

Explozivní děje ve vesmíru

VLADIMÍR ŠTEFL – JULIUSZ DOMANSKI

Přírodovědecká fakulta MU, Brno – Toruň

Cílem článku je seznámit studenty středních škol s problematikou explozivních dějů probíhajících na kosmických tělesech různých typů. Co rozumíme explozí? Chápeme ji jako rychlou změnu fyzikálního stavu kosmického tělesa doprovázenou přeměnou energie a jejím uvolňováním do okolního prostoru. Exploze jsou vyvolány různými příčinami a jsou rozdílné svými vnějšími projevy a velikostí při nich uvolňované energie. Zpravidla jejich společným znakem je vyvrhování hmoty, jakož i produkce záření, které způsobuje přeměnou části uvolněné energie na kinetickou, resp. tepelnou energii. Výrony hmoty dosahují rychlostí od řádově $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ až do několika desítek tisíc $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; typické velikosti uvolňovaných energií jsou zachyceny v tabulce v dalším odstavci.

Vzhledem k různorodosti astrofyzikálních podmínek je obtížné vytvořit přesné číselné představy o zářivých výkonech kosmických těles a velikostech energií uvolňovaných při explozivních procesech. Budeme se proto opírat o zjednodušující kvalitativní úvahy, které však vystihují astrofyzikální podstatu jevů a umožňují provést alespoň číselné odhady veličin. Přitom vycházíme z fyzikálních znalostí studentů středních škol.

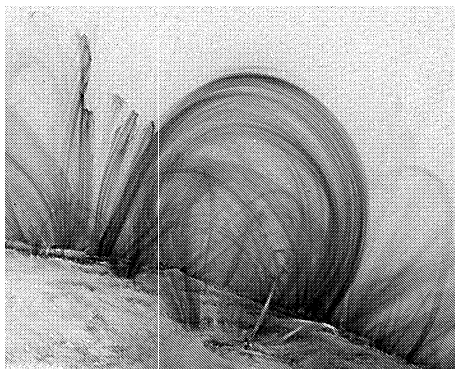
Které procesy charakterizují explozi? V astrofyzikálních jevech je podstatná část uvolňované energie při explozi předávána částicím – elektronům, protonům, resp. dalším částicím. Z detekované hustoty zářivého toku při znalosti vzdálenosti můžeme stanovit celkové množství uvolňované energie. Pro porovnání uvádíme některé číselné hodnoty typických velikostí energií z explozivních jevů na Zemi a ve vesmíru:

atomová bomba nad Hirošimou	10^{14} J
exploze sopky	10^{17} J
velká erupce na Slunci	10^{25} J
exploze novy	10^{39} J
exploze supernovy	10^{46} J
exploze v M 82	10^{50} J

Postupně uvedeme jednotlivé explozivní jevy probíhající na hvězdách. Nejbližší hvězdou je naše Slunce.

Slunce

Sluneční *erupce* probíhající v chromosféře, resp. koróně, jsou vyvolány urychlováním pohybu nabitých elektronů, protonů a těžších iontů magnetickými poli. Trvají řádově několik minut, vznikají zpravidla v blízkosti slunečních skvrn. Při přibližné hmotnosti vyvržené hmoty 10^{13} kg a její rychlosti až $1,5 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$ je kinetická energie uvolněná při erupci přibližně 10^{25} J. Část energie je transformována na zmiňované urychlení elementárních částic, další část na rentgenové a ultrafialové záření. Erupce (obr. 1) vyvolávají vznik rázových vln, šířících se jak vzhůru do koróny, tak dolů do fotosféry či horizontálně podél povrchových vrstev sluneční atmosféry.



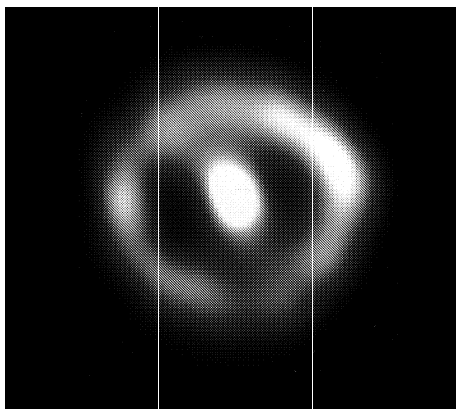
Obr. 1

Poznámka: Sluneční erupce výrazně ovlivňují horní vrstvy zemské atmosféry, vedou ke komplexu jevů v celé atmosféře. Např. jedna z největších

erupcí 4. 11. 2003 vedla k narušení sítě vysokého napětí i rádiového spojení na Zemi.

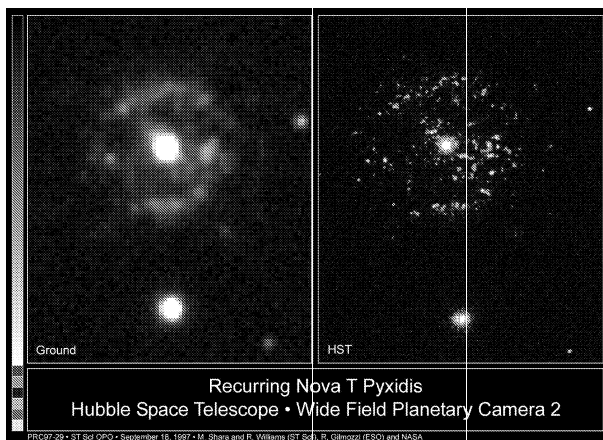
Novy

Explozivní procesy probíhají ve hvězdách zejména v závěrečných stadiích vývoje. Podle původního Kraftova výkladu [1] z 60. let minulého století jsou exploze nov (na obr. 2 nova V 1494 Aql) výsledkem termonukleárního hoření atmosférické obálky na povrchu bílého trpaslíka, která na něj byla přenesena ze sousední složky, hvězdy bohaté na vodík. Ten reaguje s jádry helia, uhlíku, dusíku, kyslíku a s volnými elektrony při teplotě $T \approx 20 \cdot 10^6$ K. Při hoření teplota stále narůstá, protože degenerovaný elektronový plyn nezvětšuje objem s nárůstem teploty. Po dosažení teploty $T \approx 10^8$ K uvolňování energie na několik minut získává explozivní charakter. Plyn přestává být degenerovaným, stává se znovu ideálním. Při jeho zahřívání narůstá teplota a v souladu se stavovou rovnicí i tlak. Je narušena hydrostatická rovnováha mezi vnějšími obálkami hvězdy a vrstvou s probíhající explozí. Vnější obálka se expanzivně rozšiřuje rychlostí přibližně $(10^2 - 10^3)$ km·s⁻¹, narůstá vyzářovací povrch hvězdy a zvyšuje se její zářivý výkon. Pozorujeme nárůst jasnosti hvězdy o $(4 - 5)$ mag, hovoříme o *novách*. Nejde tudíž o nové hvězdy, ale hvězdy staré, kterým vedlejší složka dodala nové termonukleární palivo – vodík.



Obr. 2

Hmotnost vodíku vstupujícího do reakce je zhruba $\Delta m = 10^{24}$ kg, účinnost při explozivním spalování dosahuje přibližně 1 %. Uvolněnou energii při explozi novy vyjádříme $\Delta E = 0,01\Delta mc^2 \approx 10^{39}$ J. Tvoří pouze malou část celkové energie hvězdy, nevede proto k podstatným změnám její vnitřní stavby. Gravitační potenciální energie bílého trpaslíka o hmotnosti $0,6 M_S$ a poloměru $2 \cdot 10^{-2} R_S$ je $E_p = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} = -10^{43}$ J. V absolutní hodnotě výrazně převyšuje energii uvolňovanou při explozi, proto bílý trpaslík zůstává kompaktní a přenos hmoty se může vícekrát opakovat, jde o rekurentní novy (obr. 3), podrobněji např. [2].



Obr. 3

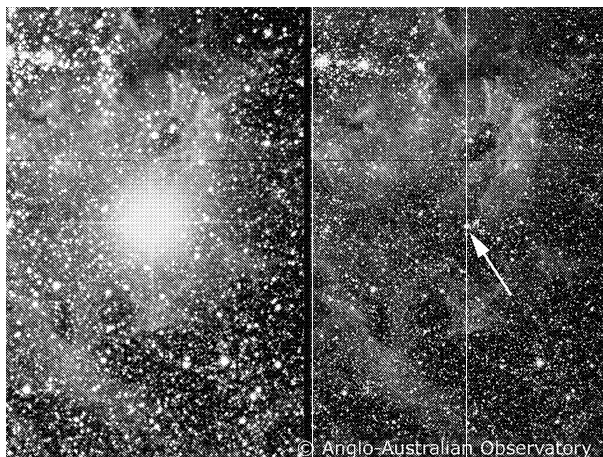
Supernova SN 1987 A

Řádově mnohem větší uvolněná energie doprovází exploze *supernov*, viz např. SN 1987 A na obr. 4. Velikost gravitační potenciální energie uvolněné výbuchem supernovy, omezíme se na supernovy II typu, určíme teoreticky z rozdílu energií

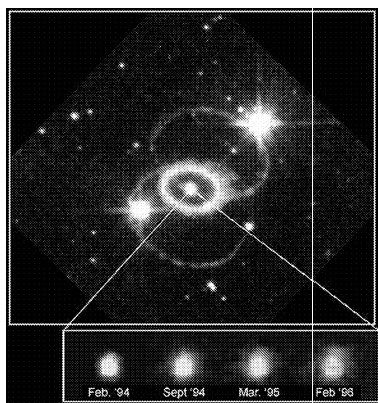
$$E_{\text{sup}} = E_{\text{nh}} - E_{\text{poč}} = \frac{3GM^2}{5R_{\text{nh}}}.$$

Při dosazení $M = 1,4M_S = 2,8 \cdot 10^{30}$ kg, $R_{\text{nh}} = 10^4$ m, obdržíme $E_{\text{sup}} = 10^{46}$ J. Uvolněná energie se přeměňuje především na *kinetickou energii* *neutrin* a expandující obálky, dále na záření a na formování neutronové

hvězdy. Převážnou část, asi 95 % energie, odnáší neutrino. Rychlost expanze vnějších vrstev dosahuje $(10^3 - 10^4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.



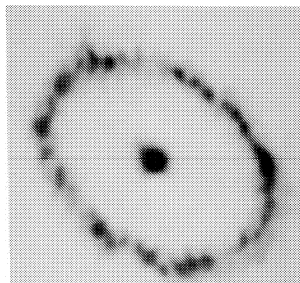
Obr. 4



Obr. 5

Od roku 1987 pozorujeme u zmiňované supernovy SN 1987 A rozpínání její obálky (obr. 5). Snímky získané v polovině devadesátých roků pomocí HST umožnily upřesnit souvislost vzdálenosti, úhlové velikosti a poloměru

expandující obálky (obr. 6), což můžeme využít ke konstrukci následující úlohy, zpracované podle [3] úloha 1. Supernova SN 1987 A explodovala ve vzdálenosti $51,4 \text{ kpc} = 1,6 \cdot 10^{21} \text{ m}$. Určete poloměr prstence R , jehož úhlovou velikost α_R stanovíme z přiloženého obr. 6, ve kterém úhlová velikost strany a činí $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$. Změřením poloměru na snímku $R = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$, tedy $R = \alpha_R r = 6 \cdot 10^{15} \text{ m}$.



Obr. 6

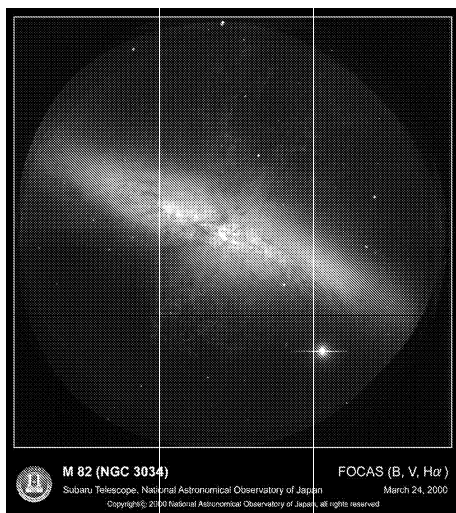
Galaxie M 82

Značné množství energie je uvolňováno při explozivních procesech probíhajících v mimogalaktických objektech například v *aktivních galaxiích*, kvasarech či zábleskových zdrojích γ záření. Přibližně do poloviny 20. století astrofyzici předpokládali, že základním zdrojem záření v galaxiích jsou hvězdy. Následně však byly objeveny galaxie, jejichž aktivita byla spjata s intenzivním uvolňováním energie z relativně nevelkých oblastí menších než 1 pc v jádrech galaxií. Jaké jsou znaky takové aktivity?

Vyznačují se netepelným zářením od rádiové až po oblast γ elektromagnetického spektra, zdrojem je zejména synchrotronové záření. Dále pozorujeme změny jasnosti objektů od řádové minut (v rtg. oblasti), až po desítky roků v optické a rádiové oblasti elektromagnetického spektra. Charakteristické jsou široké emisní čáry ve spektru, dokládajících pohyb horkého plynu velkými rychlostmi, jakož i morfologické zvláštnosti (výrony, horké skvrny). Neobyčejný vzhled je často důsledkem aktivity jádra, z kterého jsou vyvrhována velká množství hmoty.

Demonstrativně zajímavým příkladem je aktivní galaxie M 82, jedna z nejjasnějších galaxií v infračerveném oboru spektra, nacházející se ve vzdálenosti $3,6 \text{ Mpc}$. Jde o nepravidelnou galaxii o hmotnosti $\sim 10^{10} M_{\odot}$, s velikostí zhruba 3krát menší, než je naše Galaxie. Z jádra M 82 probíhá

výrazná a pozorovatelná expanze vodíku (obr. 7). V roce 1962 *Sandage* pořídil na observatoři Mount Palomar snímek galaxie ve světla čáry H_α a *Lynds* z Yerkeské observatoře použil spektrograf k získání jejího spektra. Nastavil šterbinu spektrografu podél osy vláken a ve spektru získal široké jasné emisní čáry vodíku, jakož i kyslíku, dusíku a síry. Čáry byly posunuty na obě strany, jak k fialovému tak k červenému konci spektra. Rychlost rozpínání vláknité struktury plynu stanovil na $\approx 1\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, což 7krát převyšovalo únikovou rychlost v daném místě v galaxii M 82.



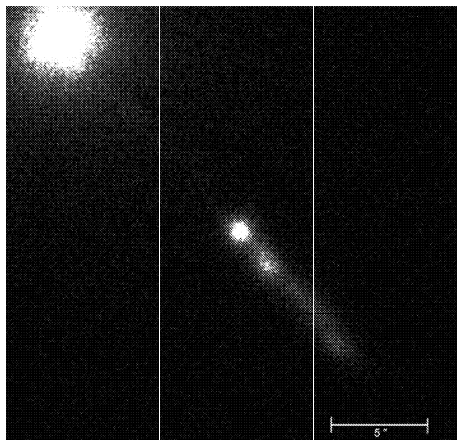
Obr. 7

Lynds a *Sandage* v [4] provedli výpočty uvolňované energie při explozi, za předpokladu uvedené vzdálenosti 3,6 Mpc galaxie M 82 stanovili hodnotu toku záření v čáře H_α na $2 \cdot 10^{33}\text{ W}$. Přijmeme-li hustotu protonů 10^7 v m^3 , dostáváme odhad expandující části vodíkového plynu na $6 \cdot 10^6 M_\odot$. Odtud byla určena horní hranice kinetické energie na $\sim 10^{49}\text{ J}$. Značná část energie se transformuje na vznik synchrotronového záření, které je detekováno v rádiovém oboru. Celkové množství uvolněné energie se odhaduje na 10^{50} J . Porovnáním, exploze v M 82 je z hlediska energie ekvivalentní explozi 10 tisícům supernov.

Kvasar 3C 273

Kvasary, zřejmě jádra nově vznikajících galaxií, se vyznačují proměnným tokem záření ve spojitém spektru, výrazným ultrafialovým a rtg zářením. Spektroskopická měření u nich zjistila velké rudé posuvy až $z \approx 6,4$ a široké emisní čáry, svědčící o značných rychlostech pohybu hmoty v nich.

Nejjasnějším a jedním z nejprozkoumanějších kvasarů na obloze je 3C 273. Vyznačuje se v rtg, optickém i rádiovém oboru jetem – výtryskem, jehož úhlová velikost dosahuje 23 arcsec, což při $z = 0,158$ a $H = 73 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ dává při vzdálenosti $r = 690 \text{ Mpc} = 2,1 \cdot 10^{25} \text{ m}$ skutečnou délku $l = r \sin 23'' = 2,1 \cdot 10^{21} \text{ m} = 81 \text{ kpc}$ [5]. Při rychlosti expanze jetu $\approx 0,7c$ je jeho stáří $t = \frac{r \sin 23''}{0,7c} \approx 10^{13} \text{ s} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ r}$.



Obr. 8

Expanzní energie jetu je uvolňována z černé díry v jádře kvasaru, následně přeměrována a kolimována do jetu, jehož expanze je poháněna souvislým rtg tokem z jádra (obr. 8). Celkový zářivý výkon kvasaru je odhadován $L \approx 10^{40} \text{ W}$. Předpokládáme, že k uvolňování energie dochází při akreci hmoty na černou díru. Můžeme určit množství hmoty dopadající na černou díru, tak aby pokrývalo uvedený zářivý výkon kvasaru 3C 273 jestliže předpokládáme účinnost $\eta = 0,1$. Platí $L = \eta c^2 \frac{dM}{dt} = 10^{24} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \approx 15 M_{\text{S}} \cdot \text{r}^{-1}$.

Poznámka: Faktor 0,1 obdržíme při výpočtu velikostí gravitační potenciální energie hmoty přenesené z velké vzdálenosti na dráhu $3 R_g$, kde $R_g = \frac{2GM}{c^2}$ je tzv. Schwarzschildův poloměr.

V článku byly popsány explozivní procesy v klíčových etapách vývoje hvězd, galaxií respektive kvasarů. Díky rychlému zdokonalování metod astrofyzikálních pozorování lze získávat o těchto jevech informace z celého rozsahu elektromagnetického spektra. Zmiňované objekty se tak stávají kosmickými laboratořemi značných měřítek s dosud v pozemských podmínkách obtížně získávanými energiemi částic. Právě relativistické částice, nejčastěji elektrony pohybujících se v magnetických polích umožňují vznik synchrotronového záření. Elektrony ionizují plyn a předávají mu svoji energii a následně vyvolávají další jevy. Jejich podrobnější výklad najde čtenář – zájemce např. v [6].

Astrofyzikální výzkum explozivních procesů je teprve v počátcích, interpretace probíhajících jevů se opírá o hypotézy a teorie. Jde však o jeden z nejdůležitějších směrů současné astrofyziky, který má objasnit fyzikální mechanismy uvolňování vysokých energií.

Číselná znalost hodnot uvolněných energií umožňuje zkoumat možné zdroje, resp. příčiny exploze. Vzhledem k analogickým astrofyzikálním příčinám jejich vzniku jsou hodnoty velikostí jimi uvolněných energií při některých explozivních procesech přibližně konstantní. Proto jsou například novy a supernovy využívány jako standardní svíčky – indikátory vzdáleností ve vesmíru.

Literatura

- [1] *Kraft, R. P.*: Are all Novae Binary Stars? ASPL 418 (1964), 137.
- [2] *Contini, M., Prialnik, D.*: The shell of recurrent Nova T Pyxidis: A model based on shocks. ApJ 475, (1997), 803.
- [3] www.astroex.org/english/index.php
- [4] *Lynds, C. R., Sandage, A. R.*: Evidence for an Explosion in the Center of the Galaxy 82. ApJ 137, (1963), 1005.
- [5] *Courvoisier, T. J. L.*: The bright quasar 3C 273. The Astron. Astrophys. Rev. 9 (1998), 1.
- [6] *Gorbackij, V. G.*: Kosmičeskije vzryvy. Nauka, Moskva 1979.

Další laboratorní práce z fyziky, při kterých se vyrábí – papírové váhy

VOJTĚCH ŽÁK

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha
Gymnázium Praha 6, ul. Nad Alejí, Praha

Úvod

Tento článek volně navazuje na článek s názvem „Dvoje laboratorní práce z fyziky, při kterých se vyrábí“ uveřejněný ve 4. čísle časopisu Matematika-fyzika-informatika v prosinci 2009. V uvedeném článku bylo také diskutováno, proč se tímto tématem zabýváme. Ve stručnosti můžeme říct, že žákyňe a žáci považují sestrojování jednoduchých zařízení, hraček apod. za poměrně oblíbenou činnost. Navíc v samotných laboratorních pracích žáci a žákyňe experimentují, což je pro ně podle výzkumu [1] ještě oblíbenější činnost. Můžeme se tedy domnívat, že sestrojování a experimentování mají potenciál zaujmout žáky i žákyňe (více [2]).

V tomto článku je uveden a diskutován jeden námět pro laboratorní práce, který bychom mohli výstižně nazvat „papírové váhy“. Námět to není nový, s jeho variantou se můžeme setkat např. v [3]. Námět je rozpracován do takové obsahové a formální podoby, jak byl vyzkoušen a jak se osvědčil při výuce, zejména na gymnáziu. Aby byl námět učitelkám a učitelům co nejjednodušeji k dispozici, jsou hlavní částí následujících stránek vzorové protokoly z těchto laboratorních prací.

Výroba a použití papírových vah

Tyto laboratorní práce spadají do učiva mechaniky tuhého tělesa a můžeme je využít také tehdy, pokud chceme žákyňe a žáky naučit zpracovávat výsledky měření (včetně ohodnocení odchylek). Zkušenost ukazuje, že zpracovávání naměřených hodnot není pro žáky a žákyňe ničím atraktivním. Protože si ale při těchto laboratorních pracích sestrojí svoje vlastní jednoduché váhy, je větší šance, že je laboratorní práce zaujmou a budou i lépe naladěni na nepopulární zpracovávání výsledků. Zajímavé jistě je i to, že sestrojené papírové váhy jsou překvapivě přesné (bude diskutováno níže).

Tyto laboratorní práce byly vyzkoušeny v různých ročnících gymnázia (nižšího i vyššího), velmi vhodné jsou pro žáky prvního ročníku čtyřletého gymnázia, příp. odpovídajících ročníků víceletých gymnázií, a to jako úvodní laboratorní práce. Ve zjednodušené podobě se dají využít i na základní škole.

Úkoly, postup měření atd. jsou patrné z vyplněného protokolu z laboratorních prací. *Kurzívou* je napsáno to, co očekáváme, že *napíšíou žákyně a žáci*, ostatní text můžeme dát žákům a žákyním předtištěn v pracovním listě (protokolu). Protokoly můžeme modifikovat a použít při vlastních laboratorních pracích.

Protokol (pracovní listy)

LABORATORNÍ PRÁCE Z FYZIKY LP č.: 3 Název: Výroba a použití papírových vah Vypracoval/a: <i>Jana Justinová</i> Spolupracovnice/-ík: <i>Martin Pavel</i>
Datum měření: <i>11. 2. 2010</i>
Připomínky: Výborně zpracovaný protokol!
Hodnocení: Výborně

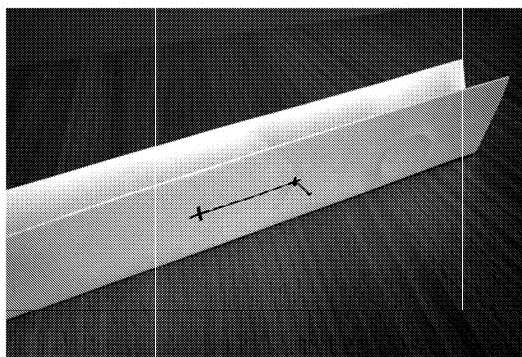
Pracovní úkoly:

1. Vyrobite papírové váhy podle návodu.
2. Vysvětlete, jakým způsobem je možné pomocí těchto vah vážit, a odvoďte vztah pro určování hmotnosti.
3. Vyberte si jednu českou minci (platnou v současné době) a určete 5krát její hmotnost.
4. Určete aritmetický průměr hmotnosti, absolutní a relativní průměrnou odchylku hmotnosti.
5. Porovnejte zjištěnou hmotnost mince s oficiálním údajem nebo s hmotností zjištěnou na jiných (přesnějších) vahách.

Pomůcky: list kancelářského papíru formátu A4, pravítko, špendlík, obyčejná tužka (nebo propiska), mince (současná česká)

Návod k výrobě papírových vah:

List papíru A4 přeložíme na polovinu (zachováme šířku listu), vzniklý formát A5 přeložíme opět na polovinu (delší strana zůstává) a takto složený podlouhlý obdélník přeložíme znovu na polovinu. Vlastně vyrábíme „harmoniku“. Vznikne tak podlouhlý obdélník o stranách délky 21 cm a zhruba 3,7 cm (vevnitř se žlábkem). Pomocí pravítka najdeme jeho střed (těžiště). Těžiště vyznačíme křížkem a odměříme od něj směrem doprava nebo doleva 3 cm (viz obr. 1).

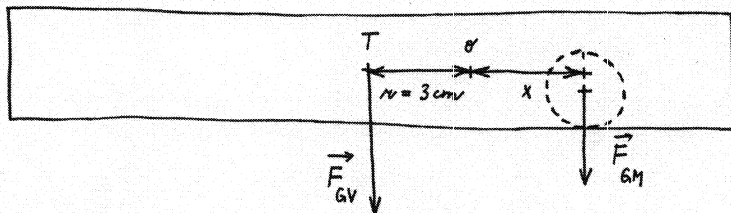


Obr. 1 Papírové váhy

V tomto bodě papír propícháme špendlíkem (propichujeme vlastně osm vrstev papíru). Špendlík zde necháme; bude sloužit jako osička (viz obr. 1). Zkusíme, jestli se papír může kolem špendlíku volně otáčet. Pokud ano, podržíme osičku několika prsty ve vodorovné poloze a zkusíme dát do žlábků papíru (můžeme použít i některý z postranních žlábků) minci tak, aby se papír (teď už vlastně váhy) ustálil ve vodorovné poloze.

Vysvětlení principu vážení:

Váhy fungují jako páka. Princip, jak se na nich dá vážit, vysvětlíme pomocí náčrtku na obr. 2. Nejdříve rozebereme síly, které na váhy a minci působí. Na papír, ze kterého jsou váhy vyrobeny, působí v těžišti T tíhová síla F_{GV} a na minci působí v jejím těžišti tíhová síla F_{GM} . Jestliže se váhy s mincí ustálí v klidu (ve vodorovné poloze), musí být výsledný moment



Obr. 2 Princip vážení

sil roven nule. Pro velikosti momentů sil vůči ose o (špendlík) bude platit $F_{GV}r = F_{GM}x$.

Dále můžeme psát $m_Vgr = m_Mgx$ a pro hmotnost mince tedy dostáváme

$$m_M = \frac{m_V r}{x},$$

kde m_V je hmotnost papíru, ze kterého jsou vyrobeny váhy, r je rameno síly F_{GV} a x je rameno síly F_{GM} . Vzdálenost x budeme měřit při vážení mince pravítkem, dále platí, že vzdálenost $r = 3$ cm, a hmotnost m_V papíru můžeme zjistit úvahou: Pokud jsme použili běžný kancelářský papír formátu A4, můžeme si všimnout na jeho obalu údaje 80 g/m^2 . Tento údaj znamená, že papír o obsahu 1 m^2 má hmotnost 80 g . Tento obsah má list formátu A0. Dále platí, že každý následující formát má poloviční obsah – tedy A1 má obsah $\frac{1}{2}\text{m}^2$ atd. a A4 má obsah $\frac{1}{16}\text{m}^2$, což znamená, že má hmotnost $\frac{1}{16} \cdot 80 \text{ g} = 5 \text{ g}$. Můžeme tedy po dosazení psát (pro číselné hodnoty)

$$\{m_M\} = \frac{15}{\{x\}},$$

kde za x dosazujeme v centimetrech a m_M vychází v gramech.

Můžeme tedy říci, že určování hmotnosti (vážení) jsme převedli na měření vzdálenosti.

Postup měření:

1. Vybereme jednu platnou českou minci (např. 1 Kč).
2. Chytíme váhy za špendlík a na kratší rameno vah dáme minci do takové polohy, aby se váhy ustálily ve vodorovné poloze.
3. Pravítkem změříme vzdálenost x (viz obr. 2) a hodnotu zapíšeme do tabulky. Můžeme to provést tak, že minci „promáčkne“ prsty do papíru a pak např. na stole změříme danou vzdálenost.

4. Měření opakujeme ještě 4krát.

5. Zpracujeme výsledky měření.

Naměřené hodnoty a jejich zpracování:

Číslo měření i	$\frac{x_i}{\text{cm}}$	$\frac{\Delta x_i}{\text{cm}}$	$\frac{m_{Mi}}{\text{g}}$
1	4,2	-0,04	3,57
2	4,1	+0,06	3,66
3	4,1	+0,06	3,66
4	4,2	-0,04	3,57
5	4,2	-0,04	3,57
Součet absolutních hodnot	20,8	0,24	18,03
Aritmetický průměr	4,16	0,05	3,61

Aritmetický průměr hmotnosti je $\overline{m}_M = 3,61$ g.

Relativní průměrná odchylka vzdálenosti je $\delta x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \% \approx 1 \%$ a vzhledem ke vztahu $\{m_M\} = \frac{15}{\{x\}}$ platí, že relativní průměrná odchylka hmotnosti je $\delta m_M = \delta x \approx 1 \%$.

Absolutní průměrná odchylka hmotnosti je pak $\Delta m_M = \delta m_M \cdot \overline{m}_M \approx 0,04$ g.

Výsledek zapíšeme ve tvaru $m_M = \overline{m}_M \pm \Delta m_M$, δm_M jako

$$m_M = (3,61 \pm 0,04) \text{ g}, \quad \delta m_M = 1 \%.$$

Diskuze:

Zjištěnou hmotnost porovnáme s oficiálním údajem: Např. na webových stránkách České národní banky [4] je uvedeno, že mince 1 Kč má hmotnost 3,6 g, což se velmi dobře shoduje a námi zjištěnou hodnotou.

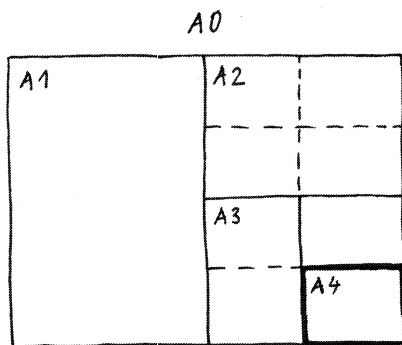
Závěr:

Pomocí jednoduchých papírových vah jsme určili hmotnost mince 1 Kč jako $m_M = (3,61 \pm 0,04)$ g, $\delta m_M = 1 \%$. Měření bylo velmi přesné (což nás překvapilo), protože relativní odchylka byla přibližně 1 % a námi zjištěná hodnota se velmi dobře shoduje s oficiálním údajem.

Poznámky

- Poznámka k „Vysvětlení principu vážení“

Je vhodné ukázat žákům a žákyním obal od balíku s kancelářskými papíry a nechat je příslušný údaj o plošné hustotě hmotnosti vyhledat. Dále můžeme načrtnout souvislost jednotlivých formátů A0 až A4 podle obr. 3.



Obr. 3 Souvislost formátů A0 až A4

- Poznámka k „Diskuzi“

V rámci diskuze a porovnání mohou žákyně a žáci provést vážení mince na jiných, např. digitálních vahách nebo mohou porovnat svá měření s měřením spolužáků a spolužáček, kteří zkoumali minci stejné nominální hodnoty. Dále můžeme diskutovat o tom, zda mají všechny např. jednokorunové mince stejnou hmotnost. Může být překvapivé, že relativní odchylka určování hmotnosti je nízká – kolem 1 %. Na druhou stranu je třeba si uvědomit, že uvedené papírové váhy mají poměrně úzké využití.

Závěr

Jak jsme uvedli v úvodu, žákyně a žáci jak základních, tak středních škol považují sestrojování jednoduchých zařízení za oblíbenou činnost. Tohoto faktu je možné využít při výuce fyziky, např. v rámci laboratorních prací. Předložený námět laboratorních prací může obohatit spektrum činností, které žáci a žákyně v hodinách fyziky provádějí. Jde vlastně o skloubení rozvoje manuální zručnosti a intelektuálních dovedností. Předložené téma výroby a použití papírových vah je vhodné zejména v úvodu fyzikálního kurzu na gymnáziu, kdy seznamujeme žáky a žákyně s teorií zpracování naměřených hodnot.

Literatura

[1] <http://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/NPVII/npv.php> (cit. 10. 3. 2009)

- [2] Žák, V.: Dvoje laboratorní práce z fyziky, při kterých se vyrábí. In: Matematika-fyzika-informatika, roč. 19, prosinec 2009, s. 218-227. Praha: Prometheus, 2009. ISSN – 1210-1761.
- [3] http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_07/07_17_Polak.html (cit. 12. 2. 2010)
- [4] <http://www.cnb.cz/cs/platidla/mince/m1czk.html> (cit. 12. 2. 2010)
-

(*Dokončení ze s. 256*)

ních modelů, která popisuje, jak se v mysli žáka vyvíjejí matematické poznatky), o interakci mezi učitelem a žáky i žáky mezi sebou (autoři rozlišují dva polaritní přístupy učitelů – dialogický a postojový), o sociálním klimatu třídy a samozřejmě o tom, jak autoři chápou konstruktivistické přístupy k vyučování matematice a jak vzniká formální poznání (a jak mu zabránit či ho napravit).

Druhý pohled tvoří příběhy. Knihou lze procházet pomocí příběhů z výuky matematiky na různých stupních škol. Příběhy, které se skutečně odehrály, tvoří jeden z pilířů, na němž je publikace postavena. Jsou vybrány s velkým rozmyslem tak, aby co nejlépe dokladovaly obecné teze. Současně však umožňují čtenáři, aby si sám udělal názor na předkládanou situaci, ještě než si přečte odborný komentář autorů.

Konečně třetí pohled je zaměřen na náměty na výuku. Učitel nebo student učitelství, který chce pracovat na svém výukovém stylu a pochopit, jak poznávají jeho žáci, získá celou řadu praktických námětů (úloh a přístupů), které může ve své praxi využít.

Kniha je určena učitelům prvního stupně, učitelům matematiky a studentům učitelství. S nimi knihu již řadu let úspěšně využívám jako základní literaturu kurzu didaktiky matematiky. Její unikátní přístup k prezentaci didakticko-matematických poznatků pomáhá překonat propast, která často jeze mezi teorií vyučo-

vání a praxí, což právě studenti vysoce oceňují. Kniha si však při svém prvním vydání našla čtenáře i mezi rodiči školou povinných žáků, kterým pomohla získat vhled do poznávání v matematice.

Kniha je doplněna třemi přílohami, seznamem literatury a věcným a jmenným rejstříkem, který usnadňuje orientaci.

Závěrem si dovoluji osobní poznámku. Oba autoři velmi dobře znám. Oba jsou výraznými osobnostmi, jejichž odborné názhledy se ne vždy zcela shodují. Byla jsem přítomna přípravě druhého vydání, které oba autoři aktualizovali ve smyslu nových poznatků v didaktice matematiky, a nejlépe vím, že se rodilo obtížně a že se na obou stranách musely dělat kompromisy. Pokud by knihu napsal každý autor sám, vypadala by jistě jinak. Ovšem právě ze střetu idejí a názledů vycházejí ty nejlepší myšlenky. Proto mě osobně velmi těší, že druhé aktualizované vydání publikace spatřilo světlo světa právě v této podobě.

Moje recenze je vysoce pozitivní, i když přirozeně ne se všemi formulacemi a myšlenkami knihy souhlasím. Právě o nich však budu s oběma autory ráda kdykoli diskutovat. Autoři uvádějí v předmluvě toto: „Samozřejmě že nebudete se vším spokojeni, samozřejmě budete ideje knihy srovnávat se svou praxí. Ale o to nám právě jde, abyste se nad svou prací zamysleli.“ K tomu účelu poslouží kniha výborně.

Nada Stehlíková