

EXPERIMENTÁLNE SPRÍSTUPŇOVANIE FYZIKÁLNYCH POZNATKOV

Marián Kireš

Oddelenie didaktiky fyziky, ÚFV PF UPJŠ v Košiciach

Abstrakt: *Objavovanie krás fyziky ako experimentálnej vedy má byť aj pre študenta experimentálnou cestou. V príspevku je predstavené riešenie vybraného experimentálneho problému pre úroveň žiakov stredných škôl. Riešenie je založené na aktívnom prístupe študentov s cieľom pochopiť fyzikálnu podstatu skúmaného javu. Nami navrhnutý postup obsahuje: analýzu zaujímavého fyzikálneho javu, návrh experimentu, voľbu metódy merania, zostavenie originálnej experimentálnej aparatury, počítačové spracovanie nameraných dát, vylepšenie aparatury, zvýšenie presnosti merania, tvorbu teoretického modelu a ozrejmienie fyzikálnej podstaty skúmaného javu, spracovanie foto a video dokumentácie a prípravu multimediálnej prezentácie pre rovesníkov. Na ukážku je prezentované riešenie viacnásobnej centrálnej zrážky nedokonale pružných guľôčok.*

Kľúčové slová: fyzikálny experiment, Turnaj mladých fyzikov, viacnásobné zrážky nedokonale pružných lôpt.

Úvod

Vo vyučovaní fyziky sa nám núka jedinečná šanca využívať prirodzenú zvedavosť a hravý prístup k riešeniu problémov, čo sú charakteristické znaky osobnosti dieťaťa širokého rozpätia školského veku. Otvorené problémy, bez vopred špecifikovaného postupu riešenia, s priestorom pre vlastný prístup, predstavujú pri vhodnej formulácii výzvy, ktorým sa ťažko odoláva. Ak na realizáciu experimentov ponúkneme využitie moderných meracích prístrojov a umožníme ovládať a modifikovať priebeh pozorovaného javu, znásobíme tak žiakov emotívny zážitok a docielime nadšenie z možnosti originálneho prevedenia a osobitého prístupu k skúmaniu. Preukázateľnosť výsledkov vlastnej činnosti v kolektíve, možnosť ich porovnania a vyhodnotenia sú podporené prirodzenou žiackou súťaživosťou. Zaznamenanie priebehu a spracovanie výsledkov pozorovaní a meraní pomocou modernej počítačovej techniky, ukazuje na častokrát nepoznané možnosti jej praktického využívania. Súhra medzi vnútorným svetom žiaka a podnetmi, ktoré dostáva, vytvárajú predpoklady pre efektívne osvojovanie poznatkov a dosahovanie trvácných vedomostí a zručností.

Má žiak šancu realizovať experimentálne skúmanie javov?

Realizácia experimentov v školských podmienkach kladie nároky na technické vybavenie, jeho udržiavanie a modernizáciu, potrebné je vhodné priestorové riešenie laboratória, nasadenie a erudovanosť vyučujúceho, ktorý spravuje a zveľaduje vybavenie fyzikálneho kabinetu. Zabezpečenie potrebného prístrojového vybavenia je finančne pomerne náročné, pričom drobné jednorazové investície sú zväčša len náplastou na kritický stav a neriešia samotný problém s vybavením. Až prekročením istej hranice dostupných technických prostriedkov na škole, je možné naplno rozvinúť ich plnohodnotné, flexibilné a účelné využívanie ako celku. Realitou je však skôr zastarané, často nefunkčné vybavenie, hodiace sa skôr na demonštráciu javov ako ich presné meranie. Nespoľahlivosť prístrojového vybavenia pre vzdelávacie účely podkopáva autoritu ako aj sebavedomie učiteľov a postupne ich privádza k popisným a teoretickým prístupom fyzikálneho vzdelávania. Žiak je prevažne pasívnym

divákovi, sledujúcim s lepším prípadom demonštračný experiment predvádzaný učiteľom, v tom horšom len výklad teoretických poznatkov.

V rámci školského vzdelávania sa majú rozvíjať experimentálne zručnosti žiakov, vybudovať u nich kompetencie k experimentálnemu riešeniu problémov, vytvoriť vzťah objavovaniu nových poznatkov vlastnou poznávacou činnosťou. Pri súčasnom stave, ide len o víziu, na naplnenie ktorej budeme musieť ešte dlho čakať.

Svetlým bodom práce žiaka v oblasti experimentálnej činnosti sú častokrát len domáce projekty, experimentálne úlohy FO, práce SOČ, TMF alebo aktivity realizované v rámci práce fyzikálneho záujmového útvaru či v rámci rôznych foriem voľnočasových vzdelávacích aktivít.

Turnaj mladých fyzikov – priestor pre vedecké skúmanie

Ide o medzinárodnú súťaž družstiev študentov stredných škôl, ktorej náplňou je riešenie 17 otvorených experimentálnych problémov [1]. Členovia družstva vystupujú pri obhajovaní vlastných riešení v pozíciách: referent, oponent a recenzent. V presne vymedzenom čase podľa stanovených pravidiel musia zvládnuť náročné pozície, pričom komunikácia prebieha v anglickom jazyku. Dôraz sa kladie na vystihnutie podstaty javu, komplexnosť jeho skúmania v duchu zadania, jednoznačnosť výsledkov, teoretický model skúmaného deja, súlad teórie a praxe, kvalitnú dokumentáciu riešenia, presvedčivú prezentáciu a správne reakcie na pripomienky a komentáre ako členov súťažných družstiev tak aj členov poroty.

Ako pracujeme so študentmi

Komplexné spracovanie experimentálnej úlohy vyžaduje systematickú prácu študentov, ktorá má logicky usporiadané kroky a zásady [8]. Pri riešení úloh TMF postupujeme cez sériu stanovených krokov, ktoré sú zamerané na:

- ako chápeme zadanie úlohy – čítanie s porozumením, objasnenie významu pojmov, definovanie stanoveného prístupu,
- súvisiace fyzikálne problémy – vytýčenie a teoretické štúdium súvisiacich fyzikálnych pojmov a javov, ich pochopenie a väzba na riešený problém,
- návrh prvotnej aparatury – konštrukcia jednoduchej aparatury na demonštráciu javu, oboznámenie sa s jeho priebehom, návrh meracej aparatury,
- demonštrácia javu – sledovanie javu pri rôznych podmienkach, hľadanie príčinných súvislostí, tvorba hypotéz,
- prvotné výsledky meraní – spracovanie nameraných údajov, ich analýza, konfrontácia so zadaním úlohy,
- v čom vidíme fyzikálnu podstatu javu – špecifikácia fyzikálneho odôvodnenie, príprava argumentov k obhajobe, štúdium teoretických poznatkov,
- tvorba teoretického modelu – návrh a tvorba teoretického opisu experimentálneho javu, modelovanie priebehu, počítačové modelovanie, porovnanie s reálnym dejom,
- inovácia meracej aparatury – spresnenie meraní, zväčšenie rozsahu meraných veličín, nové merania pri zmenených podmienkach,
- spresnenie výsledkov meraní – kompletizácia všetkých nameraných údajov, tvorba prehľadových grafov, sumárnych tabuliek,
- dokumentácia k meraniu – foto a video dokumentácia realizovaných meraní, počítačové animácie, grafické návrhy,
- tvorba ppt prezentácie – spracovanie multimediálnej nelineárnej prezentácie, kontrola funkčnosti, graficky jednotné prostredie,
- nácvik prezentovania a diskusie s oponentom – dodržanie časového priestoru, vystihnutie podstaty, presvedčivosť podania, príprava na vedeckú diskusiu.

Systematická práca žiakov vyžaduje pravidelné stretnutia členov družstva minimálne raz v týždni aspoň na dve hodiny. Stretnutia sú realizované na pôde Prírodovedeckej fakulty, kde majú študenti k dispozícii laboratórium školských pokusov a počítačom podporované laboratórium ako aj prístup k internetu a k elektronickým databázam odborných časopisov.

Ako ukážku predstavím riešenie problému viacnásobnej zrážky nedokonale pružných gúľ.

Najmenšia berie všetko (viacnásobné zrážky nedokonale pružných gúľ)

Problém: Ak necháme spadnúť dvojicu loptičiek (menšiu na vrchu) na tvrdý povrch, menšia guľôčka často vyletí oveľa vyššie, než by vyletela pri obyčajnom odraze. Veľká guľôčka sa pritom odrazí len minimálne. Vyšetrite tento jav a zostrojte systém s maximálne štyrmi guľôčkami, s pomocou ktorého vrchná guľôčka vyletí čo najvyššie.

Ako sa odrážajú kamarátske guľôčky

- guľôčku necháme dopadnúť z výšky h na pevnú podložku,
- pružná guľôčka sa odrazí a vystúpi do výšky h_1 ,

Čo vieme povedať o výškach h_1 a h ?
Musí byť stále h_1 menšie ako h ?

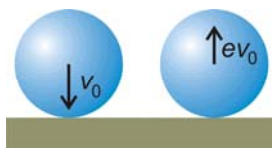
- ak sú rýchlosti po zrážke v_2' , v_1' a pred nárazom v_2 , v_1 , definujeme koeficient reštitúcie:

$$e = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$$

- v našom prípade:

$$e = -\frac{v_1 - 0}{-v_0 - 0} \quad \text{t.j.:} \quad v_1 = ev_0.$$

- guľôčka zvyčajne nevratne použije časť pohybovej energie na deformáciu, $e < 1$,



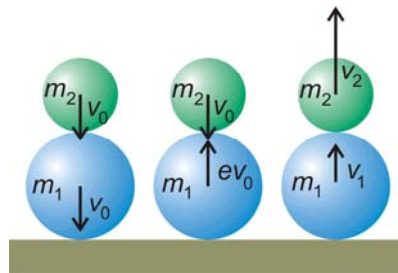
Obr. 1: Odráž guľôčky od podložky

Za akých podmienok by sa mohlo $h_1 = h$?

Mohlo by byť h_1 väčšie ako h ?

Dve padajúce guľôčky

- uložme dve guľôčky na seba a nechajme ich spoločne padať na zem,
- pri náraze o zem sa prvá guľôčka deformuje, počas deformácie sa druhá ešte stále pohybuje nadol,
- keď sa už prvá guľôčka nedokáže viac deformovať, začína sa vyrovnávať, pričom sa pohybuje proti druhej guľôčke,
- guľôčky sa zrážajú a odovzdávajú si energiu,



Obr. 2: Odras druhej guľôčky

Čím je podmienený výsledok zrážky dvoch guľôčok pohybujúcich sa oproti sebe?
Ako by vyzerala zrážka, pri ktorej druhá guľôčka vyletí do najväčšej možnej výšky?
Aké guľôčky by ste vybrali pre dosiahnutie maximálnej výšky výstupu po zrážke?

- celková hybnosť guľôčok pred a po zrážke musí byť rovnaká, (pri zrážke platí zákon zachovania hybnosti)

$$-m_2 v_0 + m_1 e v_0 = m_2 v_2 + m_1 v_1$$

$$e = -\frac{v_2 - v_1}{-v_0 - e v_0} \quad e = \frac{v_2 - v_1}{v_0(1+e)}$$

- pri troške matematickej zručnosti dokážeme z predchádzajúcich rovníc vyjadriť:

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{e m_1 - (1+e+e^2)m_2}{m_1 + m_2} \quad \frac{v_2}{v_0} = \frac{e(2+e)m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

Čo nám rovnice našepkávajú o maximálnej výške výstupu pre druhú guľôčku?

- potrebujeme mať situáciu, pri ktorej:

$$e m_1 - (1+e+e^2)m_2 = 0 \quad \text{čo platí pre : } m_1 = m_2 \left(1 + e + \frac{1}{e}\right)$$

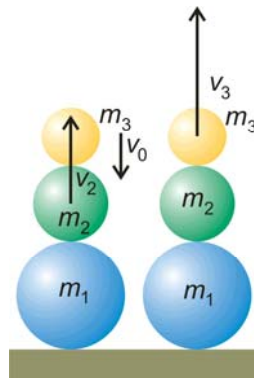
- pričom rýchlosť druhej guľôčky p odraze bude:

$$v_2 = e(1+e)v_0$$

Ako odmeriame veličinu e pre použité guľôčky?

- ak by sme mali $e = 1$, potom pri hmotnosti : $m_1 = 3m_2$ po zrážke prvá guľôčka ostane v pokoji a druhá vyletí do maximálnej výšky, $v_2 = 2v_0$.
- Ak reálne $e = 0,75$, musíme pre maximálnu výšku výstupu použiť guľôčky s hmotnosťami $m_1 = 3,08 m_2$, $v_2 = 1,31v_0$

Tri padajúce guľôčky



Obr. 3: Odras tretej guľôčky

Pre uvažovanú zrážku guľôčok m_2 a m_3 môžeme zákon zachovania hybnosti za písať v tvare:

$$-m_3v_0 + m_2v_2 = m_3v_3$$

Gulôčka s hmotnosťou m_3 získa rýchlosť v_3 pri zrážke, ktorá je charakterizovaná koeficientom reštitúcie e , pre ktorý môžeme písať:

$$e = \frac{v_3 - 0}{v_0 + v_2}$$

Pre pomer rýchlostí v_3 a v_0 dostávame:

$$\frac{v_3}{v_0} = e^2(1 + e) + e$$

Gulôčka s hmotnosťou m_2 ostáva po zrážke v pokoji, ak pre pomer hmotností m_3 a m_2 platí:

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{e(1 + e)v_0}{v_3 + v_0}$$

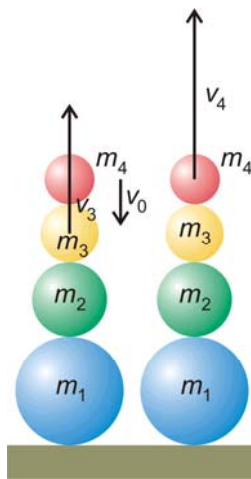
Dostávame:

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{e}{e^2 + 1}$$

V ideálnom prípade, keď $e = 1$, pri hmotnosti: $m_3 = \frac{1}{2}m_2$, dosiahne gulôčka s hmotnosťou m_3 rýchlosť: $v_3 = 3v_0$.

V reálnom prípade, ak napr. $e = 0,75$, dosiahne gulôčka pri hmotnosti: $m_3 = 0,48m_2$, rýchlosť: $v_3 = 1,73v_0$.

Štyri padajúce gulôčky



Obr. 4: Odraz štvrtej gulôčky

Pre uvažovanú zrážku gulôčok m_3 a m_4 môžeme zákon zachovania hybnosti za písať v tvare:

$$-m_4v_0 + m_3v_3 = m_4v_4$$

Gulôčka s hmotnosťou m_4 získa rýchlosť v_4 pri zrážke, ktorá je charakterizovaná koeficientom reštitúcie e , pre ktorý môžeme písať:

$$e = \frac{v_4 - 0}{v_0 + v_3}$$

Pre pomer rýchlostí v_4 a v_0 dostávame:

$$\frac{v_4}{v_0} = e[(1 + e)(1 + e^2)]$$

Gulôčka s hmotnosťou m_3 ostáva po zrážke v pokoji, ak pre pomer hmotností m_4 a m_3 platí:

$$\frac{m_4}{m_3} = \frac{[e^2(1+e)+e]v_0}{v_4+v_0}$$

Úpravou dostávame:

$$\frac{m_4}{m_3} = \frac{e+(1+e)e^2}{1+e(1+e)(1+e^2)}$$

V ideálnom prípade, keď $e = 1$, dosiahne gulôčka s hmotnosťou m_4 , pri hmotnosti:

$$m_4 = \frac{3}{5}m_3, \text{ rýchlosť: } v_4 = 4v_0$$

V reálnom prípade, ak napr. $e = 0,75$, dosiahne gulôčka s hmotnosťou m_4 pri hmotnosti: $m_4 = 0,57m_3$, rýchlosť: $v_4 = 2,05v_0$.

Výška výstupu

Gulôčka padajúca voľným pádom prešla dráhu h_0 , premenou polohovej energie získala v okamihu dotyku s podložkou rýchlosť v_0 . Ak je rýchlosť odrazu gulôčky v_4 , vystúpi pri pohybe zvislo nahor do výšky h_4 , pričom platí:

$$\frac{v_4}{v_0} = \sqrt{\frac{h_4}{h_0}}$$

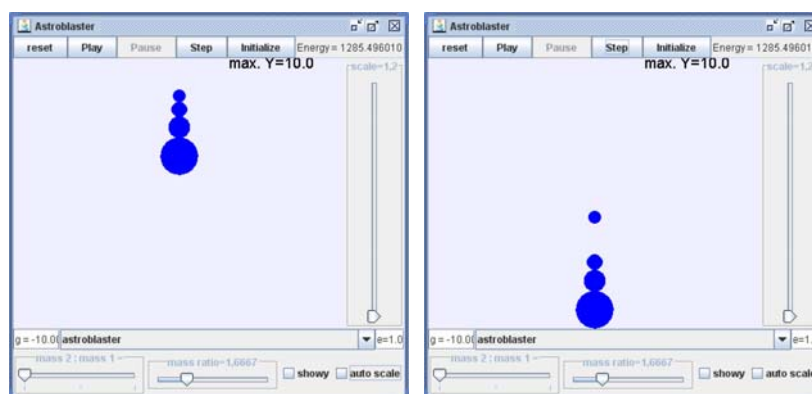
Nakoľko gulôčka pri ideálnych podmienkach získa rýchlosť $v_4 = 4v_0$, dosiahne výšku výstupu:

$$h_4 = 16h_0.$$

Ak budeme uvažovať veľkosť koeficientu reštitúcie pre všetky zrážky $e = 0,75$, gulôčka sa odráža rýchlosťou: $v_4 = 2,05v_0$ a vystúpi do výšky: $h_4 = 4,20h_0$.

Na skúmanie opísaného procesu sme zakúpili väčší počet gulôčok rôznych hmotností, priemerov a pružností. Gulôčky sme v strede prevrtali vrtákom 0,1 mm. Testovali sme rôzne zostavy gulôčok voľne upevnených na tenkom silonovom vlákne, ktoré umožňovalo ich jednoduché upevnenie vo vertikálnej polohe. S vybranými zostavami štyroch gulôčok sme realizovali sériu meraní pre rôzne počiatkové výšky a rôzne podklady. Pre namerané hodnoty koeficientu reštitúcie sme určovali maximálnu výšku výstupu štvrtej gulôčky v závislosti na počiatkovej výške. Dokázali sme zhodu medzi teoretickými výpočtami a experimentálnymi údajmi.

Počítačové modelovanie



Obr. 5 Okno applety na modelovanie zrážok 4 gulôčok

Pre skúmanie uvedeného javu pri rôznych pomeroch hmotností guľôčok, rôznych koeficientoch reštitúcie sme upravili applet prof. Fu-Kwun Hwanga [7], vytvorený v prostredí EJS (Easy java Simulations). Máme možnosť sa presvedčiť, že pri náhode zvolených pomeroch hmotností guľôčok nastávajú s sústavou mnohonásobné zrážky a výška výstupu štvrtej guľôčky nie je výrazná. Ak pri zvolenom koeficiente reštitúcie, nastavíme pomer hmotností podľa vyššie uvedených teoretických výpočtov, guľôčky po dopade ostávajú v klude, výška výstupu štvrtej guľôčky je maximálna. Applet môže byť vhodným nástrojom na overenie získaných teoretických vedomostí študentov a interaktívnym prostriedkom objavovania nových poznatkov.

PodĎakovanie

Uvedený príspevok vznikol s podporou projektov APVV LPP-0192-06, LPP-0131-06.

Literatúra:

- [1] Kluiber, Z.: Tvůrčí náboj úloh Turnaje mladých fyziků. MAFY, Hradec Králové 2005, 149 str.
- [2] George Barnes, "Study of collisions Part I. A survey of the periodical literature," Am. J. Phys. 26, 5–8 (1958).
- [3] Walter R. Mellen, "Aligner for elastic collisions of dropped balls," Phys. Teach. 33, 56–57 (1995).
- [4] John B. Hart, Robert B. Herrmann, "Energy Transfer in One-Dimensional Collisions of Many Objects," Am. J. Phys. 36, 46 (1968).
- [5] Iain MacInnes, "Debouncing a Superball, " The Physics Teacher, Vol. 45, May 2007, pp. 304 – 305
- [6] Rod Cross, Vertical bounce of two vertically aligned balls, Am. J. Phys. 75, 1009 (2007)
- [7] <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php>
- [8] Kluiber, Z.: Turnaj mladých fyziků. MAFY, Hradec Králové 1996, 43 str.

Adresa autora

RNDr. Marián Kireš, PhD.
ODF ÚFV PF UPJŠ
Angelinum 9
041 54 Košice
Email: marian.kires@upjs.sk