

Zajímavé úlohy z mechaniky II

TOMÁŠ NEČAS

Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše 14

Součástí gymnaziální výuky fyziky je řešení kvantitativních úloh. Na nich ukazujeme praktické použití fyziky a v hojně míře je používáme také k testování dovedností studentů. V příspěvku předvedu nevýhody tradičních úloh a představím projekt, jehož cílem je, aby studenti fyziku opravdu používali, nikoliv jen „dosazovali do vzorců“, „vyjadřovali neznámou“ a „dávali pozor na jednotky“.

Motivace

V předchůdci tohoto příspěvku [1], na který volně navazuji, jsem se zabýval tvorbou zajímavých úloh z mechaniky (a středoškolské fyziky vůbec), kterých je podle mého názoru nedostatek. Při vymýšlení mnoha zajímavých úloh jsem zjistil, že při jejich samotné tvorbě a objevování se odehrává většina zajímavé „fyzikální“ práce, kterou by si studenti mohli bez větších problémů sami vyzkoušet. Na základě toho jsem vytvořil projekt, který zde stručně představím.

Na úvod musím uvést, že v žádném případě nejsem proti řešení tradičních kvantitativních úloh, jaké najdeme ve sbírkách nebo si sami vymyslíme (kvantitativní zadání, jeden nebo více vztahů, vyjádření neznámé nebo vyřešení rovnic, dosazení zadaných hodnot ve správných jednotkách, výsledek, atd). Chci pouze upozornit na některá jejich omezení či úskalí. Níže představený projekt je potřeba chápat jako zajímavé doplnění, nikoliv nahrazení tradičních úloh.

Předem jsem si položil několik kritických otázek ohledně zmiňovaných tradičních úloh a jejich zařazení do výuky:

- 1. Jsou potřebné?* Odpovídám ano, ale... Otázka zní do jaké míry (množství, obtížnost, smysluplnost, atd...) jsou potřebné jako součást všeobecného fyzikálního vzdělání lidí, kteří se nebudou fyzikou, matematikou či technikou dále zabývat.
- 2. Jde o fyziku nebo matematiku?* Domnívám se, že z velké části jde o matematiku. To není na škodu, ale je dobré to vědět.
- 3. Poznává se na nich porozumění fyzice?* Ze zkušenosti vím, že velmi omezeně. Studenti dobří v matematice dosahují u řešení úloh mnohdy dobrých výsledků aniž by k tomu potřebovali rozumět tomu, co vlastně počítají. Z tohoto pohledu se vlastně často jedná o slovní úlohy na přímou či nepřímou úměrnost, případně jiné jednoduché funkce či soustavy rovnic.

4. Jsou zajímavé pro studenty? Zkušenosti opět podporují negativní odpověď. Ostatně ne všechno může být zajímavé. Jedná se spíše o dovednost, kterou je třeba zvládnout, než něco, co přitáhne studenty k zájmu o fyziku.

5. Kolik procent známky tvoří? Odpověď pochopitelně záleží na zaměření třídy, programu výuky a pohledu učitele. Můj názor je, že by to nemělo být víc než 50%.

Projekt

Zadání je formulováno tak, aby bylo možné jej zadat studentům jako domácí projekt v průběhu prvního ročníku gymnázia poté, co zvládnuli základy mechaniky hmotného bodu. Studenti mají za úkol vyřešit fyzikální problém na zadané téma a přitom splnit všechny požadavky „vědecké práce“ dle následujícího přehledu:

1. Zadání - (kvalitativní nebo kvantitativní) - výběr jasně položených otázek, stanovení cílů, otázky: jak, proč, kolik

2. Model - síly, zákony pohybu, zachování hybnosti, energie

- zjednodušení, omezení (např. které síly uvažujeme a které ne)

3. Čísla - získání číselných hodnot potřebných veličin a popis, kde jsme je získali (internet, vlastní experiment, odhad,...)

4. Vysvětlení - odpovědi na kvalitativní otázky pomocí zvoleného modelu, fyzikálních zákonů

5. Výpočty a jejich výsledky - odpovědi na kvantitativní otázky pomocí zvoleného modelu (případně porovnání s experimentem, skutečností)

6. Popularizace - zajímavosti, výskyt a význam v praxi, shrnutí.

Přesné zadání požadavků je velmi důležité ze dvou důvodů. Za prvé usnadňuje hodnocení: zabraňuje stahování textů z internetu, vyžaduje jasně definovanou vlastní práci. Za druhé je velkým přínosem pro studenty, protože se učí pracovat systematicky a seznamují se se způsobem práce ve fyzice a ve vědě vůbec.

Témata

Nyní představím stručně dvanáct „problémů“. Podrobnější zpracování každého tématu by vyžadovalo samostatný příspěvek, proto zde uvedu jen jejich zadání s krátkým komentářem. Problémy jsou schválně formulovány volně, takže přesné řešení ani neexistuje. Každý při jejich řešení může zajít do různé hloubky a složitosti, případně si položit mírně odlišné otázky. Základní principem je však vždy jednoduchá aplikace mechaniky. Místo podrobností u každého problému vždy stručně uvádím jeho základní myšlenku, případně odkazy a zajímavosti. Rovněž při představování problémů studentům je vhodné odpovídající komentář připojit.

1. Brždění auta. Jak se liší brzdná dráha aut pro různé povrchy silnice a různé rychlosti? Na čem ještě záleží výsledná brzdná dráha?

Pokud nepočítáme s odporem vzduchu, působí ve vodorovném směru pouze stále stejná třecí síla (můžeme počítat, že kola jsou zablokovaná). Jedná se tedy o rovnoměrně zpomalený pohyb a brzdnu dráhu snadno určíme jako funkci koeficientu tření a počáteční rychlosti. Hodnoty koeficientu tření najdeme v tabulkách nebo na internetu [2]. Dále je možné diskutovat vliv reakční doby člověka, použití ABS nebo odhadovat vliv odporu vzduchu. Výsledky můžeme snadno porovnávat s údaji o brzdě dráze, které najdeme například na stránkách BESIPu [3].

2. Spotřeba auta. Které síly působí proti pohybu při jízdě a jaký je jejich vliv na spotřebu energie? Na čem záleží spotřeba auta?

Základní myšlenkou je uvědomění si rozdílu mezi zrychleným a rovnoměrným pohybem z hlediska sil a energie. Můžeme odhadnout valivý odpor, jehož příspěvek je konstantní. Rozhodující je pak odpor vzduchu, který počítáme podle Newtonova vztahu. Mnoho koeficientů a ploch průřezu různých automobilů najdeme na wikipedii [4], stačí zadat „automobile drag“. Přepočítání spotřebovaný benzín už by byl dost náročný, ale alespoň přibližné porovnání se skutečností možné je. Můžeme například odpovědět na otázku, proč existuje nějaká optimální rychlost, při které je spotřeba auta nejmenší.

3. Superhrdina. Je možné, aby padouch po zásahu kulkou odletěl několik metrů a akční hrdina zůstal stát? Jakou rychlostí odletí člověk po zásahu různými zbraněmi?

Tento problém je jednoduchý. Stačí uvažovat zákon zachování hybnosti pro nepružnou srážku projektilu s člověkem. Rychlosti a hmotnosti projektilů není těžké najít. Střelec i zasažený pochopitelně odlétají stejně velkou rychlostí.

4. Spirála Smrti. Proč je možné ji projet? Jakou rychlost je třeba získat?

Jedná se o tradiční úlohu. Parametry dráhy je možné hledat u různých horských drah (anglicky roller coaster). Vysvětlení průjezdu smyčkou dá většinou víc práce než samotný výpočet. Je možné zařadit i energetickou úvahu.

5. Tanker. Největší námořní lodě mají brzdnu dráhu přes 5 kilometrů. Proč?

Brždění tankeru můžeme odhadovat dost obtížně, protože neznáme příspěvek odporu prostředí. Co však můžeme snadno najít, je hmotnost lodi a její rychlost. Pak buď počítáme pomocí energie a k tomu potřebujeme znát výkon brzdě síly nebo pomocí sil respektive hybnosti, pak potřebujeme znát brzdnu sílu. Údaje například o obřím tankeru Knock Nevis snadno najdeme na wikipedii [5].

6. Lyžař. Bude těžší lyžař při jízdě skopce rychlejší? Na čem to záleží? Jaké je maximální možné zrychlení lyžaře při jízdě po nejprudší sjezdovce?

Součástí této úlohy je nejprve důležité a obtížné kvalitativní vysvětlení první otázky. Je třeba vysvětlit, proč při působení gravitace a tření na hmotnosti nezáleží, zatímco při působení odporu vzduchu ano. Kvantitativní část může obsahovat například výpočet pohybu po nakloněné rovině (samozřejmě bez odporu vzduchu).

7. Cesta na Měsíc. Podle Julese Verna měli být lidé vystřeleni v obřím projektilu. Proč to není možné? Jaké by bylo přetížení v kabině?

V nejlepším možném případě by se posádka „projektilu“ pohybovala v hlavní děla rovnoměrně zrychleně. Takový pohyb dokážeme snadno popsat a určit jeho zrychlení v závislosti na délce děla a potřebné rychlosti při jeho opuštění. Tyto parametry prostě odhadneme. Pro srovnání je možné doplnit, že přetížení v raketoplánu během startu je zhruba 3g.

8. Vodní elektrárna. Na čem záleží výkon vodní elektrárny? Které jsou nejdůležitější a proč?

K řešení tohoto problému použijeme zákon zachování energie. Konkrétně nás zajímá úbytek potenciální energie vody v gravitačním poli. Vyjde nám závislost na spádu (rozdílu hladin) a průtoku. Parametry různých vodních elektráren najdeme snadno, jen musíme dávat pozor na značný rozdíl mezi maximálním výkonem (instalovaným) a průměrným, který nám vyjde z průměrného průtoku daným místem. Tyto hodnoty se mohou řádově lišit.

9. Kaskadérský skok. Jakou rychlostí se musí rozjet kaskadér, aby něco přeskočil?

Jedná se o tradiční úlohu na šikmý vrh. Zajímavá je pouze otevřeným zadáním. Předpokládáme, že odpor vzduchu se zanedbává. Jsou však dostupné programy (například na [6]), které simulují šikmý vrh s odporem vzduchu a je možné provést srovnání.

10. Raketoplán na oběžné dráze. Jakou rychlostí obíhá a proč? Za jak dlouho obletí Zemi? Proč je v něm stav beztlíže?

Základní řešení úlohy spočívá ve vysvětlení kruhového pohybu kolem Země a „oblíbeného“ stavu beztlíže. Pak stačí doplnit v jaké výšce raketoplán obíhá a můžeme odpovédět i na otázku, kolik východů slunce posádka stihne za 24 hodin.

11. Formule 1. Proč může projet zatačku velkou rychlostí? Jaký má koeficient odporu? Jaké zde působí síly?

Například na stránce věnované konstrukci vozu F1 [7] najdeme pěkné vysvětlení základních principů a také pár potřebných čísel. Základní myšlenka spočívá v tom, že

třecí síla se zvedá díky dodatečné aerodynamické přitlačné síle. Díky tomu ale má F1 sice větší odpor vzduchu, ale díky přitlaku lépe „sedí“ v zatáčce. Číselné porovnání sil (přítlak, tření, odpor) pak už není obtížné.

12. Kapky deště. Jakou rychlostí padají kapky deště? Jak to záleží na jejich velikosti? Proč nás nezabijí?

Odpor vzduchu v tomto případě zanedbat nemůžeme. Pokud předpokládáme kulový tvar kapek, můžeme ale určit mezní rychlost pádu kulového tělesa ve vzduchu v závislosti na jeho průměru. Zajímavé je, že mezní rychlost závisí na odmocnině z průměru kapky. Stačila by i jednodušší odpověď, že „velké kapky padají rychleji“. To známe dobře z praxe jako rozdíl mezi mlhou, mrholením a bouřkou.

Literatura

- [1] Nečas T.: *Zajímavé úlohy z mechaniky*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 12. Ed.: Dvořák L. Prometheus Praha 2007. s. 74-79.
- [2] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tření>
- [3] <http://www.ibesip.cz/Rychlost/Draha-pro-zastaveni-vozidla>
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficient
- [5] http://cs.wikipedia.org/wiki/Knock_Nevis
- [6] <http://phet.colorado.edu/index.php>
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Formula_One_car