

Hubbleův kosmický dalekohled ve výuce fyziky na středních školách

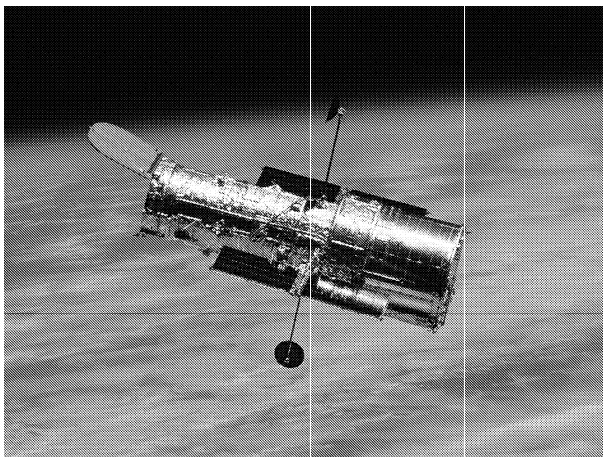
VLADIMÍR ŠTEFL – JULIUSZ DOMANSKI

Přírodovědecká fakulta MU, Brno – Torun, POLSKO

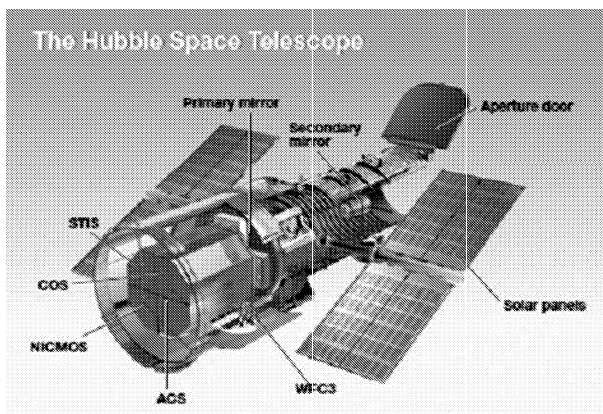
Myšlenky o výhodách astronomického dalekohledu mimo atmosféru Země z roku 1946 [1] amerického astrofyzika *L. Spitzera* (1914–1997) se podařilo realizovat až v dubnu 1990, kdy byl umístěn na oběžnou dráhu kolem Země prostřednictvím raketoplánu *Discovery*. Dalekohled byl pojmenován po dalším americkém astrofyzikovi *E. P. Hubbleovi* (1889–1953), v jehož výzkumu symbolicky pokračuje. Jeho předností oproti dalekohledům na povrchu Země je možnost pozorování i v neoptickém oboru a odstranění nežádoucího vlivu zemské atmosféry.

Hubbleův dalekohled (obr. 1) využívá Ritcheyův – Chrétienův systém s otvorem v primárním hyperbolickém zrcadle. Optické paprsky se odrážejí od primárního zrcadla o průměru 2,4 m na sekundární, odtud jsou vyvedeny zmiňovaným otvorem do přístrojové části ke zpracování. Zde jsou umístěny různé kamery např. WFC3, NICMOS a spektrografy, např. STIS (obr. 2). Přesněji jde o unikátní astrofyzikální laboratoř o hmotnosti $1,2 \cdot 10^4$ kg, pohybující se ve výšce přibližně 550 km nad povrchem Země. Byla postupně v průběhu čtyř servisních misí v letech 1993, 1997, 2002 a 2009 modernizována a vybavena novými přístroji.

V roce 2010 si astronomové připomněli 20 let činnosti Hubbleova dalekohledu, během kterých provedl více než 10^6 pozorování a získal přes $5 \cdot 10^5$ snímků oblohy. Při zpracování výsledků byly rozvinuty v řadě případů zcela nové metody interpretace pozorovacího materiálu, vedoucí ke stovkám dílčích objevů.



Obr. 1



Obr. 2

K přiblížení některých vybraných výsledků z činnosti Hubbleova dalekohledu žákům byla v článku zvolena forma jednoduchých výpočetních úloh, resp. samostatných prací při zpracování snímků týkajících se dalekohledu. Lze je realizovat ve výuce fyziky na základních a středních školách.

První příležitostí k uplatnění fyzikálních znalostí je výklad jeho oběhu na oběžné dráze kolem Země. Raketoplánem byl vynesena do výšky $h = 600$ km nad Zemí, žákům zadáme určení rychlosti pohybu a oběžné doby. Během svého letu Hubbleův dalekohled pozvolna sestupuje k Zemi, neboť zejména při nárůstu sluneční aktivity se horní vrstvy atmosféry Země zahřívají, expandují a zbrzdí jeho pohyb. Při každé ze servisních misí byl Hubbleův dalekohled raketoplány znovu vynášen na vyšší oběžnou dráhu. Dalším úkolem je proto stanovení energie nezbytné k jeho přemístění z výšky $h_1 = 550$ km na výšku $h_2 = 600$ km.

Řešení: Kruhovou rychlost stanovíme ze vztahu

$$v = \sqrt{G \frac{M_Z}{R_Z + h}} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

oběžnou dobu

$$T = \frac{2\pi(R_Z + h)}{v_k} = 5\,793,2 \text{ s} = 96,5 \text{ min.}$$

Práci potřebnou k přemístění Hubbleova dalekohledu mezi uvedenými oběžnými drahami určíme ze vztahu

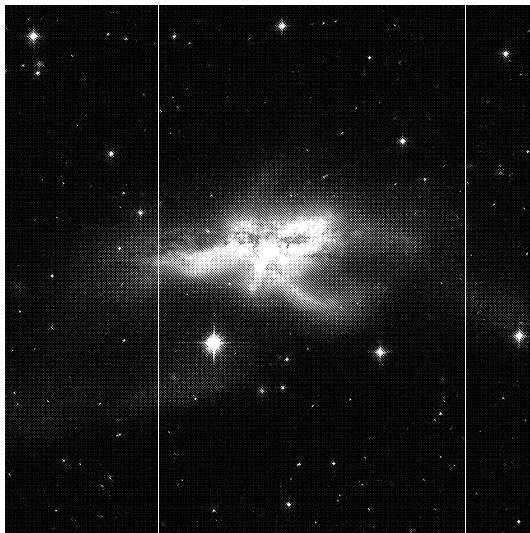
$$\begin{aligned} A &= (W_{k1} + W_{p1}) - (W_{k2} + W_{p2}) = \\ &= \left(\frac{1}{2} m_H v_1^2 - G \frac{m_H M_Z}{R_Z + h_1} \right) - \left(\frac{1}{2} m_H v_2^2 - G \frac{m_H M_Z}{R_Z + h_2} \right) = \\ &= G \frac{m_H M_Z}{2} \left(\frac{1}{R_Z + h_2} - \frac{1}{R_Z + h_1} \right) = -2,2 \cdot 10^9 \text{ J.} \end{aligned}$$

K demonstraci optických vlastností Hubbleova kosmického dalekohledu použijeme následující úlohu: Dalekohled používá primární zrcadlo o průměru $D = 2,4$ m. Žákům zadáme určení jeho rozlišovací schopnosti na vlnové délce spektrální čáry Lymanovy série L_α , $\lambda = 121,6$ nm. Dosazením obdržíme

$$\Theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ rad} = 0,013''.$$

Pro představu: pod tímto úhlem bychom pozorovali minci o nominální hodnotě 20 Kč ze vzdálenosti 400 km.

Další úloha zní takto: Lze s pomocí Hubbleova dalekohledu pozorovat aktivní galaxii NGC 6240 (obr. 3), jejíž úhlová velikost činí $2'$? Předpokládáme pozorování WFPC kamerou vybavenou CCD detektorem $1\,600 \times 1\,600$ pixelů při šířce pixelu $d = 15\ \mu\text{m}$, ohnisková vzdálenost primárního zrcadla je $f = 31\ \text{m}$. Jednoduchým výpočtem žáci vypočítají pole na jeden čip $\Theta = \frac{d}{f} = 4,8 \cdot 10^{-7}\ \text{rad} = 0,1''$. Celkové pole detektoru $1\,600 \cdot 0,1'' = 160'' = 2'40''$, tedy galaxii lze pozorovat.



Obr. 3

Přejdeme k hlavním získaným vybraným výsledkům Hubbleova dalekohledu, k nimž patří výzkum:

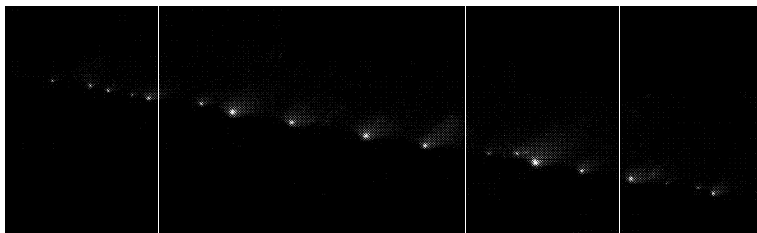
1. Sluneční soustavy.
2. Extrasolárních soustav.
3. Vzniku a vývoje hvězd.
4. Černých děr v jádrech galaxií.
5. Metod určování vzdáleností ve vesmíru.

1. Sluneční soustava

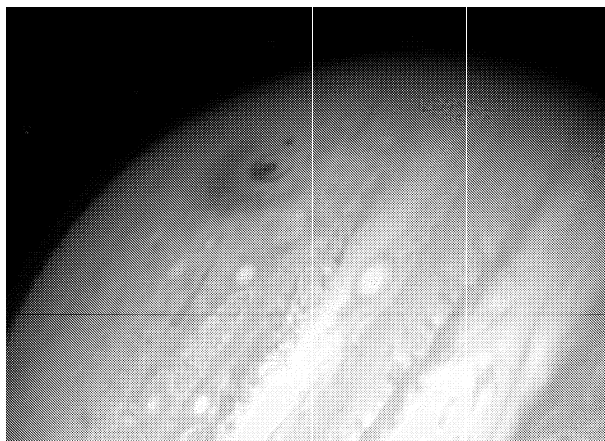
V roce 1994 Hubbleův dalekohled sledoval rozpad jádra komety Shoemaker-

maker – Levy 9 na více než dvacet jednotlivých úlomků (obr. 4). Typické hodnoty průměrného úlomku jsou přibližně $\rho \approx 0,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $R \approx 4 \cdot 10^2 \text{ m}$, $v \approx 60 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Žáci mají vypočítat kinetickou energii průměrného úlomku. Dosazením do vztahu pro kinetickou energii získají řádovou hodnotu $W_k \approx 10^{20} \text{ J}$.

Při dopadu úlomků se uvolněná energie transformuje na teplotní změny v atmosféře, různé typy vln, záření a kinetickou energii látky vytvářející chochol, ohnivou kouli po dopadu, což můžeme sledovat na obr. 5. Výzkum fotometrických a spektroskopických údajů umožnil analyzovat fyzikální a chemické vlastnosti vertikální struktury atmosféry Jupitera a mimo jiných zjišťovat její obsah kyslíku.

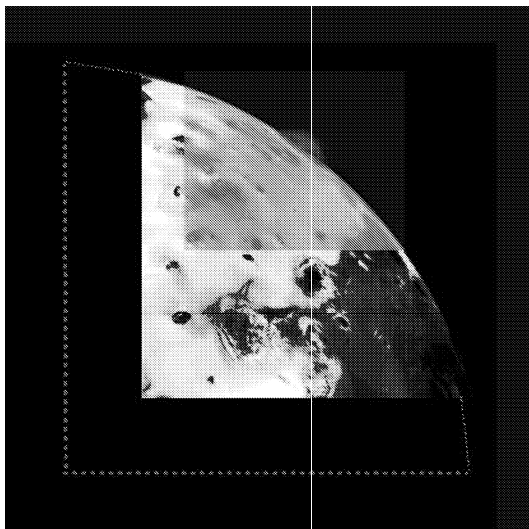


Obr. 4



Obr. 5

Jedním z dalších studovaných jevů v rámci sluneční soustavy bylo sledování sopek na měsíci Io. Historicky první sopku Prométheus objevila sonda Voyager 1 v březnu roku 1979. Hubbleův dalekohled později v devadesátých letech minulého století postupně zkoumal i jiné sopky, například Pelé či Pillan.



Obr. 6

Pro práci žáků využijeme snímek s větším rozlišením sopky Prométheus (obr. 6), v jehož levém spodním rohu je střed měsíce Io. Žáci mají určit rychlost, s jakou je ze sopky vyvrhován materiál, jestliže hmotnost měsíce je $M = 8,93 \cdot 10^{22}$ kg a jeho poloměr $R = 1,82 \cdot 10^6$ m.

Řešení: Ze vztahu $g = G \frac{M}{R^2} \approx 1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ stanoví gravitační zrychlení na jeho povrchu. Proměřením snímku při znalosti jeho měřítka lze určit výšku výstupu vyvrhovaného materiálu, která činí $h = 300$ km. Rychlost výstupu získáme dosazením do vztahu $v = \sqrt{2gh} \approx 1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Extrasolární soustavy

Od roku 1992, kdy *Alexander Wolszczan* a *Dail Fraile* objevili první exoplanetu, až do současnosti již známe na 300 extrasolárních planet. Jednou

z nich je planeta *Fomalhaut b* obíhající mateřskou hvězdu *Fomalhaut a*, nacházející se ve vzdálenosti 7,66 pc od nás. Pro zajímavost, jde o hvězdu o hmotnosti $2,1 M_S$, poloměru $1,8 R_S$ a povrchové teplotě 8 700 K. Planeta obíhá kolem hvězdy po dráze, jejíž velká poloosa je 115 AU, dráhová rovina je shodná s rovinou oblohy. Žáci mají určit oběžnou dobu planety T v rocích. Hubbleův dalekohled provedl snímkování planety v letech 2004 a 2006 (obr. 7). Jakou vzdálenost urazila planeta mezi oběma snímky?

Řešení: Úhlová vzdálenost mezi hvězdou Fomalhaut a a planetou Fomalhaut b je

$$\varphi = \frac{115 \cdot 1,496 \cdot 10^{11}}{7,66 \cdot 3,086 \cdot 10^{16}} \text{ rad} = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \approx 15 \text{ arcsec.}$$

Dále použijeme III. Keplerův zákon ve tvaru

$$a^3 = \frac{G}{4\pi^2} M T^2.$$

Porovnáním soustavy Fomalhaut a – Fomalhaut b se soustavou Slunce – Země obdržíme

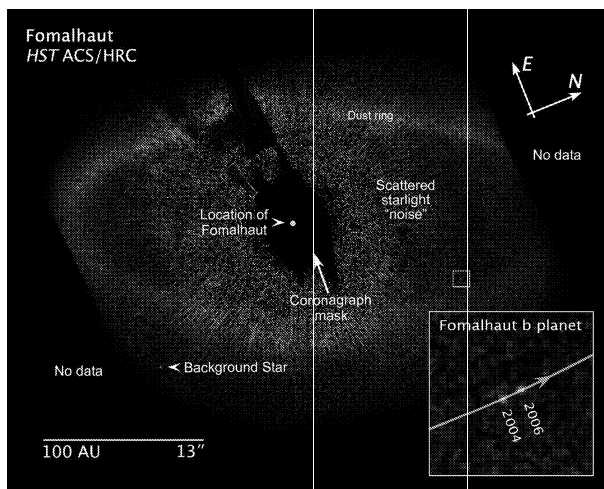
$$\left(\frac{a_{Fb}}{a_Z} \right)^3 = \frac{M_{Fa}}{M_S} \left(\frac{T_{Fb}}{T_Z} \right)^2.$$

Při vyjádření velikosti velké poloosy v AU a oběžné doby v rocích získáme

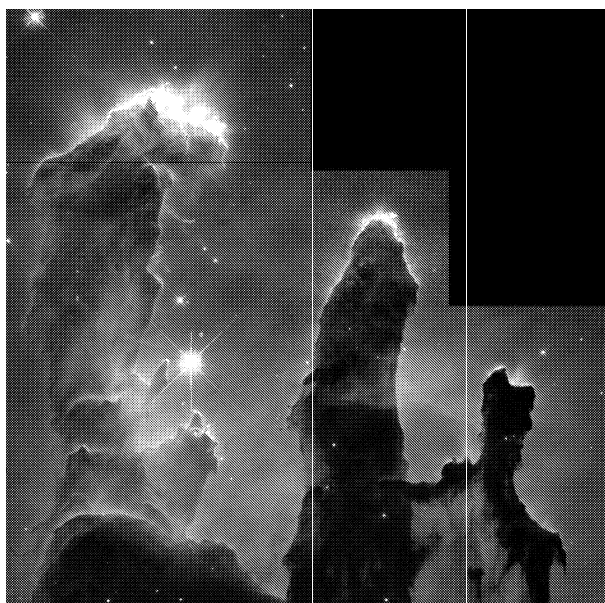
$$a_{Fb}^3 = \frac{M_{Fa}}{M_S} T_{Fb}^2.$$

Dosazení $M_{Fa} = 2,1 M_S$ a $a_{Fb} = 115 \text{ AU}$ vede k výsledku $T_{Fb} = 850 \text{ roků}$. Při zjednodušení předpokládáme kruhovou oběžnou dráhu planety Fomalhaut b, celková dráha je $2\pi a_{Fb}$. Za dva roky činí dráha uražená planetou

$$\frac{2\pi a_F}{850} 2 = 1,7 \text{ AU.}$$



Obr. 7



Obr. 8

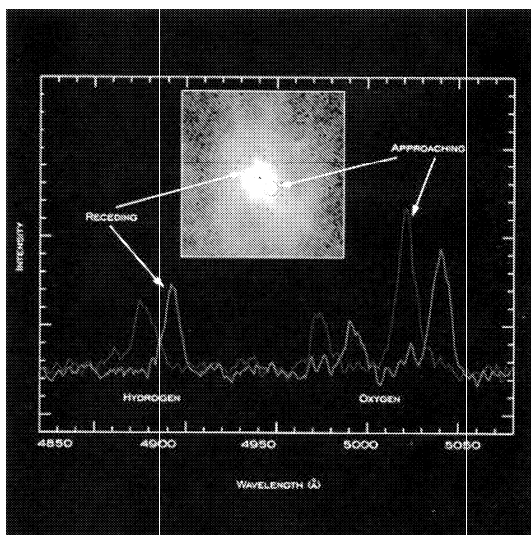
3. Vznik a vývoj hvězd

Orlí mlhovina M 16 se nachází ve vzdálenosti 2 kpc. Víme, že úhlové velikosti 200 arcsec odpovídá 0,3 pc ve vzdálenosti 300 pc. Žákům uložíme určení velikost tohoto pole ve vzdálenosti mlhoviny a stanovení měřítka snímku (obr. 8), jestliže příčně má pole velikost 2,5 arcmin (zpracováno podle [3]).

Řešení: Obrázek zachycuje 1,5 pc a při předpokládané velikosti strany snímku 7,5 cm, je měřítko $2 \cdot 10^{-3} \text{ pc} \cdot \text{mm}^{-1}$.

4. Černé díry v jádrech galaxií

Nově objevenými a pro žáky motivačně zajímavými objekty jsou černé díry v jádrech galaxií. Jednu z metod určování jejich hmotnosti můžeme demonstrovat na příkladu galaxie M 87 – [4]. Ke stanovení pohybu plynu v akrečním disku kolem černé díry je využita metoda určování radiální rychlosti. K realizaci byly zvoleny dvě spektrální čáry, H_β Balmerovy série vodíku o $\lambda_v = 486,1 \text{ nm}$ a 2krát ionizovaného kyslíku OIII o $\lambda_k = 500,7 \text{ nm}$. Vzdalování je na černobílém snímku zachyceno výraznější bílou barvou, přibližování slabší bílou (obr. 9). Spektroskopicky zjištěná



Obr. 9

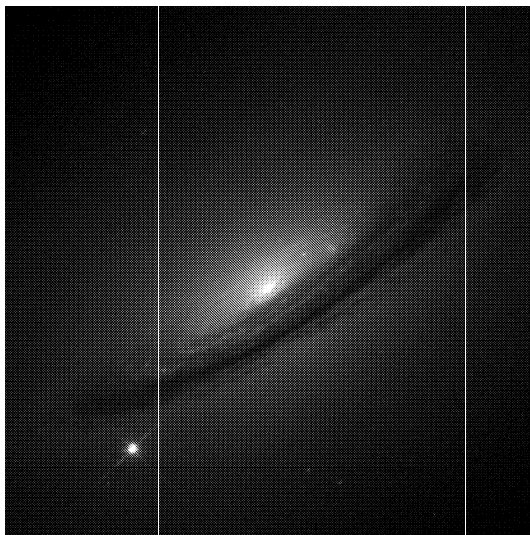
radiální rychlost činila $v_r = v_c \sin i = 460 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Odtud při znalosti úhlu sklonu $i = 42^\circ$ roviny akrečního disku k zornému paprsku dostaneme $v_c = 690 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Úhel i je určován z polohy pozorovatelného jetu, který je kolmý k rovině akrečního disku. Vzdálenost místa získání spektrální čáry od středu černé díry byla $r = 16 \text{ pc} = 4,9 \cdot 10^{17} \text{ m}$, tudíž

$$M = \frac{v_c^2 r}{G} \approx 4 \cdot 10^{39} \text{ kg} \approx 2 \cdot 10^9 M_\odot.$$

5. Metody určování vzdáleností ve vesmíru

V klíčovém projektu výzkumu Hubbleova dalekohledu [5] byly sledovány cefeidy v relativně blízkých galaxiích do $r \leq 20 \text{ Mpc}$. Určení jejich vzdáleností umožnilo upřesnit hodnotu Hubbleovy konstanty současně se stanovením přesnosti dalších metod – supernov typu Ia a Tully-Fisherova vztahu (viz např. [6]).

Například v roce 1994 byla ve vzdálené galaxii NGC 4526 (obr. 10), objevena supernova 1994D. V maximu jasnosti dosahovala její pozorovaná hvězdná velikost $m = 11,2 \text{ mag}$. Žáci mají určit vzdálenost galaxie, předpokládáme-li u supernov typu Ia absolutní hvězdnou velikost $M = 19,9 \text{ mag}$.



Obr. 10

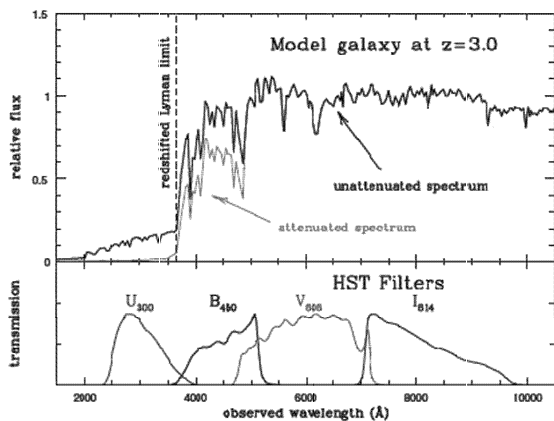
Řešení: Využijeme vztah $m - M = 5 \log r - 5$, do kterého dosazením určíme $r = 16,6$ Mpc.



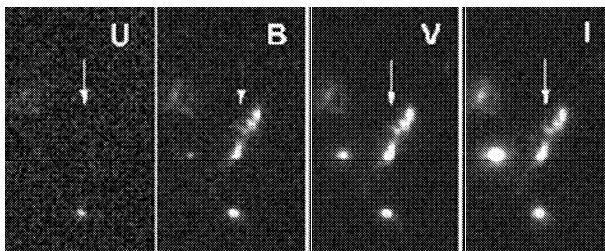
Obr. 11

V letech 2003 – 2004 bylo pomocí Hubbleova dalekohledu získáno tzv. extrémně vzdálené pole galaxií – HUDF v souhvězdí Pece (podrobněji viz [7]). Na 11 čtverečních arcmin je zachyceno 10 000 objektů, s hodnotami do $z \approx 7$ (obr. 11). Žákům lze zadat podle [3] úlohu: Rozdělte pole na snímku na 16 stejných ploch, spočítejte počty jednotlivých objektů v náhodně vybraných čtyřech polích a porovnejte výsledky. Co můžeme konstatovat o rozložení galaxií?

Snímky z Hubbleova dalekohledu umožnily pozorování vzniku a seskupování galaxií, jejich stavební struktury a fyzikálních vlastností, vzniku hvězd v nich. Širokopásmová fotometrie velkého počtu galaxií poskytla spektrální rozdělení energie. Studována byla především diskontinuita spojitého spektra v okolí Balmerova skoku – $z \geq 1$ a Lymanova skoku – $z \geq 3$ (obr. 12). Při $z = 3$ pozorujeme Lymanův skok mezi filtry U a B, v U filtru jsou některé galaxie nepozorovatelné, astronomové je nazývají *drop-out* (obr. 13).



Obr. 12



Obr. 13

Výzkum charakteristik vzdálenějších galaxií pro $z \in (4 - 6)$ umožnil pozorování různých vývojových stadií galaxií s nepravidelným tvarem. Pouze v některých případech s určitelným morfologickým typem galaxií. Analýza profilů povrchových jasností galaxií vedla ke studiu profilů zářivých výkonů, hustoty rozložení hvězd a galaktického vývoje. Jedním z konkrétních výsledků je zjištění, že tempo tvorby hvězd v galaxiích se nemění pro $z \in (1 - 6)$, dosahuje $(0,25 \pm 0,1) M_{\odot} \text{ rok}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-3}$. Z obecného pohledu výzkum galaxií slouží k ověření kosmologických modelů vesmíru.

Hubbleův dalekohled za 20 roků své činnosti významně ovlivnil vývoj astronomie. Jak bylo v článku ukázáno, přispěl podstatně k výzkumu kosmických objektů všech typů. Přestože optické charakteristiky nově instalovaných pozemských velkých dalekohledů jsou již nyní srovnatelné

s Hubbleovým dalekohledem, možnost pozorování i v mimooptických oborech zůstává nenahraditelná. Proto je do budoucna zvažována možnost jeho náhrady novým Webbovým dalekohledem o průměru primárního zrcadla 6,5 m, sestaveného z 18 segmentů zhotovených z berylia. Má pracovat v infračerveném oboru spektra (0,6 – 28) μm . Předpokládá se vypuštění v roce 2014 a umístění do Lagrangeova bodu L_2 soustavy Země – Měsíc.

L i t e r a t u r a

- [1] *Spitzer, L.*: Astronomical advantages of an extra-terrestrial Observatory. Project RAND Report, Douglas Aircraft Co., September I.
- [2] *Kalas, P., aj.*: Optical Images of an Exosolar Planet 25 light – Years from Earth. *Science* 322, 2008, 1345–1348.
- [3] <<http://www.nasa.gov/audience/foreducators/index.html>>
- [4] *Harms, J. R., aj.*: HST FOS Spectroscopy of M 87: Evidence for a disk of ionized gas around a massive black hole. *ApJ* 435, 1994, L35 – 38.
- [5] *Ferrarese, L., aj.*: The extragalactic distance scale key project IV. The discovery of cepheids and a new distance to M 100 using HST. *ApJ* 464, 1996, 568–599.
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Tully-Fisher_relation>
- [7] *Beckwith, S. V. W., aj.*: The Hubble Ultra Deep Field. *AJ*, 132, 2006, 1729–1755.

Hrajeme si s fyzikou aneb jednoduché pokusy pro malé i velké žáky

1. část – VZDUCH

JANA ČESÁKOVÁ – MICHAELA KŘÍŽOVÁ

Přírodovědecká fakulta – Univerzita Hradec Králové

Cílem tohoto článku je představit semináře zaměřené na jednoduché fyzikální pokusy, které ve spolupráci s Univerzitou Hradec Králové pravidelně organizuje Školské zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků Královéhradeckého kraje [1]. Od roku 2008 proběhly již čtyři semináře, které bychom vám rádi postupně přiblížili.

Pokusy ve fyzice

Pokusy ve fyzice by měly být nedílnou součástí téměř každé hodiny. Teorie jako taková, i když je doplněna mnoha příklady, zůstává stále jen teoretickou a pro většinu žáků nepředstavitelnou abstrakcí, kterou se snad naučí nazpaměť, ale jen těžko ji opravdu porozumí. Problémový pokus naproti tomu přináší důkaz, že tabule popsaná vzorci skutečně funguje a pochopení fyziky se dá i k něčemu podstatnému využít. Důležitá je zejména souvislost fyzikálních zákonů a fungování světa okolo nás. Výhoda pokusů je i ta, že nejsou ve většině jiných učebnic a mohly by tak pomoci k lepšímu postavení fyziky na žebříčku popularity školních předmětů. Pokusy ožíví hodinu a děti baví, protože si díky nim mohou fyziku „osahat“. Pro učitele je zase přínosný ten fakt, že při zadání a řešení problémových pokusů lze plnit a rozvíjet téměř všechny klíčové kompetence Rámcových vzdělávacích programů.

A protože ne ve všech školách je v kabinetu fyziky dostatek pomůcek, aby si daný pokus mohly vyzkoušet všechny děti, je dobré zařazovat do hodin takové pokusy, pro které stačí jednoduché pomůcky. Pokus díky takovým pomůckám dokonce pro mnohé žáky získává na atraktivitě, protože ho mohou předvést rodičům a sami vyzkoušet.

Proto jsme se rozhodli, že semináře pro učitele zaměříme právě na jednoduché pokusy s jednoduchými pomůckami. Při seminářích jsme zjistili, že mnohé pokusy, ač se nám zdály již všeobecně známé, někteří učitelé neznali, případně je ve školách vůbec nedělali. Důvody byly buď takové, že nevěděli, jak přesně pokus udělat, některých pokusů se báli, nebo se jim zdály příliš jednoduché. Proto do seminářů zařazujeme i známé pokusy a doufáme, že vás některý návod inspiruje.

Semináře pro učitele

Pro učitele fyziky připravujeme semináře s názvem „Hrajeme si s fyzikou aneb jednoduché pokusy pro malé i velké žáky“. Zde s učiteli procházíme mnoho zajímavých pokusů, které lze najít i na akci Hrajme si i hlavou [2], která přináší fyzikální pokusy přímo do ulic města Hradec Králové. Nedílnou součástí seminářů jsou i naše vlastní zkušenosti s realizací pokusů. Řešíme společně různá vylepšení a varianty pokusů i vlastní zkušenosti a také nezdarů s jejich demonstrací.

Během čtyř seminářů jsme se zatím dotkli témat – voda a vzduch, fyzikální kouzla, zajímavé kapaliny či zvuk. Jak jsme si ověřili, mezi učiteli

je velký zájem o semináře, kde mohou načerpat inspiraci pro svoji výuku, probrat s kolegy problémy spojené s demonstrací některých pokusů či pomůcek pro výuku fyziky. Učitelé (nejen fyziky) by na sobě měli stále pracovat, seznamovat se s novými metodami výuky, zkoušet nové pokusy, zadávat dětem zajímavé úlohy, protože jen tak budou jejich hodiny pro děti opravdu srozumitelné a zajímavé.

Náměty na pokusy se snažíme vyhledávat na různých místech. Hlavní inspirací je konference Veletrh nápadů učitelů fyziky [3], semináře a setkání Heuréky [4] či internetový portál youtube [5]. Pokusy se snažíme vylepšit, případně zjednodušit, aby si s nimi poradil opravdu každý.

Seminář VZDUCH

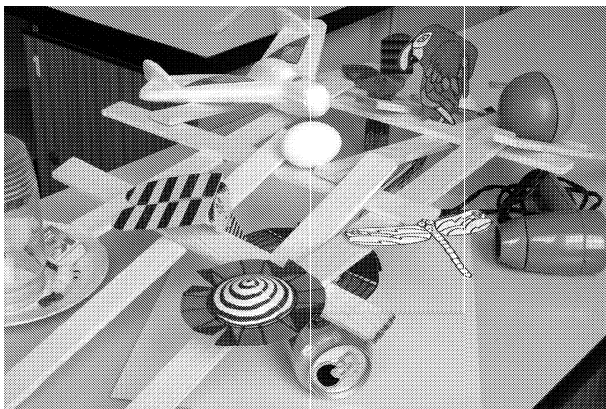
Seminář VZDUCH byl rozdělen do dvou základních částí – Fyzika a příroda a Fyzika a člověk. Nosným tématem pro obě části byl již v názvu zmíněný VZDUCH.

Předvedli jsme mimo jiné několik pokusů, jak dětem zajímavě demonstrovat atmosférický tlak – Jak dostat vajíčko do láhve od kečupu, Jak dostat minci suchou rukou z vody, Jak zničit plechovku od limonády tlakem vzduchu, Jak „nerozfouknout“ od sebe dva listy papíru nebo dvě PET lahve atd.

V části Fyzika a člověk jsme se zaměřili hlavně na výrobu různých vznášedel a ukázkou principu létání. Podle námětů si učitelé s dětmi mohou vyrobit vlastní vznášedlo, vrtulníček nebo letadýlko a zkoumat podmínky, za kterých létají nejlépe. Chybět nemohla ani lihová raketa a další nejen pro děti fascinující pokusy (obr. 1).

Na závěr jsme do semináře jako bonus zařadili témata *Těžiště a rovnováha* a *Mosty a další lidské stavby*. Ty obsahovaly náměty na praktické domácí úkoly pro děti – výroba vážky a papouška nebo zajímavé problémy kolem rovnováhy „provazochodce“. Zkoumali jsme různé černé skříňky se zajímavými vlastnostmi, které způsobuje změněné či měnící se těžiště. Dále jsme stavěli samodržící mosty a řešili hlavolamy, kde mosty hrály hlavní roli.

Na semináři účastníci obdrží užitečnou brožurku plnou návodů na pokusy, které jsme během semináře vyzkoušeli. V návodu jsou přesně uvedeny použité pomůcky, postup i doprovodný obrázek či fotografie daného pokusu. Pro vaši jasnější představu uvádíme několik námětů na vlastní pokusy.

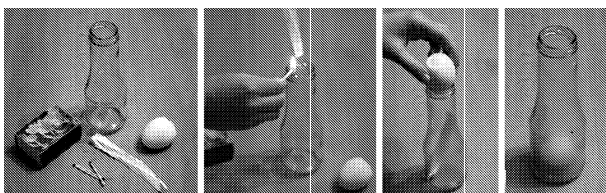


Obr. 1

Jak dostat vajíčko do lahve od kečupu?

Pomůcky: sklenice od kečupu, uvařené oloupané vajíčko, proužek papíru, zápalky

Postup: Nejdříve dětem ukážeme, že vajíčko samo do sklenice nepropadne (vajíčko by mělo být hladké, na povrchu nezníčené). Pak zapálíme proužek papíru (nebo stačí několik zapálených zápalek), vhodíme ho do sklenice a hned posadíme vajíčko na hrdlo lahve. Jakmile papír dohoří, vajíčko se „včucne“ dovnitř (obr. 2).



Obr. 2

Vysvětlení: Ve skutečnosti se tam vajíčko samo „nevčucne“, ale je tam natlačeno! Zapálený papír ohřeje vzduch ve sklenici (část vzduchu unikne, než posadíme vajíčko na hrdlo). Spalováním papíru také vznikne CO_2 a horká vodní pára. Jakmile zakryjeme hrdlo láhve vajíčkem, hoření brzy skončí, protože zamezíme přístupu kyslíku. Plyny v láhvi se ochladí a vodní

pára kondenzuje (můžeme pozorovat zamlžení sklenice), dochází také k rozpouštění CO_2 ve vodě. To vše vede k poklesu tlaku plynů v láhvi. Vnější atmosférický tlak je větší než tlak plynů uvnitř a proto vnější tlaková (atmosférická) síla vtlačí vajíčko do láhve.

Tento pokus je poměrně známý. Zajímavé je navázat na něj problémovou úlohou – jak dostat vajíčko zase ven? Děti určitě napadne rozbít sklenici nebo vajíčko ve sklenici rozdrtit například vařečkou a pak je jednoduše vysypat. Pokud chceme vajíčko dostat ven nepoškozené, můžeme polít sklenici obrácenou dnem vzhůru horkou vodou nebo do sklenice prudce fouknout (viz [6]). Můžeme také použít vývěvu, pokud ji v kabinetu fyziky máme. Pod recipientem vývěvy upevníme do stojánku sklenici dnem vzhůru, takže vajíčko bude „sedět“ v otvoru. Potom vyčerpáme z vývěvy vzduch a snížíme tak tlak vzduchu uvnitř vývěvy. Vajíčko „vytlačí“ ven větší tlak vzduchu, který je uvnitř sklenice.

Jak dostat minci suchou rukou z vody?

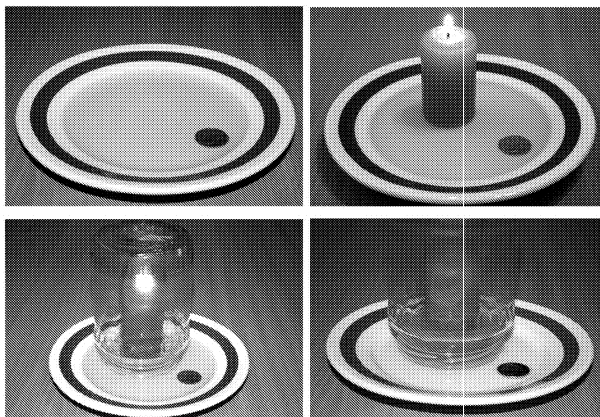
Pomůcky: zavařovací sklenice, talíř, mince, trochu vody (nejlépe obarvené potravinářským barvivem), svíčka, zápalky

Postup: Do misky nalijeme vodu a minci položíme do ní. Pak necháme děti vymýšlet způsoby, jak dostat minci suchou rukou ven – děti napadne např. vyšťouchnout minci špejlí, nebo použít magnet, vylít vodu, . Nakonec jim ukážeme „svůj“ způsob, při kterém nám pomůže atmosférický tlak. Do misky postavíme svíčku a zapálíme ji. Potom ji přiklopíme zavařovací sklenicí a pozorujeme, co se bude dít. Svíčka po chvilce zhasne, voda se „nasaje“ dovnitř sklenice a mince se tak ocitne „na suchu“ (obr. 3).

Vysvětlení: Pokus zařazujeme proto, že se s ním žáci setkávají většinou již na prvním stupni. Bohužel jim ale není přesně vysvětlen a žáci si vytvoří svou mylnou představu o tom, jak tento pokus funguje. Jak jsme zjistili při různých vědecko-populárních akcích, téměř většina populace si tuto svou miskoncepci (neboli mylné pojetí) nese až do dospělosti. Při tomto pokusu je totiž nejčastější toto vysvětlení – ve sklenici došel kyslík, a tak tam po něm vzniklo místo. Tím vznikl podtlak, který vodu nasál. Je dobré tuto odpověď nechat zaznít a pokus provést znovu, aby se pozorováním dokázalo, že toto tvrzení neplatí. Důkazem je, že voda se začíná nejvíce nasávat, až když svíčka zhasne a to už tam přece žádný kyslík neubývá.

Ve skutečnosti se hořením zahřejí plyny uvnitř sklenice, zvětší svůj objem a část jich probublá ven. Po dohoření plamene se plyny ve sklenici ochladí, což vede k poklesu tlaku uvnitř sklenice. Pokles tlaku je způsoben

také tím, že část vodní páry ze vzduchu zkapalní (stěny sklenice se orosí) a dochází také k rozpouštění CO_2 (který vznikl při hoření) ve vodě. Vyšší vnější atmosférický tlak pak natlačí vodu do sklenice.

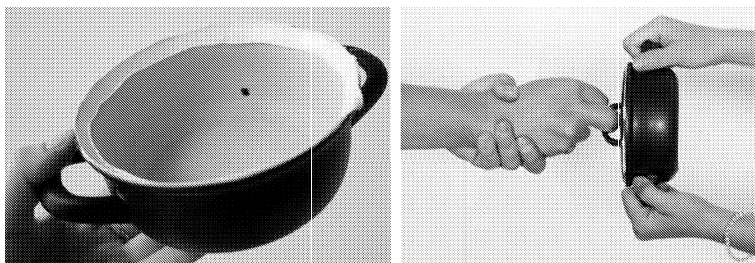


Obr. 3

Jak pevně drží poklička na kastrůlku?

Pomůcky: kastrůlek, poklička, silikonový tmel, vařič, zápalky, voda

Postup: Do kastrůlku, který má okraj potřený silikonovým tmelem pro utěsnění (obr. 4a), dáme trochu vody, postavíme na vařič a necháme zahřát k varu. Pak kastrůlek přikryjeme pokličkou, trochu ji přitlačíme a pak rychle ochladíme pod tekoucí studenou vodou. Žáky můžete vyzvat, aby zkusili pokličku odtrhnout (obr. 4b). Určitě se jim to nepodaří!



a)

b)

Obr. 4

Vysvětlení: Když se vzduch v kastrůlku ohřál, vzrostl jeho tlak a trochu vzduchu uniklo ven. Voda, kterou jsme tam nalili, se při zahřívání vypařovala a pára se musela o prostor v kastrůlku dělit se vzduchem. Když jsme kastrůlek ochladili studenou vodou, vzduch uvnitř se ochladil taky a pára z trochy nalité vody zkondenzovala. Tlak vzduchu a páry uvnitř kastrůlku klesl a větší tlak vzduchu vnější atmosféry „přidržel“ pokličku na kastrůlku, takže ji nešlo odtrhnout. Pokličku uvolníme tak, že kastrůlek opět postavíme na vařič a zbývající voda se opět začne vařit.

Pokus je jednoduchou variantou Magdeburských polokoulí, které ve škole často nejsou nebo špatně fungují (musí se potírat různými tmely, aby u sebe opravdu držely). Celý pokus tak vyžaduje notnou dávku šikovnosti a také funkční vývěvu, která nebývá běžnou součástí fyzikálních kabinetů. Nicméně tento pokus je překvapivý svou jednoduchostí. Jedná se o obyčejný kastrůlek a žáci lépe pochopí, co se při pokusu děje, než když se do třídy přinese zařízení se záhadnými polokoullemi. Ale zmínit se o nich určitě můžeme a to i o tom, že je od sebe nedokázalo odtrhnout ani 8 párů koní. Byl to jeden z prvních důkazů atmosférického tlaku a vyvrátil dosud uznávanou teorii *horror vacui*.

Jak udržet vodu ve skleničce dnem vzhůru?

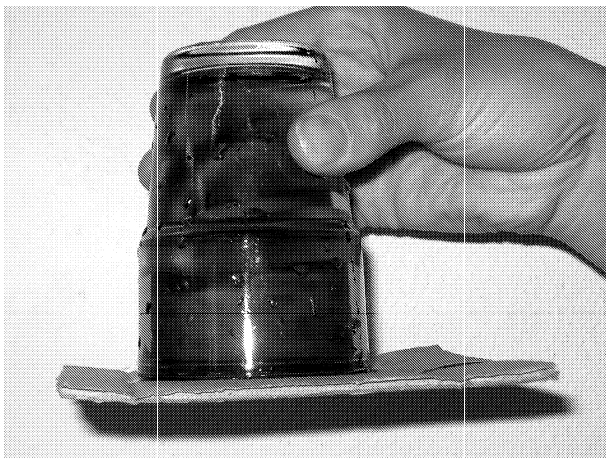
Pomůcky: sklenička, tvrdý papír, voda

Postup: Na plnou sklenici vody položíme tvrdý papír, přidržíme ho rukou a sklenici obrátíme dnem vzhůru. Ruku oddálíme. Papír udrží vodu ve sklenici.

Vysvětlení: Na papír působí kolmo vzhůru atmosférická tlaková síla okolního vzduchu, která je větší než tíha vody, která působí kolmo dolů. Proto voda ze skleničky nevyteče (obr. 5).

Tento pokus většina žáků již také zná. Proto ho vylepšete! Vezměte si takovou sklenici, na jejíž hrdlo zvládnete připevnit punčochu, záclonu nebo nějaké vodu odpuzující sítko. Před žáky musíte se sklenicí zacházet opatrně, aby figl dopředu neodhalili. Když naplníte sklenici vodou, otočíte sklenici s papírem, papír sundáte a voda stále drží v kelímku, uvidíte teprve opravdový zájem v očích vašich žáků. Když zatřesete rukou, voda vyteče. Nechte je potom hádat, jak jste pokus provedli.

Naše nejjednodušší provedení je s kelímkem od kávy z automatu, aby byl kelímek neprůhledný a lépe se v něm sítko skryla. Na hrdlo je pomocí vosku nalepeno kolečko ze záclony, kterou jsme předtím pokapali voskem, aby odpuzovala vodu. Při atmosférickém tlaku voda přes sítko neprojde



Obr. 5

díky povrchovému napětí vody. Když pustíte vodu z vodovodu nebo rukou zatřesete, tlak se zvětší a voda z kelímku či do kelímku nateče bez problémů.

Závěr

Pokusy by měly být nedílnou součástí hodin fyziky. Ale aby je dnes učitelé mohli dělat, musí být vše co nejjednodušší a z dostupných materiálů a pomůcek. Téměř nikdo si totiž nemůže dnes dovolit kupovat něco příliš drahého. Také musí být přehledně formulováno, z čeho a jak pokus připravit a jak ho dětem vysvětlit. Proto se snažíme ke každému pokusu přidat i podrobný návod s vysvětlením a většinou i obrázkem. Účastníci seminářů si tak odnesou užitečnou brožurku plnou návodů na pokusy. A tak doufáme, že jsou semináře pro učitele přínosné a hodláme v nich pokračovat.

L i t e r a t u r a

- [1] <http://www.cvkhk.cz/>
- [2] <http://www.hrajme-si-i-hlavou.cz/>
- [3] <http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/>
- [4] <http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/>
- [5] <http://www.youtube.com/>
- [6] http://fyzweb.cz/materialy/bizarni_kramy/vejce.php