředivá síla $\mathbf{F_d}$. Ta je v tomto případě výslednicí tíhové síly a tahové síly, které působí na klec. V rovnovážné poloze (tj. v okamžiku, kdy je závěsné lano svislé) míří dostředivá síla svisle vzhůru. Proto v této situaci musí mít tahová síla větší velikost, než je velikost tíhové síly, tedy platí: $F_T > F_G$ (viz obr. 8b).

V případě, kdy se klec pohybuje směrem dolů a závěsné lano se právě trhá, je velikost tahové síly lana ještě větší, než v předchozím případě (viz obr. 8c). Klec se utrhne proto, že materiál lana již není schopen takto velkou tahovou sílu realizovat, a proto se porušují vazby mezi jednotlivými částmi lana a lano se trhá.

Tuto situaci lze žákům přiblížit také zkušeností, kterou možná sami mají. Pokud ponesou relativně těžké předměty v igelitové tašce, se kterou budou rukou kývat, může se stát, že držadla tašky prasknou a taška spadne na zem. Pokud se to stane, pak právě v okamžiku, kdy taška prochází rovnovážnou polohou. V té je velikost rychlosti pohybu tašky největší (a tedy je i největší dostředivá síla, která na tašku musí působit), a současně tahová síla, kterou působí taška na držadlo, má svislý směr. Proto (aby měla dostředivá síla dostatečnou velikost) musí být i velikost tahové síly značná. A to může mít za následek přerušení vazeb v materiálu tašky.

Výše popsané situace lze pohodlně modelovat pomocí jednoduché pomůcky. Stačí vložit tenisový míček do síťky od ovoce a tu přivázat na delší závěs (provázek, stuha, …).

Nakloněná rovina

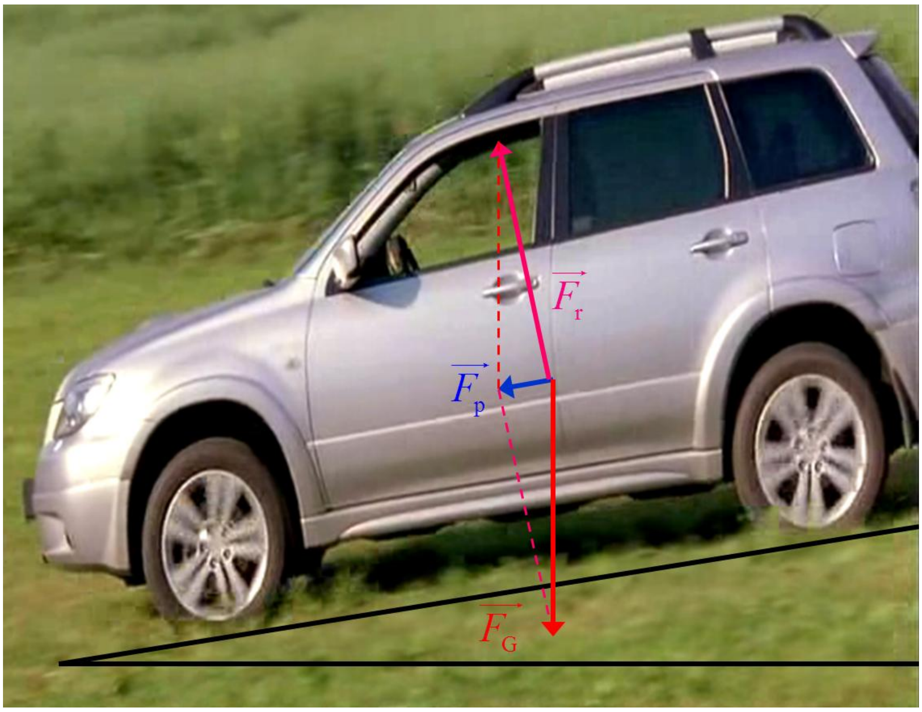
Nakloněná rovina je nejen důležitou součástí technické praxe, ale lez pomocí ní i modelovat řadu fyzikálních jevů. Proto je nutné, aby žáci pochopili, jaké síly působí na těleso nacházející se na nakloněné rovině.

Obr. 9: Automobil na nakloněné rovině

Jako motivaci používám ukázku z českého filmu *Jak se krotí krokodýli* (2006, režie Marie Poledňáková). Jedná se o tu část filmu, v níž Anna zaparkuje auto na kopci u chalupy dědy a zapomene auto zabrzdit. To se rozjede a hrozí srážka s traktorem, jehož řidič se snaží auto Anny zachránit. Ukázka je poměrně zdařilá i z hlediska děje - má spád a žákům se většinou líbí a pobaví je. Navíc si uvědomí, jaké typy pohybů může vykonávat těleso na nakloněné rovině (za kterou lze svah u chalupy považovat).

Nezabrzděný automobil (viz obr. 9) se nejdříve po nakloněné rovině rozjíždí směrem dopředu, pak najede do protisvahu a brzdí. Poté, co zastaví, se začíná opět rozjíždět směrem dolů, ale tentokráte couvá. Pak najede do protisvahu (kopec, ze kterého se původně automobil rozjel) a opět zpomaluje. Pokud by automobil nebyl zastaven, popsaný pohyb se bude opakovat.

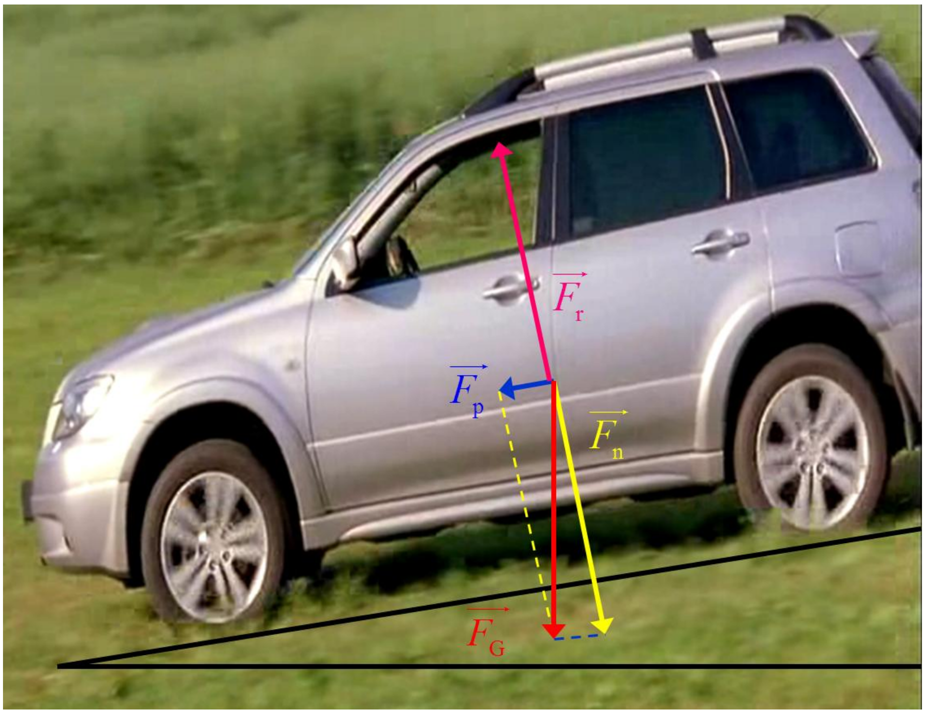
Nyní rozebereme síly, které na automobil na nakloněné rovině působí. Jednou ze sil je tíhová síla Země $\mathbf{F_G}$. Dále pak na automobil působí síla $\mathbf{F_r}$ podložky, po níž se pohybuje. Žádná jiná síla (pokud nebudeme uvažovat odporové síly vzduchu nebo třecí síly) na automobil nepůsobí. Výslednicí těchto dvou sil je pohybová síla $\mathbf{F_p}$, která uvádí automobil do zrychleného pohybu (viz obr. 10, na kterém jsou všechny síly zakresleny v těžišti automobilu).



Obr. 10: Síly působící na automobil na nakloněné rovině

Sílu $\mathbf{F_p}$ lze získat ale také rozkladem tíhové síly $\mathbf{F_G}$ na dvě složky. Jednou je pohybová síla $\mathbf{F_p}$ a druhou normálová síla $\mathbf{F_n}$, která je kolmá k podložce (viz obr. 11). Tento rozklad lze vysvětlit tak, že pohyb automobilu způsobuje pouze ta část tíhové síly, která je rovnoběžná s nakloněnou rovinou. Současně s tím ale automobil tlačí na nakloněnou rovinu silou, která je k nakloněné rovině kolmá.

Se žáky lze pak diskutovat, jak se změní silová bilance při brždění automobilu do protisvahu, při následném zpětném rozjezdu dolů, jak by se situace vyvinula, kdyby byl kopec výrazně delší (a uvažovali bychom odporové síly vzduchu) a podobně.



Obr. 11: Síly působící na automobil na nakloněné rovině

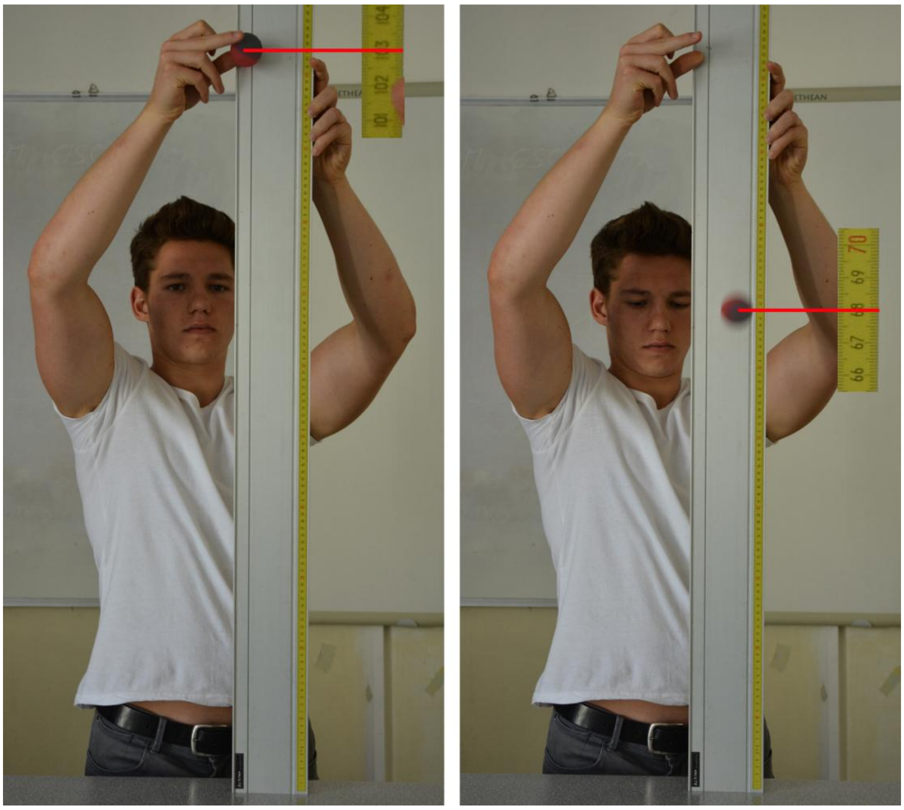
Zákon zachování energie

Zákon zachování energie lze demonstrovat např. pomocí míčku hopíku, který necháme padat z určité výšky nad podložkou (např. deska stolu). Po odrazu od podložky se míček nevrátí zpět do původní polohy, ale skončí svůj pohyb níže. A máme námět na diskusi se žáky: Proč se nevrátil míček do původní výšky? Platí zákon zachování mechanické energie? Na jaké formy energie se přeměnila část počáteční potenciální energie míčku? Podobných otázek k danému tématu lze vymyslet mnoho.

Jednu z úloh lze vyřešit také na základě fotografií zobrazených na obr. 12. Na první fotografii pouští experimentátor míček z určité výšky (kterou lze na obrázku odečíst), na druhé je zachycen míček ve své maximální výšce po odrazu. Tato výška je evidentně menší, než je počáteční výška míčku na začátku experimentu. Kolik procent počáteční mechanické energie se v tomto případě přeměnilo na nemechanické formy? Je možné vypočítat také velikost rychlosti míčku při dopadu na podložku a jeho následném odrazu? Za jakých podmínek?

Při řešení této úlohy vyjdeme ze zákona zachování energie, který můžeme psát ve tvaru $E_{\mathrm{p1}} = E_{\mathrm{p2}} + \Delta E$, kde E_{p1} je počáteční potenciální energie míčku, E_{p2} je koncová potenciální energie míčku a ΔE je ta část mechanické energie, která se přeměnila na nemechanické formy. Pokud chceme vyjádřit tuto část energie v procentech počáteční energie míčku, zajímá nás podíl $\dfrac{\Delta E}{E_{\mathrm{p1}}}$. Tento podíl je přitom roven $\dfrac{\Delta E}{E_{\mathrm{p1}}} = \dfrac{E_{\mathrm{p1}} - E_{\mathrm{p2}}}{E_{\mathrm{p1}}} = \dfrac{mgh_1 - mgh_2}{mgh_1} = \dfrac{h_1 - h_2}{h_1}$; za výšky h_1 a h_2 dosadíme výšky odečtené z obr. 12. Po dosazení tak dostaneme: $\dfrac{\Delta E}{E_{\mathrm{p1}}} = \dfrac{103 - 68}{103} = 0,34$. Na nemechanické formy se tedy změnilo 34 % počáteční energie míčku.

Výpočet velikosti rychlosti v_d míčku při dopadu na podložku a velikosti rychlosti v_o při jeho odrazu od podložky provedeme na základě zákona zachování mechanické energie, tedy zanedbáme odporové síly vzduchu působící během pohybu na míček. V souvislosti s první částí úlohy tak předpokládáme, že veškerá mechanická energie, která se přeměnila na nemechanické formy, se přeměnila na vnitřní energii míčku a podložky a na práci nutnou na deformaci míčku při jeho odrazu od podložky.



Obr. 12: Padající míček

Můžeme proto psát $mgh_1 = \frac{1}{2}mv_d^2$, odkud dostáváme $v_d = \sqrt{2h_1 g}$ a po dosazení máme $v_d = 4{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Analogicky lze psát $\frac{1}{2}mv_o^2 = mgh_2$, a tedy $v_o = \sqrt{2h_2 g}$. Po dosazení dostaneme $v_o = 3{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Jasný rozdíl mezi zákonem zachování energie a zákonem zachování mechanické energie lze demonstrovat pomocí dvou míčků: hopíku a tzv. hakysáku (látkový míček naplněný korálky, rýží, …). Necháme-li je dopadnout na tutéž podložku ze stejné výšky, hopík se odrazí a vystoupá do menší výšky, než ze které byl puštěn. Látkový míček se neodrazí a zůstane po dopadu v klidu na podložce.

Otevírání dveří

I pomocí tak běžné každodenní činnosti, jako je otevírání dveří, lze demonstrovat důležité fyzikální pojmy a zákony.

Na obr. 13 a obr. 14 je zobrazen experimentátor, který otevírá dveře. Ve kterém případě otevře dveře snáze a proč?

Obě zobrazené situace se liší tím, v jaké vzdálenosti od osy otáčení dveří (tj. od pantů dveří) experimentátor na dveře působí. V prvním případě (obr. 13) působí experimentátor na dveře dále od osy otáčení, ve druhém případě (obr. 14) blíž k ose otáčení. Aby se dveře otevřely, je nutné na ně působit určitou silou a udělit jim tedy i určitý moment otáčení. V prvním případě udělí experimentátor dveřím daný moment otáčení snadněji (tj. působením menší síly), protože na dveře působí dále od osy jejich otáčení. Tuto vzdálenost přitom měříme na kolmici, která prochází prstem experimentátora, k ose otáčení. Ve druhém případě působí experimentátor na dveře blíže k ose otáčení, a proto musí vynaložit větší námahu (tj. působit větší silou), aby dveře otevřel.

Moment síly lze žákům také demonstrovat při zvedání tabule: pokud tabuli zvedáme za madlo umístěné uprostřed tabule, lze tabuli zvednout snadno. Pokud tabuli zvedáme tak, že na ní působíme rukou z jedné její strany, tabule se bude kromě zvedání také natáčet. Tím se zvýší velikost třecí síly mezi tabulí a kolejnicemi, po kterých jezdí, a zvedání tabule bude náročnější.

Obr. 13 a obr. 14: Dva způsoby otevírání dveří

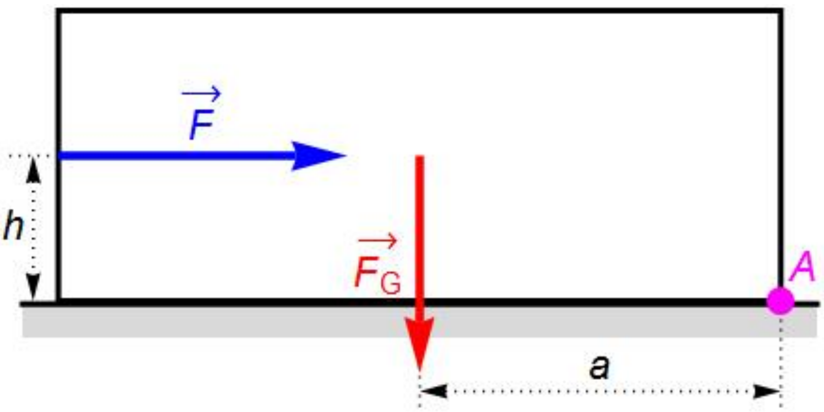
Postrkování krabice

V praxi se občas setkáme se situací, kdy je třeba přesunout krabici po podlaze z jednoho místa na druhé. Uvažujme krabici ve tvaru kvádru stojící na vodorovné podložce. Tuto krabici chceme po podložce posouvat silou rovnoběžnou s podložkou. Je vhodnější působit na krabici rovnoběžně s její delší nebo kratší hranou (viz obr. 15 a obr. 16)?

Situace je schematicky zobrazena na obr. 17. Pod vlivem působící síly **F** se bude krabice po podlaze nejen posunovat, ale bude mít tendenci se také překlápět. Míra překlápění krabice přitom závisí na celkovém momentu sil vzhledem k přední podstavné hraně krabice (na obr. 17, na kterém je dvourozměrné schematické zobrazení situace, je tato úsečka zobrazena jako bod A). Důležité proto budou momenty působící síly **F** a tíhové síly $\mathbf{F}_G$ krabice (včetně případné zátěže) vzhledem k této uvažované ose otáčení. Aby se krabice pouze posouvala a nepřeklápěla se podél přední hrany, musí být moment tíhové síly větší nebo nejvýše roven momentu působící síly. Ve shodě s obr. 17 tedy musí platit: $F \cdot h = F_G \cdot a$.

Obr. 15: Posunování krabice rovnoběžně s její delší hranou

Obr. 16: Posunování krabice rovnoběžně s její kratší hranou



Obr. 17: Síly působící na krabici

Splnění výše uvedené podmínky závisí na velikostech uvažovaných sil a na vzdálenostech a a h. Obecně platí, že krabice se bude pouze posouvat, pokud bude mít dostatečnou hmotnost (tj. velikostí tíhové síly krabice včetně nákladu uvnitř bude velká) a působící síla bude působit blíže vodorovné podložce (tj. vzdálenost h bude malá).

V reálném případě bude situaci ovlivňovat také velikost třecí síly a materiál podložky. Na hladkém povrchu (linoleum, dlaždice, …) se bude krabice snáze posunovat a méně se naklápět, než např. na koberci, do kterého se při pohybu krabice její přední hrana mírně zaboří.

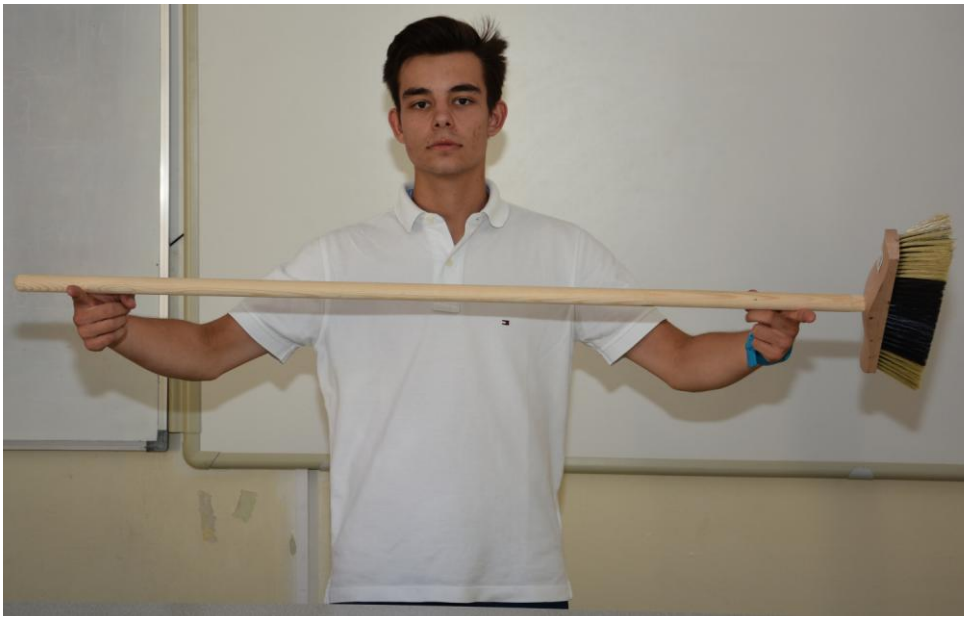
Pro plynulý posuvný pohyb krabice je navíc nutné, aby působící síla protínala těžiště nebo svislou těžnici. Pokud tato podmínka nebude splněna, bude se krabice natáčet (v závislosti na velikosti třecích sil) kolem svislé osy.

Těžiště koštěte

Najděte experimentálně polohu těžiště koštěte. Představte si hypoteticky, že koště v těžišti rozdělíme na dvě části. Jaké budou vzájemně hmotnosti obou takto získaných částí?

U tělesa, u kterého převažuje jeden lineární rozměr (tyč, koště, …), lze polohu těžiště určit experimentálně velmi snadno. Položíme toto těleso na ukazováčky roztažených rukou (viz obr. 18) a budeme postupně sunout prsty k sobě. Po chvíli se oba ukazováčky setkají v jednom místě pod tělesem (viz obr. 19). Když těleso v tomto bodě necháme podepřené, zůstává ve stabilní poloze. Našli jsme tedy polohu těžiště tělesa; bod podepření tělesa je v tomto případě pod těžištěm tělesa.

Princip této metody určování polohy těžiště těles souvisí s velikostí třecích sil, které působí mezi prsty a tělesem. Detailně je tento postup popsán v [1].



Obr. 18: Začátek experimentu

Obr. 19: Nalezení těžiště

Nyní uvažujme o hmotnostech jednotlivých částí koštěte, na které koště rozdělíme v jeho těžišti. Vzhledem k tomu, že jedna část koštěte je podle obr. 19 evidentně kratší (část, která se při zametání dotýká podlahy), bude mít tato část větší hmotnost. Koště podepřené v nalezeném těžišti je totiž v rovnovážné poloze, platí tedy momentová věta. A z ní vyplývá, že kratší část koštěte bude mít větší hmotnost.

O tom se lze přesvědčit tak, že koště v těžišti přeřízneme a položíme jednotlivé části na váhu. Na obr. 20 a obr. 21 jsou zobrazeny fotografie pořízené při určování hmotnosti obou částí koštěte. V levé dolní části je pro kvůli lepší čitelnosti vykopírovaný obrázek displeje váhy.

Pokud koště předem upravíme, není nutné při každé vyučovací hodině, v níž tuto úlohu řešíme, zničit jedno koště. Stačí předem koště, u kterého najdeme výše uvedeným způsobem polohu těžiště, přeříznout na dvě části. Do jedné z nich vyvrtáme otvor pro vlepení šroubu, do druhé vyvrtáme otvor pro vlepení matičky. Pak stačí šroubek vždy rozšroubovat, rozdělit koště na dvě části a ty položit na váhu.

Obr. 20: Určování hmotnosti jedné části koštěte

Obr. 21: Určování hmotnosti druhé části koštěte

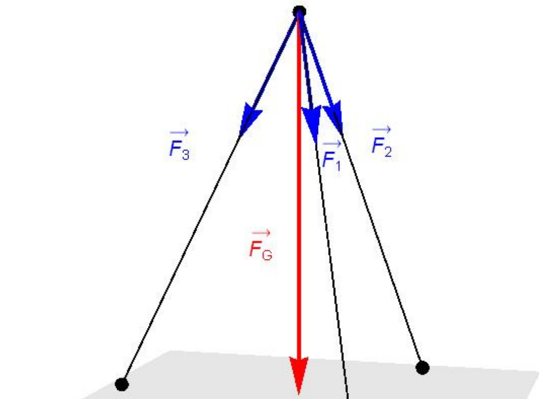
Trojnožka

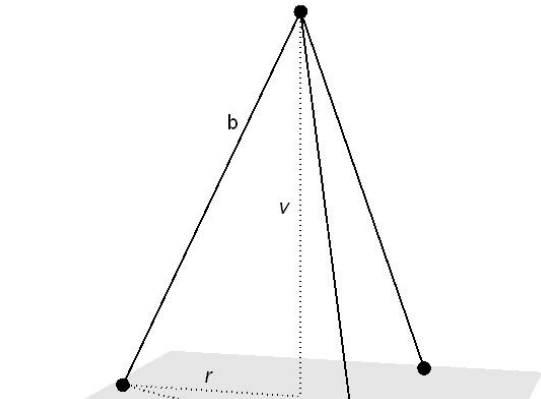
V praxi se často setkáváme s tělesem zavěšeným na tzv. trojnožce (kotlík nad ohněm, ozdobný květináč, …). Jedna situace je zobrazená na obr. 22. Jaké síly působí na těleso a jaké síly na trojnožku? Jaké jsou velikosti těchto sil?

Na těleso zavěšené na trojnožce působí tíhová síla $\mathbf{F}_G$ svisle dolů. Tato síla se rozkládá do tří směrů, které jsou dány nohami trojnožky (viz obr. 23). Na jednotlivé nohy trojnožky tak působí síly $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ a $\mathbf{F}_3$, které mají (v případě symetricky postavené trojnožky) navzájem stejné velikosti. Na těleso ještě působí tahová síla $\mathbf{F}_t$ závěsu trojnožky, která má stejnou velikost jako tíhová síla; tato tahová síla není na obr. 23 zobrazena.

Pro výpočet velikostí sil **F₁**, **F₂** a **F₃** je nutné popsat trojnožku matematicky. Předpokládejme, že ve shodě se schematickým znázorněním na obr. 24 známe rozměry *a* a *b*. Symbolem *r* je označen poloměr kružnice opsané rovnostrannému trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří místa podepření jednotlivých noh trojnožky na podložce.

Obr. 22: Břemeno na trojnožce



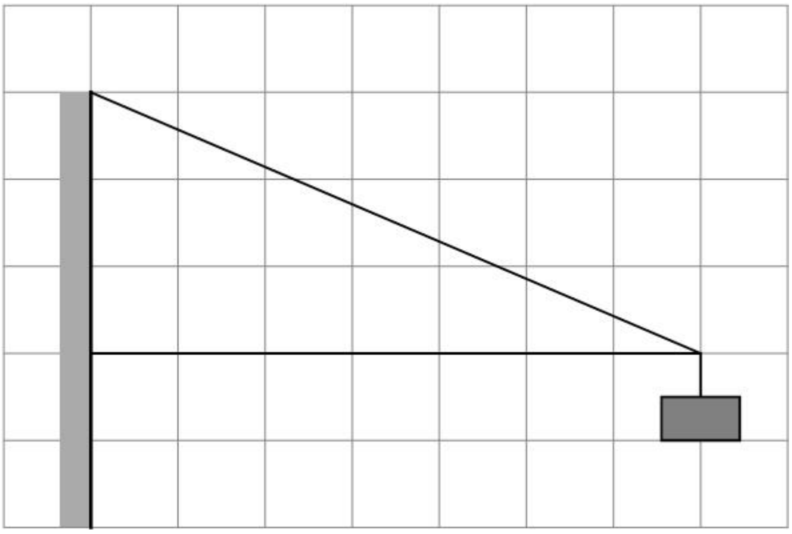


Obr. 23 a obr. 24: Rozklad sil na trojnožce a zobrazení parametrů trojnožky

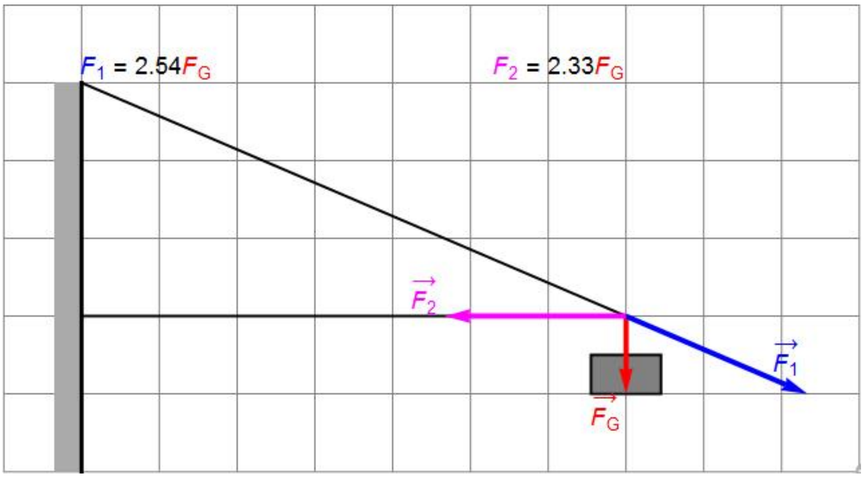
Vzhledem k tomu, že poloměr leží na těžnici (resp. na výšce), můžeme psát: $r = \frac{2}{3}t_a = \frac{2}{3}v_a = \frac{2}{3}\sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{2}{3}\cdot\frac{a}{2}\sqrt{3} = \frac{a\sqrt{3}}{3}$. Pro výšku v trojnožky pak platí: $v = \sqrt{b^2 - r^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{3}}$. Úhel α mezi jednou nohou trojnožky a výškou trojnožky lze určit z podmínky: $\sin\alpha = \frac{r}{b} = \frac{a\sqrt{3}}{3b}$; tedy $\alpha = \arcsin\left(\frac{a\sqrt{3}}{3b}\right)$. Velikosti F sil působících na nohy trojnožky pak určíme z podmínky: $\cos\alpha = \frac{F_G}{3F}$ a tedy $F = \frac{F_G}{3\cos\alpha}$.

Závěs na květináč

Dalším zařízením, které se často vyskytuje v praxi, jsou různé typy nosníků, které slouží jako držáky na police, květináče s květinami a další. Jedna z variant nosníku je zobrazena na obr. 25. Úkolem žáků je zakreslit síly, kterými jsou namáhány obě části konstrukce, a určit jejich velikosti v násobcích tíhové síly zavěšeného tělesa.



Obr. 25: Schématické zobrazení závěsu na květiny



Obr. 26: Řešení zadané úlohy

Rozklad sil je zobrazen na obr. 26; tíhová síla $\mathbf{F_G}$ musí být výslednicí sil $\mathbf{F_1}$ a $\mathbf{F_2}$, které působí v jednotlivých prutech nosníku. Vzhledem k tomu, že jeden nosník je kolmý ke svislé stěně, v níž je vetknut, bude výpočet velikostí sil relativně jednoduchý. Vnitřní úhel α pravoúhlého trojúhelníka u vrcholu, ve kterém se stýkají oba pruty konstrukce, lze určit z podmínky $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{3}{7}$ a tedy $\alpha = 23{,}2\,°$. Velikost síly $\mathbf{F_1}$ lze určit z podmínky $\cos(90° - \alpha) = \sin\alpha = \frac{F_G}{F_1}$, a tedy $F_1 = \frac{F_G}{\sin\alpha} = 2{,}54F_G$. Výpočet velikosti sily $\mathbf{F_2}$

lze provést buď pomocí Pythagorovy věty nebo opět s pomocí goniometrických funkcí. Platí $\operatorname{cotg}(90° - \alpha) = \operatorname{tg}\alpha = \frac{F_G}{F_2}$, a tedy $F_2 = \frac{F_G}{\operatorname{tg}\alpha} = 2{,}33 F_G$.

Prsty ve vodě

V souvislosti s probíráním vztlakové síly a Archimedova zákona je velmi užitečné provést se žáky následující experiment. Na váhu položíme kádinku (nebo plastovou nádobu od potravin) naplněnou vodou několik centimetrů pod okraj. Je-li to možné, váhu vynulujeme (pokud ne, bude nutné si pamatovat údaj, který váha v tomto případě ukazuje, a později s ním pracovat). Žákům položíme otázku: Jaký údaj bude ukovat displej váhy, jestliže do nádoby ponoříme jeden prst tak, aby se nedotýkal dna nádoby? Nechceme slyšet přesný údaj, ale pouze to, zda displej bude ukazovat stále nulu nebo jiný údaj.

Poté, co vyslechneme odpovědi žáků, které bývají velmi různé, předvedeme příslušný experiment (viz obr. 27). Údaj na displeji se zvětší, což znamená, že na váhu působí další síla kromě tíhové síly nádoby s vodou. Co je to ale za sílu?

Obr. 27 a obr. 28: Prsty ponořené do vody

Opět necháme žáky chvíli přemýšlet a poté je případně návodnými otázkami nasměrujeme ke správné odpovědi. Na prst ponořený do vody působí vztlaková síla vody. Podle třetího Newtonova zákona ale musí působit i prst na vodu; a to stejně velkou ale opačně orientovanou silou, než je síla vztlaková. Displej váhy tak vlastně ukáže velikost vztlakové síly, kterou působí voda na prst. V této chvíli, když se žáky bavíme o údaji na displeji, je vhodné se domluvit, že v průběhu tohoto experimentu budeme používat slovní spojení „váha ukazuje sílu“, i když ve skutečnosti jsou údaje zobrazované na displeji udávané v gramech (tj. pomocí váhy určujeme hmotnost těles). V rámci diskuse se žáky o tomto problému je to výrazně jednodušší.

Pokud ponoříme do nádoby dva prsty, zobrazí displej váhy dvojnásobný údaj, než ukázal v prvním kroku experimentu (viz obr. 28). Pochopitelně, že hodnota údaje na displeji váhy závisí na míře ponoření prstů, proto hodnota může být i mírně odlišná od přesného dvojnásobku resp. trojnásobku (při ponoření tří prstů) hodnoty z prvního kroku experimentu.

Vztlaková síla vrtulníku

V knize amerického spisovatele Dana Browna *Ztracený symbol* je téměř v závěru knihy i tato pasáž (citovaná podle [2]).

Nahoru! Do háje! Nahoru!

Pilot UH-60 zapnul rotory na rychloběh, aby zabránil styku ližin s rozměrným stropním oknem. Věděl, že ty více než dvě a půl tuny vztlaku, které působí dolů pod rotory, už takhle mohou sklo každým okamžikem roztříštit. Bohužel svažitá střecha pyramidy pod vrtulníkem účinně odkláněla vztlakovou sílu do stran, čímž rotory okrádala o tah.

Nahoru! No tak!

Sklonil předek vrtulníku, aby popoletěl kousek stranou, jenže levá ližina uhodila do středu okna. Byl to jen okamžik, ale i to stačilo. Rozměrný okulus explodoval ve víru ostrých střepů, které se jako přívalový déšť sesypaly do místnosti dole.

Hvězdy padají z nebes.

Na základě této ukázky mohou žáci diskutovat o několika problémech zmíněných v ukázce: Proč autor udává vztlakovou sílu v tunách? Proč měl pilot strach, že vztlaková síla rozbije okno pod vrtulníkem? Jak je možné, že *svažitá střecha pyramidy pod vrtulníkem účinně odkláněla vztlakovou sílu do stran*? Proč tím okrádala vrtulník o vztlak?

Vztlak resp. velikost vztlakové síly udávají piloti nebo námořníci v tunách (tj. jednotkách hmotnosti) proto, že se tento údaj snáze porovnává s hmotností dopravního prostředku (vrtulník, letadlo, loď), který pilot nebo námořník má řídit a udržet ve vzduchu resp. na vodě.

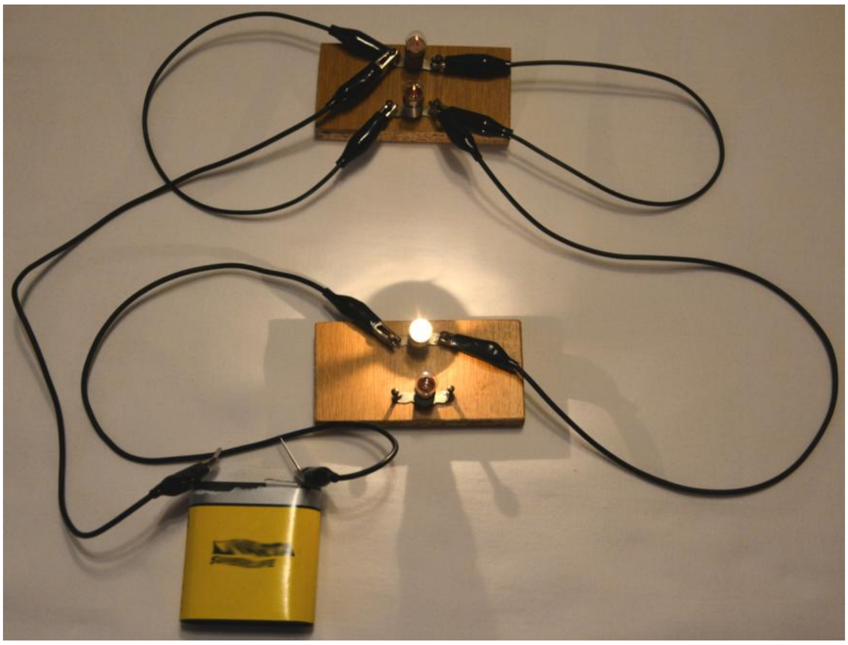
Na základě předchozí úlohy je zřejmé, že vzduch působí na vrtulník vztlakovou silou resp. svisle vzhůru mířící tahovou silou. Ta je součtem vztlakové síly, která je dána objemem vrtulníku, a odporové vztlakové síly, kterou vytváří rotor vrtule. Stejně velkou silou, jako je velikost výsledné tahové síly, působí ale vrtulník na vzduch pod sebou. A ten působí na předměty pod ním - např. na sklo střešního okna budovy.

Pokud bude mít střecha tvar kupole, bude se síla, kterou působí vrtulník na vzduch, rozkládat do směrů daných konstrukcí kupole. A proto bude na vrtulník působit menší síla - část síly se nevyužije na pohyb vrtulníku směrem vzhůru.

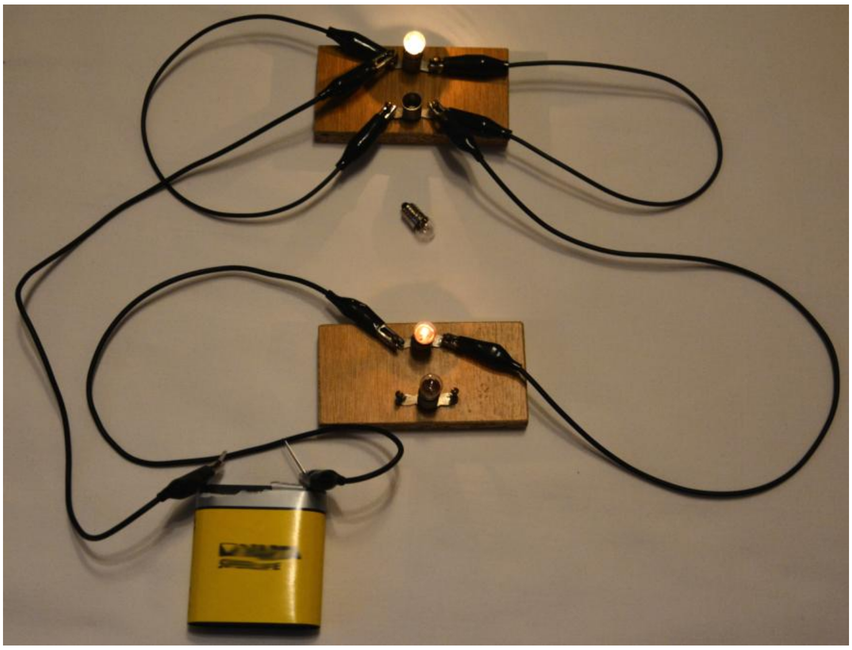
Elektrický obvod - vyšroubování žárovky

Vedení stejnosměrného elektrického proudu v kovech je základem dalšího studia elektrických obvodů. Proto by žáci tuto problematiku měli dobře pochopit. K tomu může přispět i následující úloha, kterou lze zadat jako problémovou: Na obr. 29 je zobrazen elektrický obvod tvořený dvěma paralelně spojenými žárovkami, k nimž je sériově připojena třetí. Všechny žárovky jsou stejné a jsou připojeny ke zdroji napětí. Jak se změní jas zbývajících žárovek v obvodu, jestliže jednu ze dvou paralelně zapojených žárovek vyšroubujeme?

Žáky necháme nejdříve o úloze přemýšlet, vyslechneme jejich odpovědi a poté změnu obvodu zrealizujeme (viz obr. 30). Je vidět, že původně paralelně zapojená žárovka svůj jas zvýší, zatímco žárovka zapojená původně sériově svůj jas sníží.



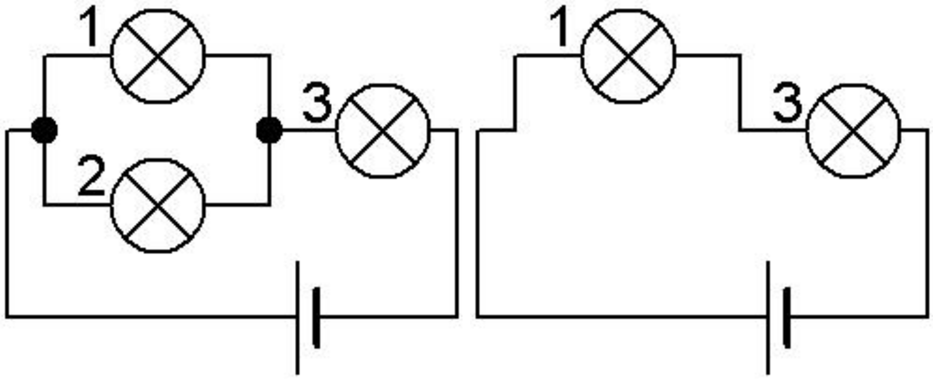
Obr. 29: Původní obvod



Obr. 30: Obvod s vyšroubovanou žárovkou

Před dalším vysvětlením je vhodné zakreslit schémata obou uvažovaných obvodů (viz obr. 31 a 32). Schéma druhého obvodu je záměrně nakresleno tak, aby bylo jasné, z jakého místa obvodu byla odstraněna žárovka.

Pokud budeme považovat žárovky za elektrotechnické součástky s konstantním odporem (což v tomto případě lze), můžeme odpor každé z nich označit symbolem R. Původní obvod tak bude mít celkový odpor $1{,}5R$. Na žárovkách 1 a 2 bude stejné napětí, protože jsou spojené paralelně. Napětí na žárovce 3 bude stejné, jako napětí na žárovkách 1 a 2, protože se jedná o stejné žárovky. Ve shodě s prvním Kirchhoffovým zákonem ale žárovkou 3 poteče dvakrát větší proud, než žárovkou 1 a žárovkou 2. Proto bude žárovka 3 svítit jasněji.



Obr. 31 a obr. 32: Schémata obou uvažovaných obvodů

Po vyšroubování žárovky číslo 2 budou žárovky 1 a 3 zapojeny sériově. Celkový odpor obvodu proto bude 2*R*. Proto obvodem (při stejném napětí zdroje jako v prvním případě) poteče menší proud, než tekl žárovkou 3 v prvním případě. Žárovka 3 tedy bude svítit méně jasně, než svítila v prvním případě. Žárovkou 1 poteče stejný proud, jako teče žárovkou 3; ten bude přitom větší, než byl elektrický proud tekoucí žárovkou 1 v prvním případě. Proto se jas této žárovky zvýší. Obě žárovky tak budou svítit stejně.

Tato úloha je zajímavá i tím, že poté, co z obvodu vyšroubujeme jednu žárovku, která má určitý nenulový odpor, celkový odpor obvodu vzroste.

Závěr

Výše popsané úlohy se žáky skutečně řešíme a podle mých zkušeností takto zadané úlohy řeší raději, než úlohy zadané standardním způsobem. Podobných úloh lze vymyslet více, osobně mám další v zásobě. V tomto příspěvku jsem se omezil jen na některé z nich. Vzhledem k tomu, že učím na střední škole, mohou být některé z úloh třeba pro žáky základní školy obtížnější nebo neřešitelné. To už je ale na učiteli, zda takovou úlohu žákům zadá nebo ne resp. žákům k řešení pomůže vhodně zvolenými návodnými otázkami.

Poděkování

Za pomoc při přípravu článku děkuji Davidovi Bielickému a Jakubovi Tomaidesovi, žákům třídy 13L SPŠST Panská, Praha.

Literatura a další zdroje

[1] Metodický portál RVP - určování polohy těžiště tělesa [online]. [cit. 2015-10-14]. Dostupné z WWW: http://clanky.rvp.cz/clanek/o/g/2271/URCOVANI-POLOHY-TEZISTE-TELESA.html/

[2] BROWN, D., *Ztracený symbol*, nakladatelství Argo, Praha, str. 383