

ŠKOLSKÁ FYZIKA



praktický časopis pro výuku fyziky



4
2013

**Praktický časopis pro výuku fyziky
a práci s talentovanými žáky
na základních a středních školách**

Vydává: Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni ve spolupráci s ústřední komisí FO, dalšími fakultami připravujícími učitele fyziky a Českou nukleární společností pod patronací Jednoty českých matematiků a fyziků

Šéfredaktor: Karel Rauner (rauner@kmt.zcu.cz)

Výkonný redaktor: Miroslav Randa (randam@kmt.zcu.cz)

Redakční rada: Irena Dvořáková, Josef Kepka, Václav Kohout, Aleš Lacina, Miroslav Randa, Karel Rauner, Milan Rojko, Ivo Volf.

Adresa redakce: Školská fyzika, KMT FPE ZČU, Klatovská 51, 306 14 Plzeň,
Telefon: 377 636 303

Vychází: čtyřikrát ročně

Předplatné: zdarma

URL (Internet): <http://sf.zcu.cz/>

Evidováno: u Ministerstva kultury ČR pod číslem MK ČR E 11868

ISSN 1211-1511

Toto číslo vyšlo 22. ledna 2014.

Obsah

Václav Kohout

Nobelova cena za fyziku 2013 **1**

Jaroslava Žáková

**Konference v Bad Honnef: Physikshows
und Freihandexperimente** **9**

Václav Meškan

**Rozvoj tvořivosti ve výuce fyziky I. – Tvůrčí řešení problémů,
pedagogicko-didaktické aspekty rozvoje tvořivosti ve fyzice** **13**

Pavel Masopust

Počítačová podpora vyučování fyziky **19**

Jan Novotný

Od kvarku po kvasar **23**

Ivo Volf, Pavel Kabrhel

Krajské kolo 54. ročníku Fyzikální olympiády v kategorii E **25**

Z internetových zdrojů vybrali Miroslav Randa, Václav Kohout

Fyzikální a matematické vtípky I. **30**

Václav Kohout

Mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“ II. **31**

Ota Kéhar

Třetí Keplerův zákon **37**



Nobelova cena za fyziku 2013

Václav Kohout¹, Nakladatelství Fraus

Nobelovu cenu za fyziku letos získali François Englert a Peter Higgs za teoretický objev mechanismu, který přispěl k našemu pochopení původu hmotnosti subatomárních částic a který byl nedávno potvrzen objevem předpovídané fundamentální částice v experimentech ATLAS a CMS na urychlovači LHC (Large Hadron Collider) ve švýcarském CERNu. Definitivní potvrzení teorie a objev Higgsova bosonu umožnil doplnění posledního chybějícího článku do standardního modelu částicové fyziky.



Obr. 1 – Nobelova cena – líc a rub medaile

Higgsův boson na scéně

Před čtyřiceti lety, 27. července 1964, uveřejnil skotský fyzik Peter Higgs (*1929) v časopise *Physics Letters* krátký článek, z něhož postupně vykryštoval jeden z největších problémů moderní fyziky. Higgs v článku předestřel teoretický koncept mechanismu, jímž elementární částice ve standardním modelu nabývají své hmotnosti. Zprostředkující částice, která ostatním částicím „přiděluje hmotnost“, byla později, když se ukázalo, že popis tohoto mechanismu je pravděpodobně správný, nazvána Higgsův boson. Po prvním Higgsově krátkém článku následovaly ještě v létě roku 1964 další dva, které byly podrobnější. V srpnu navíc publikovali v též periodiku François Englert (*1932) a Robert Brout (1928–2011) z Univerzity v Bruselu své výpočty na základě Feynmanových diagramů. Tyto výpočty vedly v zásadě ke stejným závěrům, k jakým dospěl Higgs. Téměř o 50 let později, 4. července 2012, byl v CERNu oznámen objev nové částice s odpovídajícími parametry.

K definitivnímu potvrzení existence Higgsova bosonu došlo letos 14. března 2013. Důkaz existence této částice si vyžádal jak neobyčejné úsilí vědců, tak i obrovské materiální prostředky. Jeho objevem a následným změřením jeho vlastností však fyzika získává důležitá data pro porozumění tajemství hmoty a energie, stejně jako přírodních zákonů, které panovaly ve velmi raném vesmíru.



Obr. 2 – François Englert a Peter Higgs se setkali v CERNu, když byl světu oznámen objev Higgsova bosonu dne 4. července 2012.

¹ kohout@fraus.cz



Co předcházelo

Když na konci 40. let minulého století formulovala skupina fyziků kvantovou elektrodynamiku (QED, spojující do konzistentní teorie rovnice Maxwellovy klasické teorie elektromagnetického pole s kvantovou mechanikou a speciální teorií relativity), byli fyzici nadšeni její elegancí a symetričností. Bylo sice nutné vyřešit problémy s výskytem nekonečných koeficientů, ale to se podařilo pomocí metod renormalizace a regularizace. Ty jsou klíčové při sjednocování interakcí. Co je však podstatné, nejde jen o skvostnou eleganci této teorie. Experimentátoři potvrdili, že se její předpovědi velmi přesně shodují s výsledky měření. Fyzici byli povzbuzeni tímto úspěchem a hledali další příklady, kde by jim symetrie pomohla. Již v roce 1956 vytvořil Julian Schwinger princip kalibrační symetrie pro elektromagnetickou a slabou interakci současně. Předpokládal totiž, stejně jako nestor nukleární fyziky Enrico Fermi, že obě interakce v sobě skrývají nějaký hlubší vztah, který dosud nebyl objeven. Jeho úsilí završil Sheldon Glashow, jenž na prahu 60. let minulého století formuloval teorii, která obě interakce – elektromagnetickou a slabou – spojovala do konzistentního rámce. Tato teorie ovšem počítala s třemi novými částicemi, s nosiči slabé interakce W^+ a W^- a jejich neutrálním partnerem, částicí Z^0 . Glashow předpokládal, že půjde o těžké bosony, neboť slabá interakce má krátký dosah. Jejich hmotnosti ale teorie vyčíslit nedokázala. I když tedy Glashowova teorie naplňovala ideu symetričnosti, která souzní se standardním modelem částic, řada fyziků ji sice neztracovala, ale přistupovala k ní se skepsí. Že šlo o správný krok, potvrdil přelomový experiment v laboratořích CERN, objev částic W a Z v roce 1983. Hned v následujícím roce 1984 za tento objev obdrželi Nobelovu cenu Carlo Rubbia a Simon van der Meer.

Glashowova teorie byla sice v zásadě správná, ale problémem zůstávala hmotnost částic. Později jeden z fyziků poznamenal, že si Glashow pouze neuvědomil, že symetrická teorie může vést i k nesymetrickým řešením. Částicoví fyzikové, inspirovaní termodynamikou a moderními teoriemi chaosu, si totiž začali uvědomovat princip nyní označovaný jako „spontánní narušení symetrie“. Vyplývalo z něj například to, že těžké částice mohou způsobovat, že se prázdný prostor stane nesymetrickým. Peter Higgs, jenž se původně zabýval teorií silné interakce, v článku z roku 1964 navrhl zvláštní řešení, podle kterého nosiče interakce zřejmě umí tyto těžké částice pohltit, čímž samy získávají hmotnost, zatímco foton zůstává vždy nehmotný. Tato myšlenka sehrála svou roli, když dvojice fyziků, Steven Weinberg a Abdus Salam, formulovala konečnou podobu teorie elektroslabé interakce. Weinberg zde navíc jednoduchou modifikací Higgsova mechanismu dal hmotnost také např. elektronu a dalším elementárním fermionům, a tím pomohl na svět současnému standardnímu modelu. Za konzistentní teorii slabé interakce byli její autoři (Glashow, Weinberg, Salam) odměněni Nobelovou cenou v roce 1979.

Standardní model, který přinesl řád

Představa, že svět může být vysvětlen pomocí několika málo stavebních kamenů, je velmi stará. Již 400 let př. n. l. předpokládal řecký filozof Démokritos, že se vše skládá z atomů (atomos – řecky nedělitelný). Dnes však víme, že atomy nejsou nedělitelné. Skládají se z elektronů, které se vyskytují kolem atomového jádra složeného z neutronů a protonů, ty se skládají z menších částic zvaných kvarky. Podle standardního modelu jsou dále nedělitelné pouze elektrony a kvarky. Atomové jádro se skládá ze dvou druhů kvarků, up-kvarků a down-kvarků. K tomu, aby existovala veškerá hmota ve vesmíru, jsou tedy potřebné pouze tři částice – elektrony, up-kvarky a down-kvarky. Během 50. a 60. let 20. století byly v kosmickém záření a v nově postavených výkonných urychlovačích neočekávaně pozorovány další nové částice, takže standardní model musí umět popsat i exotičtější sourozence elektronů a kvarků, kterými jsou miony, tauony, jejich neutrina a odpovídající antičástice.

Kromě částic hmoty existují ještě intermediální (zprostředkující, výměnné) částice pro každou ze čtyř přírodních interakcí – gravitaci, elektromagnetickou, slabou a silnou interakci. Pro upřesnění dodejme, že graviton byl pouze předpovězen, nikoli experimentálně prokázán. Gravitace a elektromagnetické působení jsou nejznámější, jejich přitažlivé či odpudivé účinky můžeme pozorovat na vlastní oči. Silná interakce působí mezi kvarky a drží pohromadě protony a neutrony v atomovém jádře, zatímco slabá interakce je odpovědná za radioaktivní rozpad beta, který hraje nezbytnou úlohu například při jaderných procesech v nitru Slunce. Standardní model částicové fyziky spojuje



základní stavební kameny přírody a zahrnuje intermediaální částice tří ze čtyř nám známých interakcí (čtvrtá částice, graviton, není součástí standardního modelu). Dlouho bylo záhadou, jak tyto interakce ve skutečnosti fungují.

hmotnost →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
náboj →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgsův boson
KVARKY					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ foton	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e elektron	μ mion	τ tauon	Z Z boson	
LEPTONY					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e elektronové neutrino	ν_μ mionové neutrino	ν_τ tauonové neutrino	W W boson	
					INTERMEDIÁLNÍ BOSONY

Obr. 3 – Standardní model částicové fyziky, první tři sloupce obsahují částice hmoty, čtvrtý sloupec je tvořen intermediaálními bosony a v pátém sloupci je Higgsův boson.

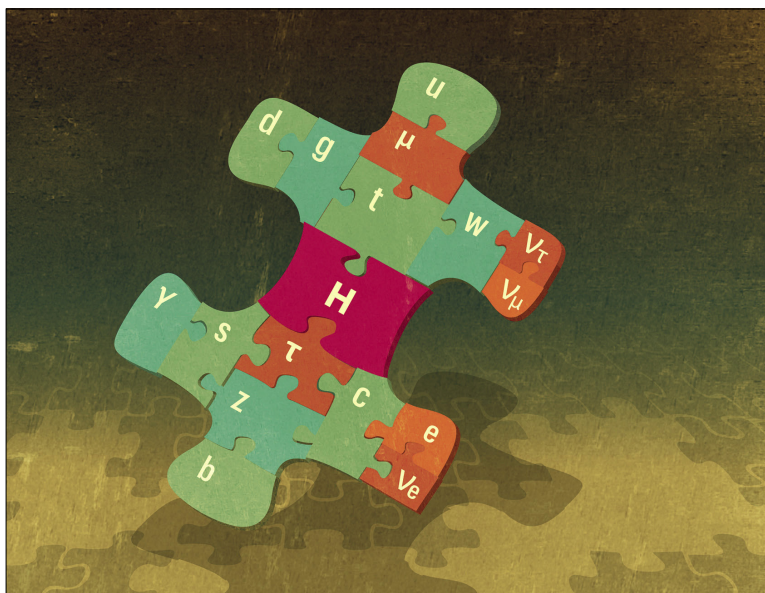
Neviditelná pole vyplňují prostor

Prostor je prostoupen mnoha neviditelnými poli. Gravitační pole, elektromagnetické pole, gluonové pole a všechna ostatní pole vyplňují prostor, nebo spíše čtyřrozměrný časoprostor, ve kterém se vše odehrává. Standardní model je kvantovou teorií pole, ve kterém jsou pole a částice základními stavebními kameny vesmíru. V kvantové fyzice je vše tvořeno souborem vibrací kvantových polí. Tyto vibrace tvoří malé „balíčky“, kvanta, která se nám jeví jako částice. Existují dva druhy pole – hmotné pole s částicemi hmoty a silové pole s intermediaálními částicemi, které zprostředkovávají silové působení. Higgsův boson je také vibrací příslušného pole, často označovaného jako Higgsovo pole.

Bez tohoto pole se standardní model hroutí jako domeček z karet, protože kvantová teorie pole dává nekorigovatelné nekonečné hodnoty a nikdy nepozorované symetrie. Až poté, co Peter Higgs a François Englert s Robertem Broutem ukázali, že Higgsovo pole může narušit symetrii standardního modelu bez poškození teorie jako celku, byl model akceptován.

Co způsobuje Higgsovo pole

Dnes už nikoho nepřekvapí skutečnost, že v kvantové fyzice není ani vakuum zcela prázdné, naopak. Kvůli principu neurčitosti se hemží přechodně existujícími částicemi, jež se neustále objevují a mizí. Higgsovy bosony mají schopnost „vtisknout“ prázdnému prostoru určitou strukturu, tzv. Higgsovo pole. Lze si ho představit například jako vlny na vnitřní vrstvě desky z vlnité lepenky. Zatímco nehmotné částice se pohybují podélně, jakoby po drážkách lepenky, nosiče slabé interakce (výše zmíněné částice W a Z) „drncají“ přes hrboly, které vrásnění způsobuje. K jejich překonání potřebují energii, kterou získávají od Higgsova pole a stávají se tak těžšími. Je to poněkud



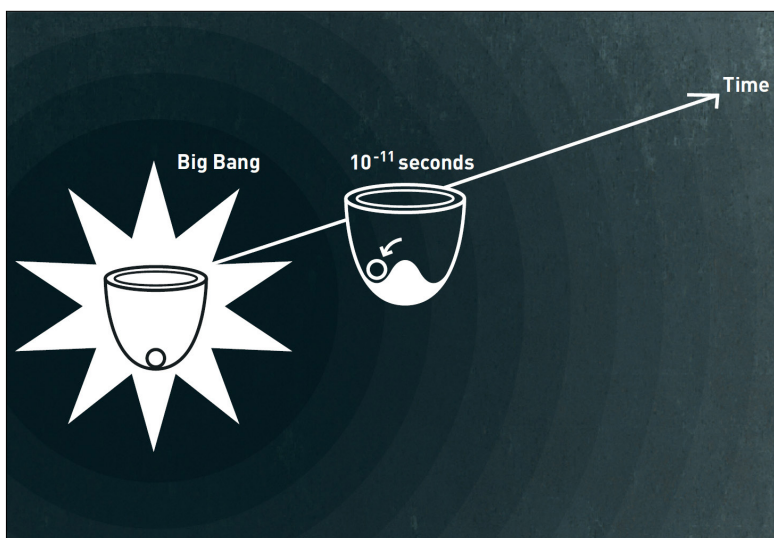
Obr. 4 – I když objev Higgsova bosonu uzavřel skládačku standardního modelu, určitě není standardní model konečnou podobou velkého kosmického puzzle.

krkolonná představa. Fyzici jsou si ale takřka jisti, že je správná. Bez Higgsova pole by totiž byly nehmotnými nejen fotony, ale i částice W a Z.

Higsovo pole je pro nás jako vzduch, jako voda pro rybu, bez něj bychom nemohli existovat, protože částice získávají svou hmotnost pouze v kontaktu s Higgsovým polem. Částice, které neinteragují s Higgsovým polem, nezískávají hmotnost, ty, které s ním interagují slabě, jsou lehké, a ty, které interagují silně, jsou těžké. Pro vznik a existenci atomů a molekul mají klíčovou roli elektrony, které také získávají hmotnost z tohoto pole. Pokud by náhle zmizelo, veškerá hmota by zkolabovala, jak by se nehmotné elektrony náraz rozptýlily rychlostí světla.

Symetrie všude kolem nás

Higsovo pole narušuje vnitřní symetrii světa. Příroda symetriemi oplývá, tváře jsou pravidelně tvarované, květy a sněhové vločky vykazují různé druhy geometrické symetrie. Fyzika odhaluje další druhy složitějších symetrií popisujících náš svět. Jedna taková relativně jednoduchá symetrie říká, že výsledky laboratorního experimentu nezávisí na tom, zda ho provádíme ve Stockholmu nebo v Paříži, nezáleží ani na tom, v kolik hodin experiment provádíme. Einsteinova speciální teorie relativity zabývající se symetriemi v prostoru a čase se stala vzorem pro mnoho jiných teorií i pro standardní model fyziky částic. Rovnice standardního modelu jsou symetrické, a to obdobným způsobem, jako míč, který vypadá stejně, ať se na něj díváte z jakéhokoli úhlu. Principy symetrie přinesly i další, poněkud nečekané výsledky. Již v roce 1918 německá matematická Emmy Noetherová ukázala, že zákony zachování ve fyzice, jako jsou zákony zachování energie, zachování hybnosti a zachování elektrického náboje, vyplývají také ze symetrie.



Obr. 5 – Vesmír pravděpodobně vznikl symetrický a neviditelné Higgsovo pole mělo symetrii, která odpovídá stabilní pozici koule v uprostřed kruhové misky. Ale již 10^{-11} sekundy po Velkém třesku Higgsovo pole symetrii narušilo, když se nejnižší energetická úroveň vychýlila mimo symetrický centrální bod.

Náš vesmír pravděpodobně vznikl jako zcela symetrický. V době Velkého třesku byly všechny částice nehmotné a všechny síly byly sjednoceny do jedné prapůvodní síly. Tento původní řád již neexistuje – jeho symetrie pro nás byla skryta. Něco se stalo jen 10^{-11} sekundy po Velkém třesku. Higgsovo pole ztratilo svou původní rovnováhu. Jak se to stalo?

Všechno začalo symetricky. Tento stav může být popsán pomocí polohy míče ve středu kruhové misky, tj. v nejnižším energetickém stavu. Při postrčení se míč ze středu vychýlí, ale po chvíli se vrátí



dolů do nejnižšího místa. Pokud však vznikne uprostřed mísy výstupek, takže mísa nyní vypadá spíše jako mexický klobouk, bude poloha uprostřed stále symetrická, ale zároveň se stane nestabilní. Kulička se skutálí dolů v libovolném směru. Klobouk je stále symetrický, ale jakmile se míček skutálel, jeho pozice mimo střed skryje symetrii. Podobným způsobem Higgsovo pole porušuje symetrii a stabilní energetická úroveň ve vakuu se nachází mimo symetrickou nulovou polohu. Toto spontánní narušení symetrie je také popisováno jako fázový přechod v Higgsově poli, obdobně jako když voda zmrzne na led.

Hon na Higgsův boson

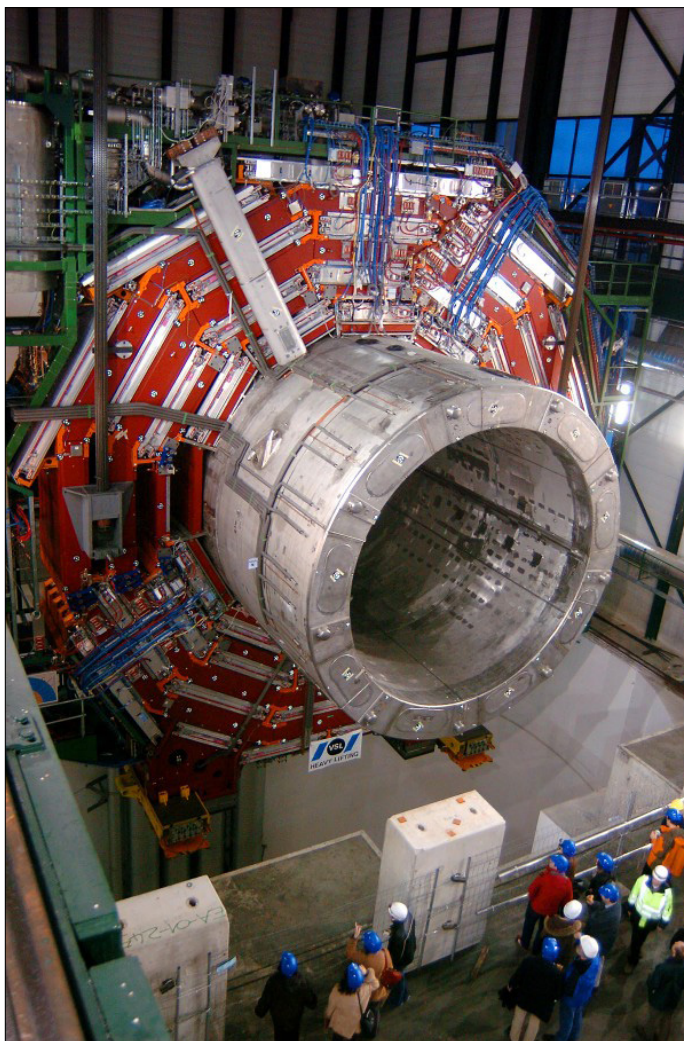
Zda Higgsovo pole skutečně existuje, můžeme ověřit tak, že najdeme jeho nositele, Higgsovy bosony. Z výpočtů vychází tyto částice velmi těžké, s klidovou energií nejméně 115 GeV, takže jejich experimentální zachycení vyžaduje obrovské energie. „Hon na Higgsův boson“ byl označen za prvořadý úkol experimentální fyziky prvního desetiletí 21. století.

Oba noví laureáti Nobelovy ceny za fyziku, Francois Englert a Peter Higgs, si nejspíš neuměli ani představit, že se jejich teorie potvrdí ještě za jejich života. Je za tím skryto obrovské úsilí experimentálních fyziků z celého světa. Při hledání Higgsova bosonu po dlouhou dobu soutěžily dvě laboratoře – Fermilab u Chicaga v USA a CERN na francouzsko-švýcarské hranici. Když byl v americkém Fermilabu před pár lety ukončen provoz supervýkonného urychlovače Tevatron, stal se CERN jediným místem na světě, kde pátrání po Higgsově bosonu pokračovalo.

Mezinárodní organizace CERN (Conseil Européen pour la recherche nucléaire, Evropská organizace pro jaderný výzkum) byla založena v roce 1954 ve snaze znovu vybudovat moderní centrum evropské vědy a posílit vztahy mezi evropskými zeměmi po druhé světové válce. Cílem organizace je spolupráce evropských států v oblasti čistě vědeckého a základního výzkumu. Členy je v současné době dvacet států, Česká republika se účastní činnosti od roku 1993, a dalších přibližně sto národů z celého světa na projektech spolupracuje. Nejvelkolepějším dílem CERNu je urychlovač částic LHC (Large Hadron Collider). Je to pravděpodobně největší a nejsložitější stroj, který dosud lidé postavili.

Dvě výzkumné skupiny kolem 3 000 vědců se pídí po částicích s pomocí obrovských detektorů ATLAS a CMS. Detektory jsou umístěny 100 metrů pod zemí a mohou sledovat až 40 milionů srážek částic za sekundu. Tak často se částice mohou srážet, když jsou jejich svazky vyslány proti sobě do kruhového tunelu LHC dlouhého 27 kilometrů.

Protony jsou vstřikovány do LHC každých deset hodin, jeden svazek v každém směru. Není úplně jednoduché udržet 10^{14} protonů pohromadě a stlačit je do velice tenkého svazku, protože protony se díky svému kladnému

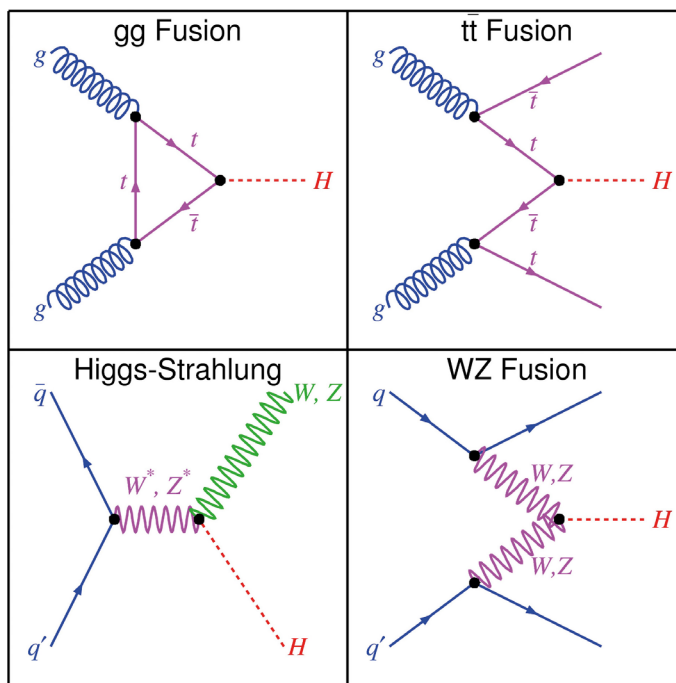


Obr. 6 – LHC (The Large Hadron Collider) v CERN, experiment CMS

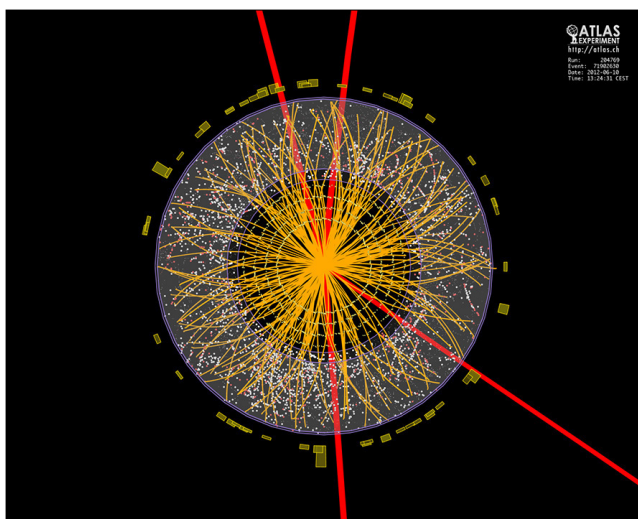


elektrickému náboji navzájem odpuzují. Pohybují se 99,99999 procenty rychlosti světla a sráží se s energií přibližně 4 TeV na jeden svazek, 8 TeV v těžišťové soustavě ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$). Jeden TeV není příliš mnoho energie, víceméně odpovídá energii letícího komára, ale je-li tato energie soustředěna do jednoho protonu a tunelem urychlovače se řítí 500 biliónů těchto protonů, vyrovná se jejich energie energii vlaku v plné rychlosti. V roce 2015 bude navíc tato energie v urychlovači LHC ještě téměř zdvojnásobena.

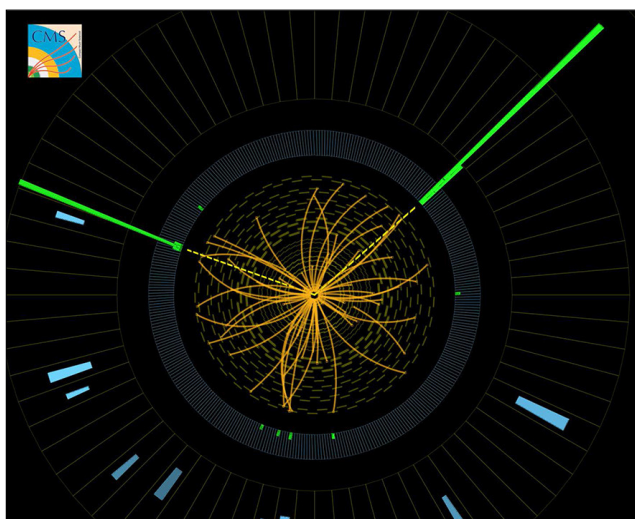
Částicové experimenty jsou někdy přirovnávány k rozbití dvojích švýcarských hodinek zároveň, s cílem zjistit, jak jsou zkonstruovány. Realita je však mnohem složitější, protože částice, které vědci hledají, jsou zcela nové, jsou vytvořeny až energií uvolněnou v průběhu srážky. Podle známého Einsteinova vzorce $E = m \cdot c^2$ je hmotnost prakticky ekvivalentní energii. To je kouzlem této rovnice, která umožňuje, aby při srážce dvou, i nehmotných částic, vznikaly nové objekty. Když se sráží dva fotony, vznikne elektron a jeho antičástice pozitron. Díky srážce dvou gluonů může vzniknout Higgsův boson. Ovšem pouze za předpokladu, že je energie srážky dostatečně vysoká. Pro popis interakcí vedoucích k Higgsovu bosonu je možné úspěšně použít Feynmannovy diagramy. Při jednom střetu dvou svazků částic dochází průměrně jen k dvaceti přímým čelním srážkám. Každá taková srážka má za následek bouřlivou explozi, při které se uvolní tisíce dalších částic. Ukázalo se, že Higgsův boson je více než stokrát těžší než proton, má hmotnost přibližně $125 \text{ GeV} \cdot c^{-2}$, a to je jeden z důvodů, proč bylo tak těžké potvrdit jeho existenci. Higgsův boson navíc žije velmi krátce, asi 10^{-21} sekundy. Dnes je existence Higgsova bosonu prokázána v obou experimentech ATLAS a CMS, v každém z nich přibližně v tisícovce rozpadů na tři různé páry částic.



Obr. 7 – Feynmanovy diagramy znázorňující různé možnosti vzniku Higgsova bosonu



Obr. 8 – Pravděpodobný objev v detektoru ATLAS ukazuje stopy čtyř mionů (červeně), které byly vytvořeny rozpadem Higgsova bosonu s krátkou dobou života.



Obr. 9 – Higgsův boson mohl vzniknout a téměř okamžitě se rozpadl na dva fotony. Jejich stopy (zeleně) jsou zde vidět v detektoru CMS.



Kosmologické důsledky

Na celou problematiku Higgsova pole a Higgsova bosonu se můžeme podívat i z jiného úhlu. Objev elektroslabé interakce totiž ovlivnil i kosmologii. Astrofyzici si uvědomili, že ve velmi raném vesmíru byla doba, kdy symetrie ještě nebyla narušena a všechny interakce byly stejné. Tento stav dokonalé symetrie narušilo zřejmě právě Higgsovo pole. To sice může existovat v symetrickém stavu (bez výše popsaného obrazného vrásnění), ale jeho stav s nejnižší energií – což je stav přirozený – symetrii narušuje. V okamžiku, kdy došlo k tomuto narušení, se elektromagnetická a slabá interakce oddělily. Higgsovo pole zároveň „propůjčuje“ jiným částicím jejich různé hmotnosti.

Tato představa, je-li správná, může mít dalekosáhlé důsledky. Pokud je totiž historie vesmíru pádem ze stavu dokonalé symetrie, lze se domnívat, že mnohé z toho, co dnes kolem sebe pozorujeme, je výsledkem náhody, nikoli nutnosti. To za prvé. A za druhé: Sjednocená teorie, která popíše vztahy mezi touto (ne)symetrií a dalšími silami, by zároveň identifikovala přírodní zákon nebo zákony, které vládly na počátku vzniku vesmíru. Porozumění hmotě a energii by se dostalo na novou úroveň včetně porozumění temné hmotě a temné energii, jejichž existence současnou kosmologii značně komplikuje.

Laureáti

François Englert

Narodil se v belgické židovské rodině. Aby přežil druhou světovou válku, musel tajit svůj původ. Žil v sirotčincích a dětských domovech. V roce 1955 dokončil studia na Svobodné univerzitě v Bruselu (ULB – *Université Libre de Bruxelles*) a stal se elektroinženýrem. V roce 1959 získal na této univerzitě PhD z fyziky. Poté pracoval tři roky na Cornellově univerzitě a nakonec se vrátil na ULB. V roce 1984 přesídlil na Univerzitu v Tel Avivu a od roku 2011 spolupracuje s Chapmanovou univerzitou v Kalifornii.

http://www.ulb.ac.be/sciences/physth/people_FEnglert.html



Peter W. Higgs

Narodil se v Elswicku v Anglii, má anglického otce a skotskou matku. Střední školu navštěvoval v období druhé světové války v Bristolu. Doktorát z fyziky získal na Královské koleji v Londýně. V roce 1954 obhájil PhD, jeho práce se týkala vibračních stavů molekul. Začal pracovat na Edinburské univerzitě (1954–1956). Poté vystřídal několik míst (Imperial College, University College v Londýně). Zabýval se zejména matematikou a kvantovou teorií. V roce 1960 se vrátil na Edinburskou univerzitu, kde strávil nejdelší období svého života.

<http://www.ph.ed.ac.uk/higgs/>

**Zdroje**

- [1] Compiled by the Class for Physics of the Royal Swedish Academy of Sciences. *Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2013, The BEH-Mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles*. Stockholm: The Royal Swedish Academy of Sciences, 2013. Dostupné z <http://www.kva.se/Documents/Priser/Nobel/2013/fysik/sciback_fy_131017_FINAL.pdf>
- [2] Jak by vypadal svět bez Higgsova bosonu. *Science World* [online]. c2013, poslední revize 23. 9. 2013 [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/jak-by-vypadal-svet-bez-higgsova-bosonu/>>
- [3] JEŽEK David. Nobelova cena za fyziku 2013: François Englert a Peter W. Higgs za Higgsův boson. *Deep in it* [online]. c2013, poslední revize 9. 10. 2013 [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://diit.cz/clanek/nobelova-cena-za-fyziku-2013-za-higgsuv-boson>>
- [4] KAPOUN Jan. Příběh Higgsova bosonu. *Science World* [online]. c2011, poslední revize 25. 2. 2011 [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/pribeh-higgsova-bosonu-2285/>>
- [5] KULHÁNEK Petr. Udělení Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2013. *Aldebaran Bulletin* [online]. c2013, [cit. 2013-11-13]. Dostupné z <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2013_32_char.php>
- [6] Nobelova cena za Higgsův boson. *Science World* [online]. c2013, poslední revize 8. 10. 2013 [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://www.scienceworld.cz/aktuality/nobelova-cena-za-higgsuv-boson/>>
- [7] Nobelova cena za fyziku 2013 - Peter W. Higgs a Francoise Englert. *Oborová brána Technika (TECH)* [online]. c2013, [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://tech.jib.cz/novinky-a-akce/nobelova-cena-za-fyziku-2013-peter-w.-higgs-a-francoise-englert>>
- [8] RAMEŠ Jiří. *Nobelova cena za fyziku 2013* [online]. Praha: Fyzikální ústav Akademie věd ČR, 2013. [cit. 2013-10-17]. Dostupné z <<http://www.fzu.cz/novinky/nobelova-cena-za-fyziku-2013>>
- [9] ROSE Joanna. *The Nobel Prize in Physics 2013, Popular Science Background*. Stockholm: The Royal Swedish Academy of Sciences, 2013. Dostupné z <http://www.kva.se/Documents/Priser/Nobel/2013/fysik/pop_fy_en_13.pdf>

Zdroje obrázků

- [1] <http://www.converter.cz/nobel/>
- [2] http://www.tagesschau.de/multimedia/bilder/higgs-englert100~_v-videowebl.jpg
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg
- [4] http://www.kva.se/Documents/Priser/Nobel/2013/fysik/pop_fy_en_13.pdf
- [5] http://www.kva.se/Documents/Priser/Nobel/2013/fysik/pop_fy_en_13.pdf
- [6] <http://www.lhc.ac.uk/resources/image/jpg/hi003694370.jpg>
- [7] http://www-zeus.physik.uni-bonn.de/~brock/feynman/vtp_ws0506/chapter09/higgs_feyn_pp.jpg
- [8] <http://cds.cern.ch/record/1459496>
- [9] <http://cds.cern.ch/record/145945>
- [10] http://www.ulb.ac.be/sciences/physth/pics/englert_cern.jpg
- [11] <http://www.independent.co.uk/incoming/article7912730.ece/ALTERNATES/w620/pg-2-higgs-profile-getty.jpg>



Konference v Bad Honnef: Physikshows und Freihandexperimente

Jaroslava Žáková¹, Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Ve dnech 18.–22. 10. 2013 proběhla v německém fyzikálním centru v městě Bad Honnef konference pro učitele fyziky zaměřená na tvorbu fyzikální show s pokusy „z volné ruky“. Fyzikální show slouží jako doplněk vyučovacího procesu, ne jako jeho náhrada, a můžeme jeho pomocí atraktivnit výuku fyziky a přiblížit ji i široké veřejnosti. Celou konferenci zaštiťovala organizace EPF – EuroPhysicsFun, která v současné době působí ve 22 zemích po celé Evropě a čítá celkem 47 skupin věnujících se tvorbě představení s fyzikální tematikou. Západočeskou univerzitu reprezentovala trojice studentů doktorského studia učitelství fyziky. Setkání bylo kombinací přednášek a workshopů. Cílem celého projektu bylo naučit se vytvořit fyzikální show od prvního nápadu až po samotnou realizaci a předvedení show před ostatními účastníky konference.



Obr. 1 – budova fyzikálního centra v Bad Honnef

Konference se účastnilo okolo šedesáti učitelů fyziky především z Německa. Z ostatních zemí měla zastoupení Ukrajina prostřednictvím přednášející Natalie Kazačkové z Charkovské státní university s příspěvkem *Práce ve skupinách s EPF* a Švýcarsko, které zastupoval Dr. Olivier Gaumer reprezentující samotnou organizaci EPF.

Na konferenci zaznělo pouze několik přednášek, jednak výše zmiňovaná přednáška Natalie Kazačkové zaměřená především na ukázkou popularizace fyziky na středních školách v Ukrajině, dále pak dvě přednášky Prof. Dr. Herberta Dreinera z Bonnské univerzity. První byla ukázkou zábavně pojaté přednášky pro širokou laickou veřejnost o příčině katastrofy ve Fukušimě.



Obr. 2 – část účastníků konference v poslední den akce

Přednáška byla pojata velmi názorně – letící neutrony byly simulovány stříkácí pistolkou, vlna tsunami pak vychrtnutou vodou z kádinky, tím přednáška působila velmi živě a zábavně. Druhým příspěvkem z bonnské univerzity bylo vystoupení s fyzikálními pokusy. Posledním vystoupením potom byla ukázkou fyzikální show skupiny Physikusse, což je skupinka studentů ve věku od 12 do 15 let pod vedením německé učitelky Niny Wentz.

¹ jcisarov@kmt.zcu.cz



Obr. 3 – přednáška H. Dreinera o příčině katastrofy ve Fukušimě



Obr. 4 – pohotovostní kufřík na pokusy N. Kazačkové

Samotné workshopy probíhaly ve skupinkách o 10 až 15 členech a každou skupinku vedl alespoň jeden zástupce EPF, který celou činnost skupiny organizoval. V prvním dnu probíhalo nejdříve představení pokusů, které přivezli jednotliví účastníci, následně byly vybrány nejzajímavější příspěvky. Bylo navrženo téma,



Obr. 5 – představení, romantická schůzka



Obr. 6 – představení, pohádka o Sněhurce



Obr. 7 – představení, přistání mimozemšťanů



Obr. 8 – představení, špatný kouzelník



které by pokusy spojovalo, sepsán scénář a v dalších dnech probíhaly nácviky show. Poslední den konference se konala vystoupení všech skupin. Témata jednotlivých show byla velmi rozmanitá – špatný kouzelník, pohádka o Sněhurce, přistání mimozemšťanů, ale i romantická schůzka. Každé představení trvalo zhruba třicet minut a obsahovalo přibližně pět až sedm pokusů. Cílem bylo pokusy začlenit do výstupu tak, aby show byla poutavá, zábavná a přitom nenásilnou formou posluchače vzdělávala v různých oblastech fyziky.

Konference byla pro mě velkým přínosem. Na základě získaných zkušeností jsem na domažlickém gymnáziu, kde třetím rokem vyučuji, vytvořila skupinku studentů z druhého ročníku, se kterými podobnou show nacvičujeme. Studentům se myšlenka zábavné fyziky velmi líbí, a proto navštěvují kroužek dobrovolně ve svém volném čase. Výsledek budou prezentovat na chystaném dnu otevřených dveří a následně na vánočních koncertech. Myslím, že je dobré studentům ukázat fyziku i zábavnější formou, protože k ní získají vřelejší vztah.



Obr. 9 – pokus se suchým ledem

Ukázka několika pokusů z konference

Jednoduchý elektromotor

Pomůcky: tužková baterie, šroubek, magnet, vodič

Provedení: K zápornému pólu tužkové baterie připojíme přes šroubek magnet. Následně propojíme vodič s kladným pólem (stačí silněji přidržit prstem). Druhým koncem vodiče se dotkneme k magnetu. Mag-

net vytváří magnetické pole a zároveň jím protéká elektrický proud. Proto na něj působí síla, která ho roztočí. Směr otáčení magnetu lze určit pomocí Flemmingova pravidla levé ruky.



Obr. 10 – homopolární motor



Obr. 11 – tančící plamen, větší provedení

Tančící plamen

Pomůcky: otočný podnos, kulatý drátěný odpadkový koš, líh

Provedení: Drátěný koš připevníme k otočnému podnosu. Uvnitř koše v misce zapálíme líh (doporučuji přidat sůl kvůli barevným efektům). Pokud koš roztočíme, vytvoří se vír, který nám „zkroutí plamen“.



Beztížný stav

Pomůcky: PET láhev, voda

Provedení: Ve spodní části PET lahve uděláme otvor. Láhev naplníme vodou. Pokud láhev stojí, voda vytéká. Pokud láhev pustíme, dojde k vyrovnání tíhové síly a setrvačné síly a voda se ocitne v beztížném stavu, přestane vytékat.

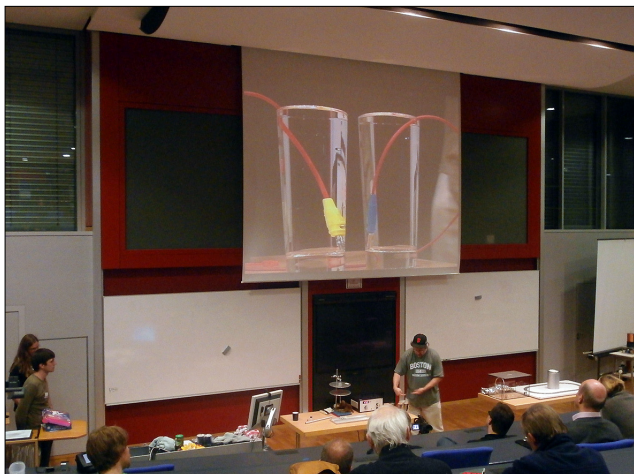


Obr. 12 – ukázka beztížného stavu

Hypnotizace

Pomůcky: zpětný projektor, spirála, obrázek květiny

Provedení: Přes zpětný projektor promítáme spirálu, kterou roztočíme. Po třiceti sekundách rychle vyměníme spirálu za obrázek květiny. Bude se nám zdát, že květina se rozvíjí. Pokud spirálu roztočíme opačným směrem, květina se bude zavírat.



Obr. 13 – vodní most

Vodní most

Pomůcky: zdroj stejnosměrného vysokého napětí, vodiče, dvě skleničky, voda

Provedení: Skleničky naplníme po okraj vodou a vložíme do nich vodiče připojené ke zdroji vysokého napětí. Skleničky k sobě přiblížíme tak, aby se dotkly. Pokud je budeme pomalu oddalovat, vytvoří se vodní most (díky tomu, že se molekuly vody chovají jako dipóly).

Videozáznam pokusu Vodní most naleznete na adrese http://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_04_2_Vodni-most_zaznam-pokusu.avi.

Autorkou fotografií a videa je Jaroslava Žáková.



Rozvoj tvořivosti ve výuce fyziky I. – Tvůrčí řešení problémů, pedagogicko-didaktické aspekty rozvoje tvořivosti ve fyzice

Václav Meškan¹, Základní škola a Mateřská škola Dubné

Článek je úvodním dílem série věnované rozvoji kreativity ve vyučování fyzice. Série článků seznamuje postupně čtenáře se závěry několikaleté práce na metodice fyziky směřující k rozvíjení tvůrčího myšlení žáků. Součástí této metodiky jsou tzv. divergentní fyzikální úlohy, které tvoří důležitý materiál pro trénink tvůrčího řešení problémů. Každý díl série je zaměřen na konkrétní oblast tvůrčí výuky fyziky a je zakončen několika náměty divergentních úloh.

Úvod

Za vzniku demokracie a moderních průmyslových podmínek je nemožné přesně předpovědět, jaká bude civilizace od nynějška za dvacet let. Proto je také nemožné připravovat dítě pro nějaký přesný soubor podmínek. Těmito slovy v roce 1897 ve svém díle *Mé pedagogické krédo* filozof a pedagog John Dewey stanovil základní východisko moderní výuky. Jak má škola připravovat své žáky na úspěšný osobní i pracovní život? Stačí pouze opatřit žáka množstvím informací, nebo je nutné vybavit ho dalšími nástroji? Pietrasinsky [1] volá po nahrazení didaktiky paměti didaktikou myšlení, tedy cíleném rozvoji myšlení namísto memorování.

V současné dynamicky se rozvíjející společnosti není dále udržitelné ztotožňovat vzdělání se sumou zapamatovaných informací. V pedagogice tato myšlenka není vůbec nová. Moderní didaktika navazuje na dílo myslitelů, jako byli Michel de Montaigne (1533–1592), Jan Amos Komenský (1592–1670), J. J. Rousseau (1712–1778) a další, kteří si plně uvědomovali úskalí tradičního pamětního učení. Ačkoliv situace v dnešních školách v některých obzvláště smutných případech stále připomíná spíše středověký církevní katechismus, lze přesto konstatovat, že i současné školství se, byť se zpožděním, pomalu zbavuje své jednostranné fixace na znalosti.

Pominu-li znalosti, které patří mezi základní vědomostní bázi nutnou k sebeurčení člověka a společnosti v historii, kultuře a v přírodě, měly by být informace chápány nikoliv jako cíl vzdělání, ale především jako nástroj. Hlavní důraz musí být kladen na rozvoj tvůrčího myšlení, což neznamená odklon od vědomostí, ale změnu vztahu k nim. Tvůrčí řešení jakéhokoli problému se neobejde bez velkého množství informací. Proto se v moderní výuce nesnižuje nutně množství získaných vědomostí, ale mění se jejich význam. Z cíle se stává prostředek.

Tento článek je úvodem k sérii článků věnovaných rozvoji kreativity žáků ve výuce fyziky na základní škole. Postupně bude představována metodika tvořivé výuky fyziky, která vznikla v průběhu několika let přímo ve výuce na základní škole a opírá se tedy o konkrétní zkušenosti.

Kreativita a tvůrčí řešení problémů

Kreativita či tvořivost bývá v současné literatuře nejčastěji vymezena jako aktivita, která přináší doposud neznámé a současně společensky hodnotné výtvořky (například [2], [3]). Tvořivý proces je potom charakterizován pomocí dvou parametrů – originalitou a využitelností vzniklého produktu. V pedagogickém pojetí tvořivosti posuzujeme tuto originalitu nikoliv z pohledu celospolečenského, ale z hlediska tvůrčího jedince, případně z pohledu třídního kolektivu. Ve výuce nás zajímá více samotný žák a jeho rozvoj než produkt jeho tvůrčí činnosti.

J. P. Guilford [4] v roce 1967 ztotožnil tvořivost s pojmem tvůrčí řešení problémů. To významně posunulo pojetí kreativity, kterou dnes



¹ meskan@email.cz

vnímáme jako komplexní tvůrčí proces vedoucí od objevení problému k jeho originálnímu vyřešení pomocí propracovaných heuristických metod. Vědecko-technická tvořivost má stejný základ jako tvořivost umělecká, na rozdíl od ní ovšem více zdůrazňuje metodologickou stránku tvůrčího procesu.

Tvůrčí proces a charakteristika myšlenkových operací

Kognitivní proces vedoucí od uvědomění si obtíže, objevení problému, přes hledání možných řešení až po realizaci vybraného řešení a jeho evaluaci je složitý nelineární proces, ve kterém se střídají různé myšlenkové operace (podrobně viz Guilford [4]). Tyto operace navíc neprobíhají pouze vědomě, ale v rámci takzvané latentní fáze řešení problému také na nevědomé úrovni (viz např. Votruba [5]). Tuto fázi je nutné zohlednit poskytnutím dostatečného prostoru pro užitečný odpočinek.

Myšlenkové operace uplatňované v tvůrčím procesu jsou označovány jako konvergentní a divergentní myšlení. Konvergentní neboli sbíhavé myšlení se uplatňuje například při výběru jedné správné odpovědi v testu s několika možnými volbami. Divergentní myšlení naopak směřuje ke generování mnoha různých myšlenek [4].

Je zřejmé, že základem tvořivosti je především úroveň divergentního myšlení. Během procesu tvůrčího řešení jsou ovšem důležité oba myšlenkové postupy – divergentní generování mnoha různých řešení a konvergentní výběr toho nejvhodnějšího z nich (např. [2]).

Tradiční výuka ve školách ovšem divergentní myšlení žáků typicky zanedbává. Lokšová v roce 1999 uvádí pouze čtyřprocentní zastoupení divergentních úloh ve škole [6] a nelze očekávat, že by se tato situace do dnešního dne výrazně změnila. Tento problém je zřejmě ještě palčivější ve výuce předmětů s převahou teoretického zaměření, kam patří i fyzika. Velká část tvůrčí výuky fyziky je proto nutně zaměřena právě na rozvoj tohoto druhu myšlení. Pro potřeby metodiky rozvoje kreativity ve fyzice bylo nutné navrhnout tzv. divergentní fyzikální úlohy, které tvoří základní stavební kámen této metodiky. Každý díl této série bude zakončen několika úlohami, které jsou součástí připravované sbírky divergentních fyzikálních úloh (sada těchto úloh je uvedena v [7]).

Aby čtenář lépe porozuměl obsahu pojmu divergentní myšlení, je nutné prozkoumat strukturu této myšlenkové operace. Autorem pojmu je J. P. Guilford, který také navrhl šest složek divergentního myšlení [4]. Jejich znalost je užitečná, neboť představuje osnovu, o kterou se lze při cíleném rozvoji kreativního myšlení opírat (a mnoho autorů tak při návrhu tvůrčích aktivit ve fyzice postupovalo, viz např. [8]). Pro vyšší názornost připojuji ke každé složce divergentního myšlení příklad jednoduchých cvičení (jak jinak než s fyzikální tematikou) na jejich rozvoj:

- **fluence** – plynulost toku nápadů;
Příklad cvičení: Uveďte vše, co se vám vybaví pod pojmem síla;
- **flexibilita** – pružnost myšlení;
Příklad cvičení: Jak lze pomocí tužky změřit šířku řeky? Uveďte co nejvíce možných řešení.
- **originalita**;
Příklad cvičení: „Uveďte originální použití žárovky, na které dosud nikdo nepřišel.“
- **senzitivita** – citlivost na odhalení problému;
Příklad cvičení: „Uveďte co nejvíce fyzikálních jevů, se kterými se setkáváme v kuchyni.“
- **redefinování** – změna významu či reorganizace informací, použití starých poznatků novým způsobem;
Příklad cvičení: „Navrhněte, jak pomocí polévkové lžice měřit hmotnost.“
- **elaborace** – schopnost najít, doplnit, vypracovat funkční detaily při řešení problému, jejichž spojením se vytvoří kompletní řešení.
Příklad cvičení: „Navrhněte vlastní siloměr a vypracujte návod na jeho výrobu.“

Tvořivá výuka a její pedagogicko-didaktické aspekty

Výuka směřující k rozvoji tvořivosti musí splňovat některé specifické atributy. Samo o sobě nestačí pouze předložit žákům zadání tvůrčích úkolů. Je nutné zohlednit a zrevidovat všechny aspekty výuky. Vytvořit vhodné prostředí, předložit vhodný materiál a vést žáky k tvořivosti.



Jednotlivé pedagogicko-didaktické aspekty výuky a jejich vztah k rozvoji tvořivosti jsou:

- **Motivace žáků** – dostatečná míra motivace je nutným předpokladem ke vzniku tvůrčího procesu. Klíčová je především míra vnitřní motivace.
- **Obsah vyučování** – v užším významu ve smyslu učiva, jehož skladbu ovšem do značné míry definují kurikulární dokumenty, a především aplikační a opakovací úlohy, během nichž je s učivem manipulováno.
- **Metodika** – zásadní je především úroveň aktivizace žáka a požadavek na jeho samostatnost. Tomu by měl odpovídat výběr vhodných výukových metod a organizačních forem. Z tradičních metod je vhodná problémová výuka (doporučuji např. [9], [10]), projektová výuka, kooperativní a skupinová výuka (doporučuji např. [11], [12]).
- **Diagnostika a hodnocení** – diagnostika a hodnocení úrovně znalostí sleduje zcela jiné cíle než v případě hodnocení tvořivosti. Obě úrovně hodnocení musí být v reálném vyučovacím procesu zastoupeny, musí být ovšem vzájemně oddělené. Hodnocení tvůrčích úloh bude věnován samostatný díl série o tvůrčí výuce fyziky.
- **Osobnost a učitele a jeho funkce** – pozice učitele ve vyučování se mění, jeho význam se ovšem nesnižuje. Jeho funkce spočívá především v zajišťování vhodných podmínek a materiálu a pomoci žákům. Platí, že sám učitel by měl ovládat metody tvůrčího řešení a měl by být kreativní. Jen tak může kreativitou „nakazit“ i své žáky.
- **Prostředí vyučování** – ve smyslu materiálního prostředí, ale především ve smyslu atmosféry vyučování, která musí zajistit dostatečný pocit bezpečí a pohody. Dobrou atmosféru může navodit vhodně zvolená pedagogická hra a citlivě zařazený humor.
- **Osobnost žáka** – nejhůře ovlivnitelná složka vyučovacího procesu, pokud je vůbec v moci učitele nějakým způsobem individualitu žáka ovlivňovat. Musí ji ovšem respektovat a totéž vyžadovat i od ostatních.

Didaktika fyziky a rozvoj tvořivosti

Ve výuce fyziky se uplatňují do značné míry konstruktivistické postupy, které zdůrazňují vlastní poznávací činnost žáka, experimentování a řešení problémů. Pomocí těchto činností získává žák ve výuce nové zkušenosti, které vedou k posunu jeho prekonceptů (žákovy vlastní představy o světě, které jsou neustále upravovány) směrem k vědeckému myšlení. Svým charakterem nabízí fyzika ideální prostředí pro tento styl výuky, který žáky výrazně aktivizuje a vede je k samostatnosti. Aktivita a samostatnost je pak podmínkou a předstupněm jeho tvořivosti [13]. Ta představuje nejvyšší stupeň žákovy angažovanosti a současně nejvyšší úroveň myšlení.

Tradičními prvky konstruktivistické výuky fyziky je fyzikální úloha a fyzikální experiment. Aby úlohy a experimenty poskytovaly dostatek prostoru k rozvoji kreativity žáků, musí splňovat některé atributy.

Fyzikální úloha a rozvoj kreativity

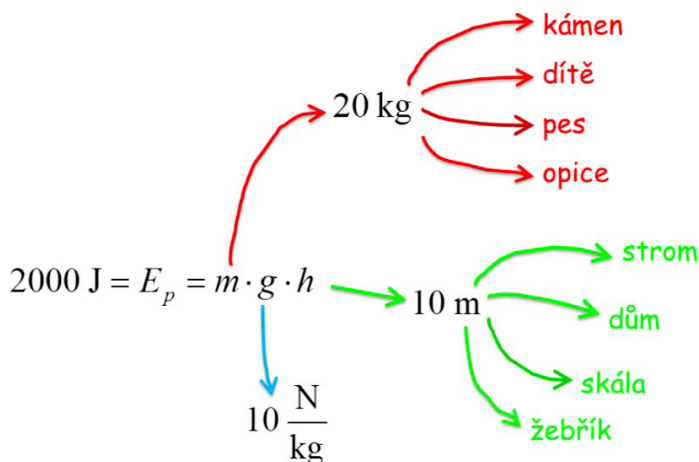
Řešení úloh (především ve smyslu úloh početních) je podle výzkumů [14] hned po opakování nejméně oblíbenou činností ve výuce fyziky. V takovém stavu je velmi obtížné navodit tvůrčí proces, ve kterém hraje klíčovou roli úroveň vnitřní motivace. Protože ale početní úloha má ve výuce fyziky svou nezastupitelnou roli, nelze se této činnosti vyhnout ani ji výrazněji omezit. Na určité úrovni je zcela nezbytné, aby žák zvládnul řešit základní fyzikální úlohy a především aby si osvojil potřebný algoritmus k jejich řešení.

Zvýšit motivaci žáka k řešení úlohy může učitel jednak vhodným výběrem tématu úlohy, které je aktuální a pro žáka zajímavé, a jednak tím, že nechá žáka zažít radost z úspěšného vyřešení úlohy (opak vede k frustraci a zavrnutí další aktivity). Toho lze dosáhnout vhodným „dávkováním“ obtížnosti úloh – diferenciací učiva na základě obtížnosti.

Aby mohl žák řešit komplexnější problémy, je nutné, aby si osvojil vhodnou metodiku řešení. Pouhá velká praxe v řešení úloh vede často k osvojení zcela špatných algoritmů. Žák si například zapamatuje, že při výpočtu vztahové síly má vynásobit tři čísla. U základních úloh mu tento postup stačí k úspěchu. Pokud se ovšem trochu změní zadání (některé hodnoty chybí nebo naopak přebývají), naprosto selhává.

Učitel by měl žáka vést tak, aby řešení úlohy našel pokud možno sám. Na řadu tedy přichází metody *heuristické* a *problémové* pojetí výuky. Po zvládnutí základní úrovně fyzikálních úloh by měli žáci řešit především *úlohy s neúplným zadáním*, kdy v zadání nejsou všechny potřebné údaje, případně chybí veškeré údaje. Tím dojde k žádoucímu oddělení problému od informací potřebných k jeho vyřešení a motivuje žáka k jejich aktivnímu zjišťování. Zvláštním případem velmi hodnotných úloh s neúplným zadáním jsou *úlohy nonverbální*, tedy úlohy zadané beze slov pomocí obrázku nebo videa [15].

Poslední úrovní řešení problémových úloh jsou v tvořivé výuce úlohy divergentní, tedy úlohy vyžadující divergentní složku myšlení. Tyto úlohy nabízejí prostor pro skutečnou tvořivost a tvůrčí řešení problémů (divergentním úlohám bude věnován samostatný díl).



Myšlenková mapa (mentální mapa, mind map) úlohy týkající se potenciální energie

Fyzikální experiment a rozvoj kreativity

Má-li experimentování ve výuce přispět k rozvoji kreativity žáků, je nutné, aby byly splněny určité podmínky:

- Výuka by měla být vedena problémově, experiment nemá pouze potvrdit vyslovenou teorii, ale teoretické poznání by mělo být vybudováno na základě myšlenkové aktivity žáka během experimentování.
- Žákům by měl být umožněn prostor pro uplatnění divergentní složky myšlení. Toho může být dosaženo několika způsoby:
 - Žáci dostanou za úkol navrhnout experiment, který by potvrdil určitou domněnku.
 - Žáci mají za úkol vysvětlit podstatu určitého experimentu – vyslovují hypotézy a navrhuji postup k jejich ověření.

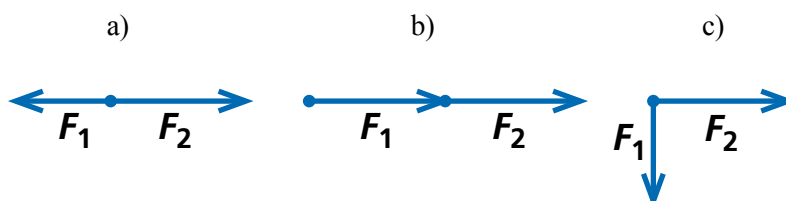
Konkrétní náměty na tvůrčí aktivity a záznamy z výuky budou uvedeny v dalších dílech této série.

Závěr

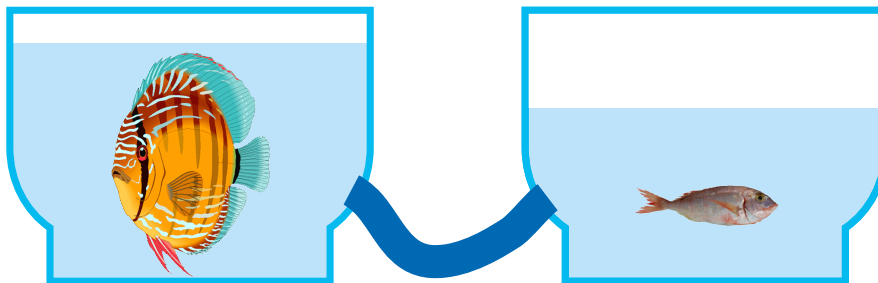
Další díly připravované série budou postupně věnovány motivaci, divergentním úlohám, myšlenkovému mapování při řešení úloh, hodnocení v tvořivé výuce, heuristice, zásadám tvůrčího řešení a využití ICT (informačních a komunikačních technologií) v tvůrčí výuce fyziky a dalším aspektům tvůrčí výuky fyziky.

Každý díl bude ukončen několika náměty na tvůrčí úlohy. Protože s tvořivostí jsme teprve na začátku, zakončím tento první díl několika jednoduchými cvičeními (spíše než úlohami), které mohou být použity bez předchozí zkušenosti k seznámení s metodou práce a „rozhybání ztuhlých mozků“.

- Navrhni více způsobů, jak změřit výšku žirafy. Veď v patrnosti, že žirafa je i v zajetí velmi plaché zvíře.
- Vymysli vtip na téma teplotní roztažnost látek.
- Popiš různé situace, které mohou být znázorněny těmito dvojicemi sil:



- Na obrázku jsou dvě akvária spojená trubicí. Vymysli důvody, proč není hladina v obou akváriích ve stejné výšce (může jich být skutečně mnoho):



- Navrhni co nejvíce možností, jak lze v hodinách fyziky využít:

- | | |
|-------------|---------------------|
| – cihlu | – hliníkovou lžičku |
| – PET lahev | – ramínko na šaty |
| – jablko | – židličku |

- Nalezni co nejvíce fyzikálních jevů a zákonů:

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| – v kuchyni | – v lese |
| – v autodílně | – při hokejovém zápase |
| – na zahradě | – na lyžařském svahu |
| – na vlakovém nádraží | – v bazénu |

- Sestav test o 15 otázkách na téma „Fyzika kolem nás“. Poté si test vyměň se sousedem a pokus se vypracovat jeho test. Vaše výkony navzájem ohodnoťte.

Někteří žáci mají velmi rádi kreslicí úlohy, tedy takové, při jejichž řešení mají za úkol nakreslit obrázek. Někdy se tímto způsobem mohou ve fyzice realizovat i žáci, kteří jsou orientováni spíše umělecky. Zde jsou některé jednoduché náměty:

- Nakresli obrázek na téma zákon setrvačnosti.
- Nakresli obrázek na téma $F = 10 \text{ N}$.
- Nakresli obrázek světa, ve kterém neexistuje tření.
- Nakresli obrázek, na kterém budou spolu „účinkovat“ tělesa o hmotnostech 1 g, 1 kg, 100 kg a 1 t.
- Nakresli obrázek, na kterém budou dvě tělesa o stejné hmotnosti, ale různé hustotě.



Poznámka na závěr k řešení úloh

Řešení úloh a hodnocení v tvořivé výuce bude věnován samostatný díl. V této chvíli ovšem uvedu pouze několik poznámek, které by měl učitel sdělit svým žákům dříve, než jim některou z výše uvedených úloh zadá:

- Nejlepší řešení úlohy je takové, které je originální, vtipné a fyzikálně správné.

2. Je-li vyžadováno více odpovědí, je nejlepšího výsledku dosaženo, je-li uvedeno co nejvíce zcela odlišných řešení.
 3. Při řešení úloh nech naplno rozvinout svou fantazii.
 4. Neboj se na věci pohlížet z mnoha úhlů a bez předsudků, nejsou vždy tím, za co je máme. Předměty nemusí vždy sloužit pouze k účelům, k jakým je běžně využíváme.
 5. Svě řešení propracuj do nejmenších detailů.
 6. Věnuj řešení patřičný čas, dobré nápady musejí uzrát.
- Z uvedených poznámek učitel jistě tuší, jaká budou kritéria hodnocení zadaných úloh.

V dalším díle budou představena obecná doporučení pro jednotlivé fáze výuky a zvláštní pozornost bude věnována motivaci žáků.

Seznam literatury

- [1] PIETRASINSKI, Zbigniew. *Psychologie správného myšlení*. 1. vyd. Praha: Orbis, 1964. ISBN 11-127-64.
- [2] DACEY, John S., LENNON, Kathleen H. *Kreativita*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000. ISBN 80-7169-903-9.
- [3] LOKŠOVÁ, Irena, LOKŠA, Jozef. *Tvořivé vyučování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0374-2.
- [4] GUILFORD, Joy, Paul. *The Nature of Human Intelligence*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill Education, 1967. ISBN: 978-0070251359.
- [5] VOTRUBA, Ladislav. *Rozvíjení tvořivosti techniků*. 1. vyd. Praha: Academia, 2000. ISBN 80-200-0785-7.
- [6] LOKŠOVÁ, Irena, LOKŠA, Jozef. *Pozornost, motivace, relaxace a tvořivost dětí ve škole*. 1. vyd. Praha: Portál, 1999. ISBN 80-7178-205-X.
- [7] MEŠKAN, Václav. *Didaktické aspekty rozvoje kreativity ve výuce fyziky na základní škole*. Plzeň: Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni, 2013. Disertační práce obhájená dne 22. 10. 2013.
- [8] JURČOVÁ, Marta et al. *Didaktika fyziky – rozvíjanie tvorivosti žiakov a študentov*. 1. vyd. Bratislava: Univerzita Komenského, 2001. ISBN 80-223-1614-8.
- [9] KAŠPAR, Emil, JANOVIČ, Jozef, BŘEZINA, František. *Problémové vyučování a problémové úlohy ve fyzice*. 1. vyd. Praha: SPN, 1982. ISBN 14-572-82.
- [10] KLIČKOVÁ, Marie. *Problémové vyučování ve školní praxi*. 1. vyd. Praha: SPN, 1989. ISBN 80-04-23522-0.
- [11] KASÍKOVÁ, Hana. *Kooperativní učení, kooperativní škola*. 1. vyd. Praha: Portál, 1997. ISBN 80-7178-167-3.
- [12] MECHLOVÁ, Erika. *Skupinové vyučování ve fyzice na základní a střední škole*. 1. vyd. Praha: SPN, 1989. ISBN 14-288-89.
- [13] MAŇÁK, Josef. *Rozvoj aktivity, samostatnosti a tvořivosti žáků*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. ISBN 80-210-1880-1.
- [14] HÖFER, Gerhard, PŮLPÁN, Zdeněk, SVOBODA, Emanuel. *Výuka fyziky v širších souvislostech – názory žáků, Výzkumná zpráva o výsledcích dotazníkového šetření*. Plzeň: Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni, 2005. ISBN 8070434368.
- [15] TESÁŘ, Jiří. *Nonverbální úlohy*. In Sborník z konference „Aby fyzika žáky bavila 2“, Vlachovice 19.–22. 10. 2005, editor R. Kolářová, UP Olomouc 2005, s. 115–120. ISBN 80-244-1181-4.



Počítačová podpora vyučování fyziky

Pavel Masopust¹, Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Počítače hrají v našem životě a dnešní společnosti velmi významnou a v mnoha oblastech i nezastupitelnou roli. S počítači se lze nyní setkat i na místech, kde to dříve nebylo myslitelné. Tento trend se nevyhnul ani oblasti vzdělávání. Nedostupnost dostatečného technického vybavení by dnes již neměla být překážkou; školy jsou běžně vybaveny stolními počítači i notebooky, projektory a interaktivními tabulemi. Proč tedy počítače nevyužít i při vyučování fyziky?

Tento článek je úvodní částí seriálu, který si klade za cíl popsat různé možnosti použití počítačů ve výuce fyziky, především k vizualizaci výsledků řešených příkladů. Obsahuje dvě základní části. Za prvé – jaké jsou problémy fyziky a fyzikálního vzdělávání v této době a jak pomocí počítačů zvýšit zájem studentů o fyziku ukázkou toho, že fyzika není jen teoretická a „suchá“ věda, ale naopak disciplína, která umožňuje popisovat jevy kolem nás. Druhá část uvádí pojem model, a jaký je obecný postup při modelování fyzikální reality na počítači. V závěru je uveden seznam plánovaných pokračování se stručnou upoutávkou každého dílu.

Problémy přírodovědného vzdělávání a co s tím

V posledních letech se zdá, že se přestává klást důraz na kvalitní přírodovědné vzdělání. Hodinové dotace na školách jsou čím dál nižší, financování fakult zabývajících se vzděláváním učitelů je každým rokem více a více omezující. Jako by si zodpovědné orgány neuvědomovaly, že v minulosti byl každý ekonomický růst založen především na výsledcích výzkumů, které vedly právě osoby se solidní znalostí matematiky a ostatních přírodních věd.

Důvodů může být mnoho. Podstatně se změnilo obecné nazírání na fyziku jako vědní obor. Často již není veřejností vnímána jako dynamicky se vyvíjející disciplína, jež přináší poznatky, které od základů mění naše vnímání světa. Poměrně dlouhou dobu jsme nebyli svědky průlomového objevu, který by se přímo prakticky promítl do každodenního života, ať již jako nová technologie, vynález apod. Jedna z nejslibnějších fyzikálních teorií současnosti (minulosti) – teorie strun – jakkoli slibně ze začátku působila, také dosud nepřinesla přímo prakticky aplikovatelné poznatky (pomiňme nepřímý přínos pro teoretickou matematiku, výpočetní techniku a další obory). Fyzika se tak může pomalu dostávat do pozice *pěkné*, ale nikoli nepostradatelné a přínosné vědy.

Ruku v ruce s tím se mění i postoj samotných studentů a vzdělávací systém sám o sobě. Strukturální změny na trhu práce silně ovlivnily volbu budoucího zaměření studentů a oni, snad i částečně oprávněně, nekriticky odmítají cokoli, co jim na první pohled *k ničemu nebude*. Počítačově-filmově-televizní éra též *tvorí* studenty méně matematicky erudované a disponující nižší schopností práce s tištěnou informací. Každý touží po rychlém úspěchu (nejlépe ekonomickém) a věnovat své úsilí velmi náročné vědě, navíc s nejistým uplatněním do budoucnosti, nevypadá na první pohled lákavě. [1]

Objevují se i hlasy, že současné fyzikální kurikulum není postaveno příliš šťastně. Témat je velmi mnoho a jsou probrána povrchně s tím, že na vyšším stupni vzdělání dojde k prohloubení, což často nenastává. Evaluace výukového procesu pak neprobíhá na základě skutečného pochopení problémů, ale často je *stlačena* na pouhé dosazování do rovnic bez hlubšího pochopení, proč co kam dosazují. Psychologové poukazují na frustraci z toho, že studenti necítí pokrok ve své práci [2], což zákonitě vyústí ve ztrátu motivace a zájmu.

Možnost zobrazovat výsledky příkladů řešených v hodinách na počítači se jeví jako vhodný doplněk k výuce a studenty bývá přijímán velmi kladně. Studenti mohou přímo vidět výsledky rovnic, které právě spočítali, a výše popsaná ztráta motivace z „bezúčelného“ počítání „bezobsažných“ rovnic pak nehrozí. Mezi hlavní výhody používání počítačů při řešení úloh ve fyzice lze zařadit:

- Přímé zobrazení právě spočítaných výsledků – student má motivaci řešit příklad, ihned vidí vizualizované řešení.
- Možnost *pohrát* si s výsledkem. Student může změnou počátečních podmínek nebo fyzikálních konstant (tího-

¹ pmasop@kmt.zcu.cz

vého zrychlení, permitivity vakua apod.) ovlivnit výsledek a vidět, jak je řešení jednotlivými podmínkami nebo fyzikálními konstantami ovlivněno.

- Rozbití monotónnosti hodin jinak plných počítání příkladů vložením pasáže práce s počítačem.

Počítače postupně se svým rozšiřováním brzo přitáhly pozornost vědců zabývajících se teorií poznání. Počáteční výzkumy dokumentovaly velký potenciál použití počítačů, pokud budou součástí koherentního výukového procesu [3].

Prvotní nadšení může dokumentovat výrok [4] A. Borka z roku 1981: *We are at the onset of a major revolution in education, a revolution unparalleled since the invention of the printing press. The computer will be the instrument of this revolution ... By year 2000, the major way of learning at all levels in almost all subject areas will be through the interactive use of computers*, tedy: *Jsmě na úsvitu velké revoluce ve vzdělání, revoluce srovnatelné s vynálezem tisku. Nástrojem této revoluce budou počítače... V roce 2000 budou interaktivní počítače hlavními nástroji výuky na všech stupních škol v téměř všech předmětech.*

Žijeme v době tři desetiletí vzdálené, ale svědky takto převratné revoluce jsme zatím nebyli.

Postup modelování fyzikální reality pomocí počítače

Prvním krokem řešení příkladů bývá většinou **sestavení matematického modelu**. Model můžeme definovat jako přírodní nebo umělý objekt, který je v nějakém vztahu se zkoumaným objektem, nebo nějakou jeho částí, a je schopen studovaný objekt zastoupit. Zkoumání modelu umožňuje získat zprostředkované poznání zkoumaného objektu samého. V tomto pojetí je tedy model vždy o něco jednodušší než originální zkoumaný předmět. Při tvorbě modelu se objekt abstrahuje a schematizuje, nepodstatné části jsou vypouštěny. Kvalita výsledného modelu značně závisí na této prvotní analýze, protože vypuštění významné části může celý model znehodnotit.

Např. Rosenblueth a Wiener v [5] definují: „Model je nahrazení komplexního systému systémem, který je pokládán za jednodušší a o němž se předpokládá, že má jisté vlastnosti, které jsou shodné s těmi, které byly vybrány pro studium na originálním komplexním systému.“

Model může být sestaven z experimentálně zjištěných hodnot, nebo aplikací speciálního, pro tu kterou oblast fyziky určeného, matematického aparátu. Při tvorbě modelu reálné fyzikální situace musíme většinou přistoupit k jistým zjednodušením, aby byl model dostupnými technickými prostředky vůbec řešitelný (zanedbáme vliv odporu prostředí, gravitační pole uvažujeme homogenní, ...). Chyby získaných hodnot však nesmí překročit únosnou hranici.

Snaha postihnout v modelu všechny vlastnosti reality by vnesla do modelu značnou složitost a ve výsledku by se jevila jako kontraproduktivní.

Modely v mechanice tak můžeme sestavit aplikací rovnic Newtonovy mechaniky, Lagrangeových či Hamiltonových rovnic a mnoha dalšími způsoby. Modely pro studium elektromagnetického pole sestavíme z Maxwellových rovnic apod.

Pro získaný matematický model musíme **zvolit vhodnou metodu řešení**. Při volbě metody je nutné zohlednit mnoho hledisek. Metodika by pro řešení daného problému měla ostatní předčít v rychlosti výpočtu, přesnosti, rychlosti konvergence, spolehlivosti, stabilitě apod.

V dalším kroku **pro zvolenou metodu vypracujeme algoritmus**, tedy soubor několika instrukcí, které je k provedení výpočtu potřeba provést. Algoritmus je poté většinou zapsán do počítače v některém programovacím jazyku (C++, Object Pascal, ...). Problém je také možno řešit ve specializovaném matematickém balíku software (MatLab, Mathematica atd.)

Předposledním krokem realizace výpočtu je **řešení vytvořeného matematického modelu** zvoleným a připraveným algoritmem. Součástí řešení je i ověření smysluplnosti získaných výsledků. Často se tak hodnoty, které aplikací modelu nalezneme, srovnávají s experimentálně získanými hodnotami a je provedena diskuse případných rozdílů, nebo naopak shod. Zkoumá se tak vhodnost sestaveného modelu a algoritmu řešení (např. dostatečná přesnost, rychlost konvergence a další).

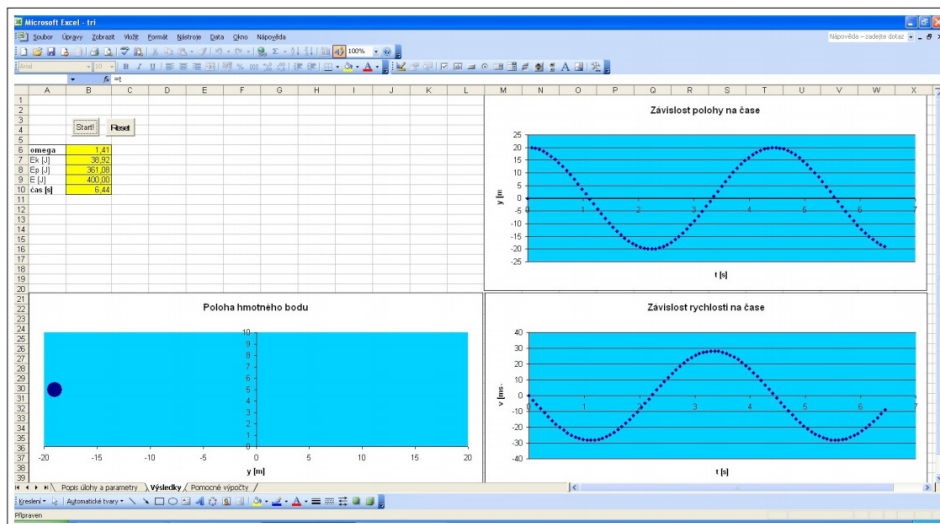
Posledním, avšak velmi významným krokem, který se může částečně překrývat s předchozím krokem, je **vyhodnocení a prezentace výsledků**. Získané výsledky je nutné vizualizovat a zpřístupnit tak dalšímu zkoumání. Vy-

sledky je možné zpracovat ve formě tabulek (v některém z tabulkových procesorů), animovat časový vývoj veličin na obrazovce počítače, zobrazit závislost pozorovaných veličin formou grafů a podobně. Na tento krok se ve školské fyzice často zapomíná. Nalezneme se studenty výsledek, dvakrát ho potrháme a pokračujeme s dalším příkladem. Počítače umožní výsledek zobrazit a do hloubky prozkoumat, jakou fyzikální informaci nám vlastně přinesl.

První díl seriálu měl položit základní teoretická východiska pro další části. Tvorba a řešení konkrétních matematických modelů a jejich použití bude popsáno v následujících dílech. Zatím jsou plánovány tyto:

- **Využití tabulkových procesorů (EXCEL).**

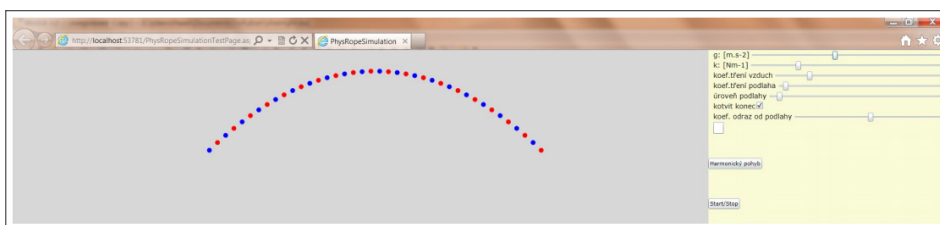
Tabulkové procesory, běžně používané aplikace, které bývají nainstalovány v téměř v každém počítači, mohou být efektivně využity k numerickému řešení fyzikálních úloh a ke grafickému zobrazování vypočtených hodnot.



Obr. 1 – modely v aplikaci Microsoft Excel

- **Fyzikální aplety.**

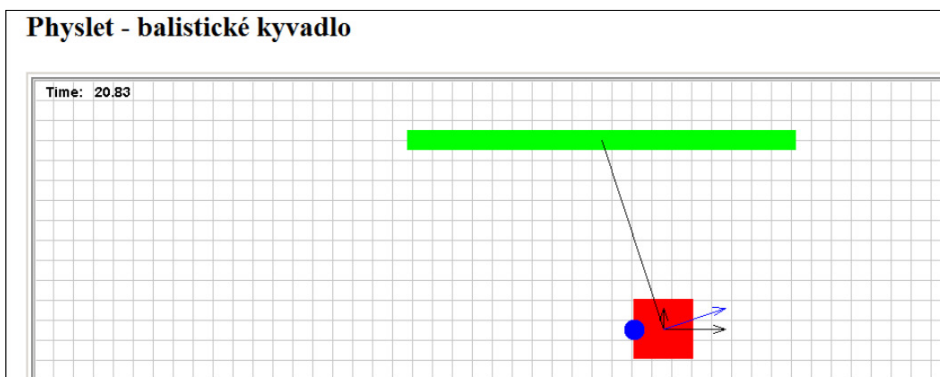
Aplety jsou malé aplikace, které fungují v rámci internetových prohlížečů – umožňují animaci objektů na obrazovce, vykreslování grafů a další operace. Na internetu je možné nalézt velké množství stránek, které obsahují vytvořené fyzikální aplety a mohou být bez dalších úprav ve výuce fyziky použity. Tento díl bude diskutovat používané technologie a uvede seznam nejoblíbenějších a osvědčených stránek.



Obr. 2 – fyzikální aplet – simulace chování řetězce částic

- **Tvorba vlastních apletů**

– **PhysLety.** Existující aplety nemusí vždy vyhovovat našim potřebám. Tento díl seriálu čtenáře provede jednotlivými kroky tvorby vlastního, specificky upraveného apletu. Nemusí to být složité, Physlety nám s mnohým pomohou.



Obr. 3 – physlet – balistické kyvadlo

- **Vzdálené laboratoře.**

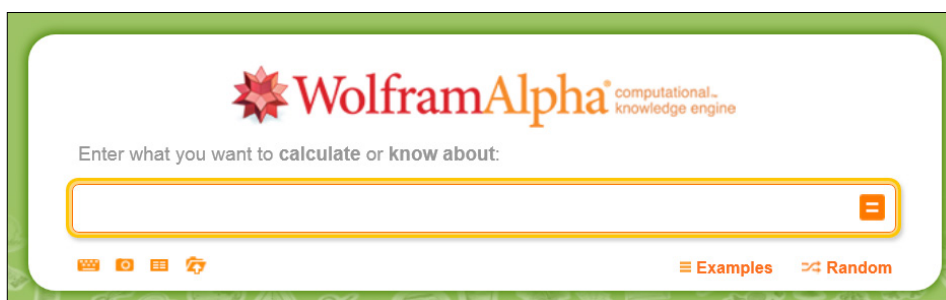
Pokud chceme studentům ukázat pokus, k jehož realizaci nemáme potřebné pomůcky, můžeme zkusit, zda ho již nesestavil někdo jiný a neumožnil jeho pozorování (ovládání) po internetu.



Obr. 4 – vzdálený experiment „Určení horizontální složky magnetického pole Země“
[zdroj: <http://remote-lab.fyzika.net/experiment/02/experiment-2.php?lng=cz>]

- **Wolfram Mathematica, Wolfram Alpha.**

Díl popisuje základní ovládání profesionální aplikace Wolfram Mathematica a to, jak je možné ji použít ve výuce. Wolfram Alpha je „znalostní výpočetní systém“, který poskytuje odpovědi na zadávané dotazy. Od obyčejných vyhledávačů se však v mnohém liší.



Obr. 5 – Wolfram Mathematica, Wolfram Alpha

Literatura

- [1] HOWES, Richard Henry. *Undergraduate physics in the age of compassionate conservatism*. James Madison University, 2001.
- [2] PRENZEL, Manfred. *Increasing the efficiency of mathematics and science instruction: Report on national quality development program. Research in Science Education – Past, Present, Future*. 1999, [Online], [cit. 12. 6. 2012]. Dostupné na World Wide Web: https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/8324749/SINUS_en_fin.pdf?version=1&modificationDate=1251384255000.
- [3] BRANSFORD, John D., BROWN, Ann Leslie. *How people learn: Brain, Mind, Experience and School*. National Academy Press, 2000, [Online], [cit. 1. 10. 2013]. Dostupné na World Wide Web: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=9853&page=51.
- [4] BORK, Alfred. *Learning with computers*. Bedford Mass, 1981, [Online], cit. [1. 10. 2013]. Dostupné na World Wide Web: http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AERA-Hake_11.pdf.
- [5] VACHEK, Jaroslav, LEPIL, Oldřich. *Modelování a modely ve vyučování fyziky*. Praha: SPN, 1980.



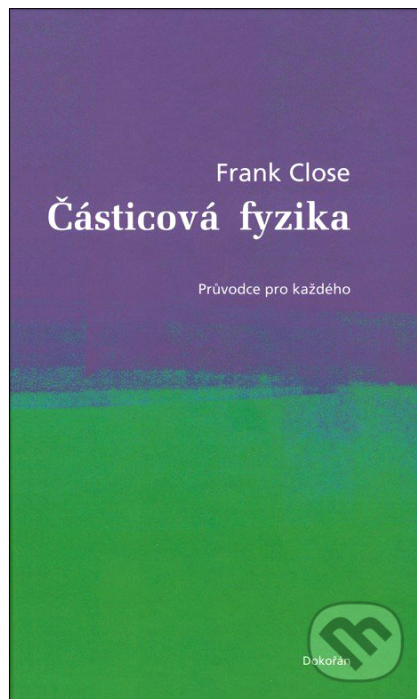
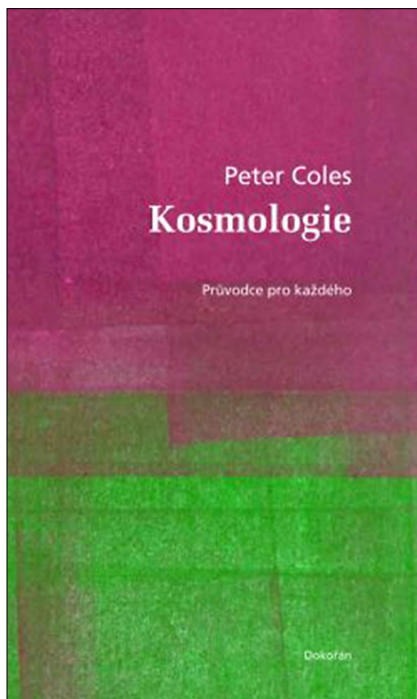
Od kvarku po kvasar

Jan Novotný¹, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno

Peter Coles: *Kosmologie*. Dokořán 2007

Frank Close: *Částicová fyzika*. Dokořán 2008

Nakladatelství Oxford University Press vydává edici Very Short Introduction, jejíž knihy jsou zásluhou nakladatelství Dokořán překládány do češtiny. V době napsání této recenze již bylo u nás vydáno deset svazků a později vyšly ještě další tři. Z jejich přehledu je vidět, že záběr edice je široký: zahrnuje nejen matematiku, logiku a fyziku, ale i techniku, historii, filozofii. Kromě úhledné podoby a pěkně (u každé knížky jinak) vybarveného povrchu vyjevují svazky edice už při zběžném prolistování hlubší podobnost. Jejich autory jsou vynikající odborníci, jsou psány zhuštěně a věcně, neusilují o literární ozvláštnění ani o ohromující učenost, je v nich mnoho grafů, tabulek a fotografií, zatímco vzorce se vyskytují jen ojediněle. Nechybí rejstřík a soupis literatury. Autoři se nesnaží o encyklopedické vyčerpání tématu, spíše jim jde o to, aby čtenář po přečtení, které může za den či za dva zvládnout, jasně věděl, jakými druhy problémů se popsaná vědní oblast zabývá a jaké je její místo v širším obrazu světa.



To plně platí i pro osmý a desátý svazek edice. Zalíbí-li se čtenáři jeden z nich, lze mu vřele doporučit druhý. I když podle názvu je jeden o největším a druhý o nejmenším, již z názvů kapitol vidíme, že témata se do značné míry překrývají. Při pohledu do vesmírných dálek se vlastně díváme do minulosti a vidíme poměrně blízké důsledky stavu, kdy byla veškerá dnes pozorovaná hmota vesmíru stlačena do malých rozměrů s obrovskou koncentrací energie, takže k pochopení jejího chování jsou nezbytné poznatky o chování elementárních částic. Ty nám mohou poskytnout moderní urychlovače a srážecí (tímto slovem se dnes do češtiny překládá anglický výraz „collider“). Naopak kosmologická pozorování umožňují uvažovat o chování hmoty při energiích, jakých dosud dosáhnout neumíme, a dávají tak inspiraci částicové fyzice. Lze říci, že dvě propasti nekonečna, nad nimiž kdysi užasl Pascal, se v kosmologii a fyzice elementárních částic slévají v propast jedinou.

Kniha o kosmologii začíná od mýtů a přes staré Řeky brzy dochází k Newtonovi, jehož teoretický stroj začal na kosmické úrovni skřípat kvůli termodynamickým a fotometrickým paradoxům: proč se už dávno růstem entropie nezastavil a proč je v noci tma, když každý zorný paprsek by měl narazit na hvězdu? Moderní kosmologie těsně navazuje (v obsahu i v čase) na obecnou teorii relativity, která ve spojení s předpokladem symetrie vesmíru ve velkém měřítku ponechává pro jeho vývoj jen poměrně úzkou třídu možností. Pozoro-

¹ novotny@physics.muni.cz



vací data – zejména červený posuv spekter vzdálených kosmických objektů – potvrzují správnost základního předpokladu relativistické kosmologie: vesmír se rozpíná. Zároveň umožňují mezi všemi teoreticky možnými vesmíry identifikovat ten skutečný. Významnou roli tu hrají balony, družice a kosmické sondy, které vynášejí pozorovací techniku nad rušící atmosféru, a počítače, které dovolují zpracovat obrovské množství získaných dat. Dospíváme tak k překvapivému závěru, že rozpínání vesmíru se zrychluje, namísto aby se pod vlivem běžné přitažlivosti zpomalovalo. Zdá se, že to dává za pravdu Einsteinovi, který kdysi doplnil své rovnice kosmologickým členem, aby umožnily časovou neměnnost vesmíru. Tuto vlastnost sice vesmír nemá, ale kosmologický člen může odpovídat vlastnostem základního stavu hmoty – vakua. Závěr knihy věnuje autor výhlídkám na sjednocenou teorii všech fyzikálních interakcí – teorii všeho.

Knih o částicové fyzice se v první větě zmiňuje o víře starých Řeků v složení světa z několika základních prvků. Skutečných prvků je sice mnohem víc než živlů antických myslitelů, i ony však vděčí za svou existenci a povahu něčemu elementárnějšímu. Autor souběžně popisuje nejaktuálnější představy a výsledky fyziky elementárních částic a způsoby detekce těchto částic v urychlovačích, srážecích a v záření přicházejícím z vesmíru. Jak se zdá ze srovnání s kosmologickými daty, jsou v našem poznání částic značné mezery – hmota, jejíž zákony jakž takž známe, tvoří jen malé procento náplně vesmíru. Pro jedenadvacáté století nám tak zůstává řada otázek a předběžné odpovědi nevylučují, že vesmír má více rozměrů než ty, které vnímáme. To by mohlo vysvětlit slabost gravitace, rozplývající se do skrytých rozměrů, ve srovnání s ostatními interakcemi. Autor čtenáře seznamuje i se základní ideou teorie supersymetrie, podle níž bosony mají své fermionické partnery a opačně. Tato idea zatím zůstává nepotvrzenou hypotézou, není však vyloučeno, že plánované experimenty v CERNu její oprávněnost potvrdí. Oproti knize o kosmologii má kniha o elementárních částicích navíc užitečný slovníček pojmů.

Obě publikace uvádějí ke svým tématům soupis literatury, která je čitelná i pro neodborníky. Colesovu knížku redakce doplnila řadou titulů přeložených do češtiny. Je zajímavé, že originální i přeložené literatury o kosmologii je zřetelně víc – nebude to asi jen tím, pro jak široký výběr se autoři rozhodli, ale zdá se, že kosmologie více svádí k propagaci. Ze srovnání obou knih je však vidět, že částicová fyzika není o nic méně zajímavá – a navíc, jak již bylo řečeno, čteme-li o vesmíru, čteme o částicích a čteme-li o částicích, čteme o vesmíru.



Krajské kolo 54. ročníku Fyzikální olympiády v kategorii E

Ivo Volf, Pavel Kabrhel¹, Ústřední komise Fyzikální olympiády, Univerzita Hradec Králové

Krajské kolo Fyzikální olympiády je organizováno každým rokem pro soutěžící, kteří se úspěšně zúčastnili okresního kola v kategorii E, tedy pro žáky 9. ročníků škol, poskytujících základní vzdělání (základních škol a odpovídajících ročníků gymnázií). Úspěšným řešitelem je ten účastník, který získá v soutěži nejméně 5 bodů alespoň ve dvou úlohách a současně nejméně 14 bodů celkem. Pro kategorii E je krajské kolo nejvyšší soutěží a po jejím absolvování pro daný ročník pro soutěžící Fyzikální olympiáda končí.

V minulém článku jsme čtenáře seznámili s úlohami okresního kola Fyzikální olympiády v kategorii E a F. Nyní se s vámi chceme podělit o úlohy z krajského kola v kategorii E, které navazuje na okresní kolo a bylo uspořádáno 18. dubna 2013. Do tohoto kola byli vybráni nejlepší účastníci okresního kola z jednotlivých okresů daného kraje. Jejich úkolem bylo opět během 4 hodin vyřešit čtyři teoretické úlohy. Úspěšnými řešiteli se stali soutěžící, kteří vyřešili alespoň dvě úlohy s bodovým hodnocením alespoň 5 bodů a zároveň získali celkově za všechny úlohy minimálně 14 bodů. Jestliže chcete, zkuste si úlohy vyřešit. Po zadání samozřejmě následuje řešení úloh, pro kontrolu i s bodovým hodnocením.

Úlohy krajského kola 54. ročníku Fyzikální olympiády kategorie E

Do krajského kola jsou zařazeny většinou úlohy problémové, u kterých nelze pouze dosadit do vzorce. Vyžadují spojit vědomosti z několika částí fyziky. Je to z důvodu, že jsou určeny pro zájemce o fyziku, tudíž se jedná o úlohy vyžadující náročnější řešení, než se kterým se obvykle setkávají v běžných hodinách na škole.

FO54E1: Víkend na chatě

Rodinná rada rozhodla, že se o víkendu pojedou na chatu. Rodiče pojedou autem po silnici a povezu z zásoby potravin, děti Katka a Vašek pojedou na bicyklech po polních a lesních cestách a obě skupiny se nakonec sejdou až na chatě. Otec a matka nasedli v 10:30 h do automobilu a v 11:45 h se zastavili na parkovišti restaurace, které je od domova vzdáleno 75 km. Rozhodli se poobědvat a v 12:25 h pokračovat dále na chatu. Bohužel se jim však nepodařilo automobil po obědě nastartovat, a proto se rozhodli dojít na chatu pěšky: na záda vzali nejnutnější zásoby potravin a vydali se v uvedený čas rychlostí $4,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ polními a lesními cestami po trase 9,0 km. Katka s Vaškem vyrazili již v 10:00 h průměrnou rychlostí $4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ a na chatu to měli po polních a lesních cestách celkem 65 km.

- Kdo se dostal na chatu dříve, rodiče nebo děti?
- Přítel Katky mohl vyrazit z místa bydliště (nedaleko Katčina) až v 11:30 h, ale jako sportovec jel stálou rychlostí $7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Dostihl dvojici cyklistů ještě předtím, než dorazili na chatu?
- V 15:00 h odjel otec se svým kamarádem - autoopravářem zpátky na parkoviště stejnou cestou, jako přišli s matkou z parkoviště (povolená rychlost na cestě je nejvýše $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$). Jestliže oprava trvala jenom 45 min, za jakou minimální dobu se můžou oba muži vrátit na chatu?



¹ ivo.volf@uhk.cz, pavel.kabrhel@uhk.cz

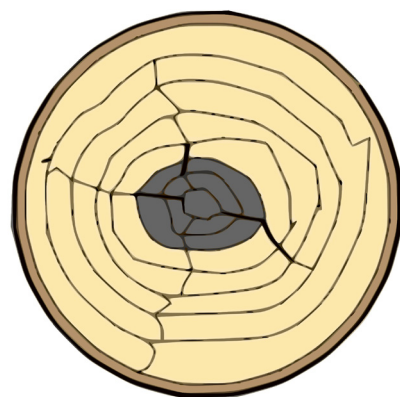
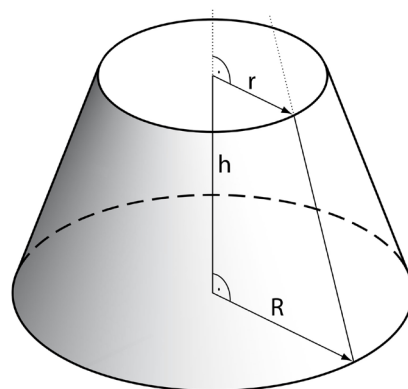
**FO54E2: Těžba dřeva**

Při kácení získali majitelé lesa celkem 60 kmenů, které oklestili a zkrátili na délku 16 m. Průměr kmenů je na širším konci 44 cm, na užším jen 24 cm. Hustota suchého dřeva je $480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, mokrého dřeva $640 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Stahováním dřeva se kmeny dostaly až k cestě, která vede po břehu řeky.

- a) Určete objem a hmotnost jednoho kmenu, jestliže kmen představuje komolý kužel, jehož objem vypočítáme ze vztahu

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2).$$

- b) Při stahování kmenů k cestě se užívá páru koní nebo traktoru, přičemž se kmen sune po podloží. Jak velkou silou je nutno kmen přesunovat po vodorovné ploše, po trávě nebo jehličí, je-li součinitel smykového tření 0,25?
- c) Majitelé se rozhodli převést na pilu kmeny na vozech s tahačem; šířka vozu mezi opěrnými sloupy je 2,10 m, na sebe lze nastavit jen pět vrstev kmenů. Do délky vozu se kmeny vejdou jen jednou. Jaká je hmotnost jednoho nákladu? Stačí dva vozy?
- d) Majitelé zvažovali, zda by nešlo kmeny splavit po řece. Vytvořili by tedy vor (kmeny by byly spojeny lany nebo latěmi s hřebíky). Jak velkou část svého objemu by se kmeny ponořily do vody, když by byly vory sestaveny ze suchých kmenů (určete pomocí procentní hodnoty ponořené části kmenů vzhledem k celkovému objemu). Jak by se situace s ponořením změnila, když by dřevo ve vodě zvlhlo?

**FO54E3: Malá, avšak důležitá místnost**

V nejmenší domácí uzavřené místnosti (WC) je instalována nádoba na vodu, do které přitéká voda po dobu 50 s a po uvolnění odtoku se nádoba vyprázdní za dobu 10 s. Rozměry nádoby tvaru kvádra jsou ve vodorovném směru 4,00 dm a 12,5 cm. Nejvyšší hladina vody je 24,0 cm nad dnem nádoby, když voda vyteče, zůstane v nádobě zbytek vody o výšce 4,0 cm. Voda přitéká do nádoby trubicí, jejíž vnitřní průměr je 1,27 cm. Víme, že po dosažení nejvyšší hodnoty hladiny se přítok vody automaticky zastaví.



- a) Kolik vody vyteče z nádoby při jednom spláchnutí a kolik vody musí zase natéci, než se přívod vody zastaví?
- b) Předpokládáme-li, že hladina vody se při napouštění zvyšuje rovnoměrně s časem a během vytékání se rychlost vody poněkud mění (rychlost vytékání vody je dána vztahem $v = \sqrt{2 \cdot h \cdot g}$, kde h je výška hladiny vody nad výtokovým otvorem), načrtněte průběh změn hladiny vody při dvou po sobě následujících spláchnutích.
- c) Jakou rychlostí přitéká voda do nádoby (určete v jednotkách $\frac{\text{liter}}{\text{minuta}}$, $\frac{\text{metr krychlový}}{\text{hodina}}$ a také určete lineární rychlost vody v $\frac{\text{m}}{\text{s}}$)?
- d) Jednou se stalo, že se přítok vody (z důvodu vodního kamene) nezastavil a voda záchodem protékala. Bohužel se to stalo právě ve chvíli, kdy v sobotu ráno v 8:00 h rodina odjela na chatu, a toto protékání nikdo nezaregistroval. Z chaty dorazila rodina až v neděli podvečer v 18:00 h. Kolik vody proteklo zbytečně záchodem? Určete i finanční ztrátu rodiny při taxě $72 \frac{\text{Kč}}{\text{m}^3}$ na vodném a stočném.



FO54E4: Odpor vodiče

Elektrický odpor drátu se dá vypočítat pomocí vztahu $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, kde R je elektrický odpor, ρ je měrný elektrický odpor, který lze pro daný materiál nalézt v tabulkách, l je délka drátu a S je obsah příčného průřezu drátu. Odpor vychází v základních jednotkách, jestliže ostatní veličiny ve vzorci jsou také v základních jednotkách.

- Vypočtete elektrický odpor měděného drátu, jehož délka je 5 m, obsah příčného průřezu je 1 mm^2 a měrný elektrický odpor je $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.
- Jak se změní celkový elektrický odpor drátu, jestliže ho rozdělíme na dvě stejné poloviny, které položíme vedle sebe a jejich konce spojíme tak, že po zapojení do obvodu jsou obě poloviny drátu k sobě paralelně?
- Představte si případ, kdy hmotnosti dvou měděných drátů budou stejné, ale první drát bude dvakrát delší než druhý. Kolikrát větší, nebo menší bude elektrický odpor prvního drátu než druhého?

Řešení úloh krajské kolo 54. ročníku Fyzikální olympiády kategorie E

FO54E1: Víkend na chatě

Použijeme údaje zadané v textu úlohy.

- Určíme, kdo se dostal na chatu dříve. **4 b**
 Otec a matka vyrazili v 12:25 h na chatu pěšky rychlostí $4,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ po trase 9,0 km. Cesta jim tedy trvala $t = \frac{9,0}{4,5} \text{ h} = 2 \text{ h}$. Dorazili tedy ve 14:25 h. Katka a Vašek vyrazili v 10:00 h rychlostí $4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ a urazili 65 km. Cesta jim trvala $t_2 = \frac{65000}{4,5} \text{ s} \doteq 4 \text{ h}$. Dorazili ve 14:00 h, tedy dříve než rodiče v 14:25 h.
- Přítel Katky mohl vyrazit z místa bydliště později. **3 b**
 Vyrazil v 11:30 h rychlostí $7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ a musel urazit 65 km. Cesta mu tedy trvala $t_3 = \frac{65000}{7,5} \text{ s} \doteq 2,4 \text{ h}$. Na chatu by uvedenou rychlostí přijel asi v 13:54 h, což znamená, že Katku dojel ne moc daleko od chaty.
- Stanovíme ještě, jak to bylo s opravou automobilu. **3 b**
 Délka cesty tam a zpět je 18,0 km a povolená rychlost na cestě je nejvýše $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Doba opravy byla 45 min. Celková doba je dána: $t_4 = \frac{18}{30} \text{ h} + 0,75 \text{ h} = 1,35 \text{ h}$.

FO54E2: Těžba dřeva

Při řešení musíme použít údaje o suchém i vlhkém dřevu.

- K určení objemu a hmotnosti kmenu použijeme $V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2)$. **2b**
 Objem jednoho kmenu je: $V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 16 \cdot (0,22^2 + 0,22 \cdot 0,12 + 0,12^2) \text{ m}^3 \doteq 1,5 \text{ m}^3$. Hmotnost kmene je dána vztahem: $m = V \cdot \rho$, pro suchý kmen vychází $m_s = 1,5 \cdot 480 \text{ kg} = 720 \text{ kg}$. Hmotnost mokrého kmene je $m_m = 1,5 \cdot 640 \text{ kg} = 960 \text{ kg}$.
- Při stahování kmenů k cestě se kmen sune po podloží. Určíme, jak velkou silou je nutno kmen přesunovat po trávě nebo jehličí, je-li součinitel smykového tření 0,25. **2 b**
 Země působí na kmen tíhovou silou $F_G = m \cdot g$. Proti pohybu působí země silou třecí F_t . Na kmen je třeba působit minimálně stejně velikou silou $F = m \cdot g \cdot f$, pro mokrý kmen vychází $F_1 = 960 \cdot 10 \cdot 0,25 \text{ N} = 2,4 \text{ kN}$.



c) Určíme, jaká je hmotnost jednoho nákladu:

3 b

Do délky vozu se kmeny vejdou právě jednou, do výšky lze dát pět vrstev, do šířky se vejde při dobrém narovnání (střídají se užší a širší konce $0,24 + 0,44 + 0,24 + 0,44 + 0,24 + 0,44$) 6 kmenů, při horším narovnání (všechny širší konce na jedné straně vozu $0,44 + 0,44 + 0,44 + 0,44$) jen 4 kmeny. Při dobrém narovnání se vejde do jednoho vozu celkem $6 \cdot 1 \cdot 5 = 30$ kmenů o celkové hmotnosti 28,8 t. Dva vozy stačí, budou oba zcela naplněny. Při horším narovnání se vejde do jednoho vozu celkem $4 \cdot 1 \cdot 5 = 20$ kmenů o celkové hmotnosti 19,2 t. Dva vozy nestačí, naplní se celkem 3 vozy.

d) Při vytvoření voru uvážíme působící síly:

3 b

Pro plovoucí kmen bude platit, že velikost tíhové síly, kterou působí Země na kmen, je stejná, jako velikost vztlačkové síly, kterou působí voda o hustotě ρ_v . Objem ponořené části tělesa je V_p .

$$F_G = F_{vz}$$

$$V \cdot \rho \cdot g = V_p \cdot \rho_v \cdot g$$

$$\frac{V_p}{V} = \frac{\rho}{\rho_k}$$

$$\text{Pro suché dřevo vychází: } \frac{V_p}{V} = \frac{480}{1000} = 48 \%.$$

$$\text{Pro mokré dřevo vychází: } \frac{V_p}{V} = \frac{640}{1000} = 64 \%.$$

FO54E3: Malá, avšak důležitá místnost

Pro lepší pochopení nakreslíme náčrtek a půjdeme se na toto zařízení podívat.

a) Určíme, kolik vody vyteče z nádoby při jednom spláchnutí a kolik vody musí zase natéci, než se přívod vody zastaví:

1 b

Objem vody, která vyteče při spláchnutí (respektive musí zase přitéci), je dán vztahem:

$$V = 0,4 \cdot 0,125 \cdot (0,24 - 0,04) \text{ m}^3 = 0,01 \text{ m}^3 = 10 \text{ dm}^3.$$

b) Předpokládáme, že hladina vody se při napouštění zvyšuje rovnoměrně s časem a během vytékání se rychlost vody poněkud mění.

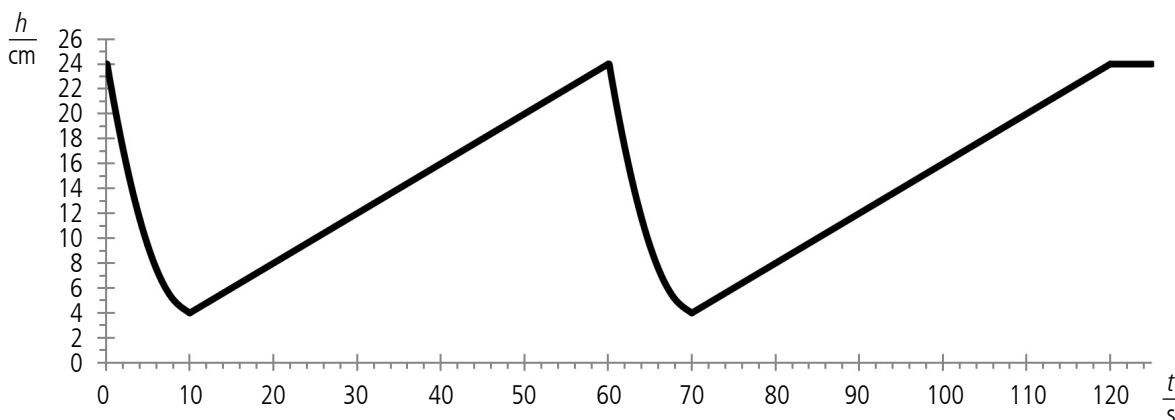
3 b

Maximální objem vody v nádobě je $V_{max} = 0,4 \cdot 0,125 \cdot 0,24 \text{ m}^3 = 0,012 \text{ m}^3 = 12 \text{ dm}^3$.

Minimální objem vody v nádobě je $V_{min} = 0,4 \cdot 0,125 \cdot 0,04 \text{ m}^3 = 0,002 \text{ m}^3 = 2 \text{ dm}^3$.

Čas napouštění je 50 s, rychlost napouštění můžeme považovat za konstantní.

Čas vypouštění je 10 s, rychlost vypouštění je závislá na výšce hladiny vody v nádobce. Na začátku je největší, ke konci je stále menší a menší.



Graf 1 – závislost výšky hladiny vody v nádobce na čase



- c) Rychlost přitékání vody do nádoby (určíme v jednotkách $\frac{\text{litr}}{\text{minuta}}$, $\frac{\text{metr krychlový}}{\text{hodina}}$, tedy jako objemový tok, a také určíme lineární rychlost přitékající vody v $\frac{\text{m}}{\text{s}}$). **3 b**

Rychlost přitékání vody do nádoby je dána poměrem objemu nateklé vody za určitou dobu a této doby. Za 50 s přiteče 10 dm^3 . Rychlost přitékání vody je tedy $12 \frac{1}{\text{min}}$, $0,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Vnitřní průměr trubice je $1,27 \text{ cm}$, obsah

příčného průřezu je $S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \doteq 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Rychlost přitékání vody je $0,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Lineární rychlost vody

v trubici je přibližně $\frac{0,72}{1,3 \cdot 10^{-4}} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- d) Určíme, kolik vody protéklo zbytečně záchodem. Určíme i finanční ztrátu rodiny při taxě $72 \frac{\text{Kč}}{\text{m}^3}$ na vodném a stočném. **3 b**

Za 50 s přiteče 10 dm^3 . Od sobotního rána v 8:00 h do nedělního podvečera v 18:00 h je celkem 34 hodin, což je 122 400 sekund. Za jednu sekundu přiteče $0,2 \text{ dm}^3$. Za celou dobu protéklo záchodem necelých $24,5 \text{ m}^3$. Jedná se tedy o částku asi 1 760 Kč.

FO54E4: Odpor vodiče

- a) Vypočteme elektrický odpor měděného drátu, jehož délka je 5 m, obsah příčného průřezu je 1 mm^2 a měrný elektrický odpor je $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. **1 b**

$$R = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{5}{1 \cdot 10^{-6}} \Omega = 0,085 \Omega.$$

- b) Určíme, jak se změní celkový elektrický odpor drátu, jestliže ho rozdělíme příčným řezem na dvě stejné poloviny, které položíme vedle sebe a jejich konce spojíme tak, že po zapojení do obvodu jsou obě poloviny drátu k sobě paralelně. **3 b**

Při rozdělení drátu na dvě stejné poloviny, bude odpor jedné části drátu $\frac{R}{2}$. Jestliže dvě části k sobě spojíme

paralelně, výsledný odpor je dán: $\frac{1}{R_c} = \frac{1}{\frac{R}{2}} + \frac{1}{\frac{R}{2}}, R_c = \frac{R}{4}$.

K výsledku lze dojít také jednoduchou myšlenkou. Délka vodiče je dvakrát menší, odpor je poloviční. Obsah příčného průřezu vodiče je dvakrát větší, odpor vodiče je opět dvakrát menší. Výsledný odpor je čtyřikrát menší než původní.

- c) Představme si případ, kdy hmotnosti dvou měděných drátů jsou stejné, ale první drát bude dvakrát delší než druhý. Kolikrát větší, nebo menší bude elektrický odpor prvního drátu, než druhého? **6 b**

Jsou-li hmotnosti drátů stejné a oba jsou z mědi, poté musí být stejné i jejich objemy. Je-li první drát dvakrát delší než druhý, jeho obsah příčného průřezu musí být poloviční. Bude-li odpor kratšího drátu R a délka delšího drátu je dvojnásobná než kratšího a jeho obsah příčného průřezu je poloviční než kratšího, poté se jedná o opačný postup v úloze b). Odpor delšího vodiče je tedy $4R$.

Jak se vám dařilo? Předpokládáme, že jste nejen úspěšní řešitelé, ale také, že se vám naše úlohy líbily. Pokud ne, velice oceníme, když nám napíšete vaše náměty na zlepšení nebo přímo náměty na úlohy.

Zdroje obrazového materiálu

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mets%C3%A4n_vartijan-m%C3%B6kki.jpg

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kegelstumpf.svg>

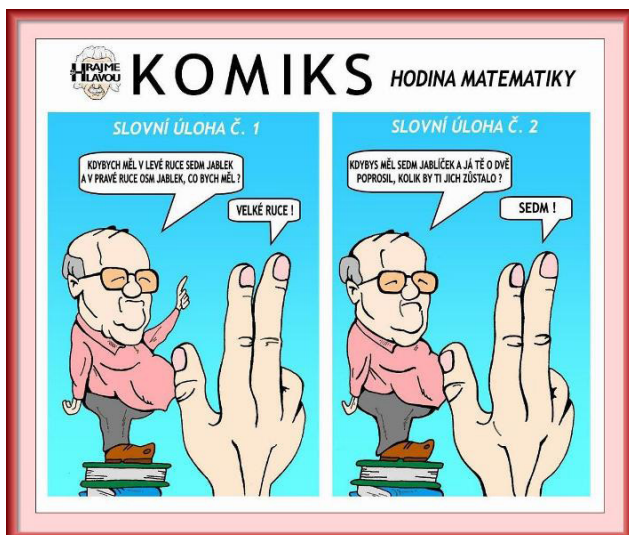
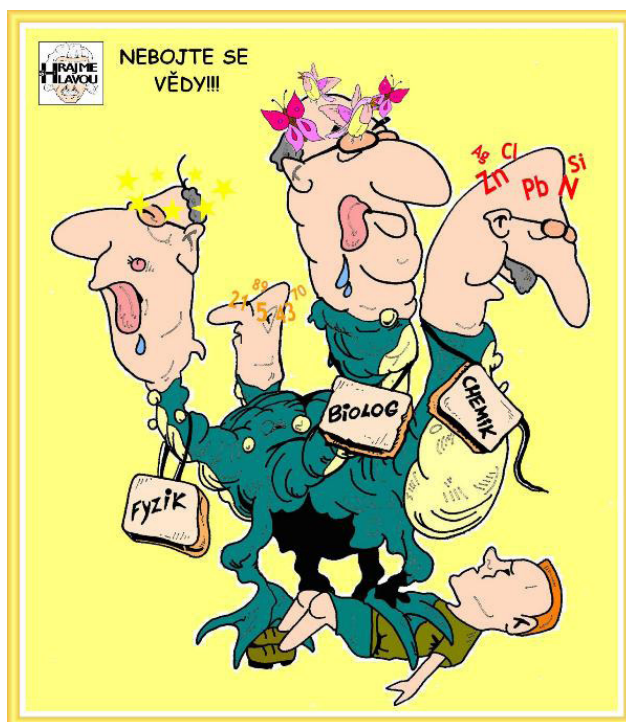
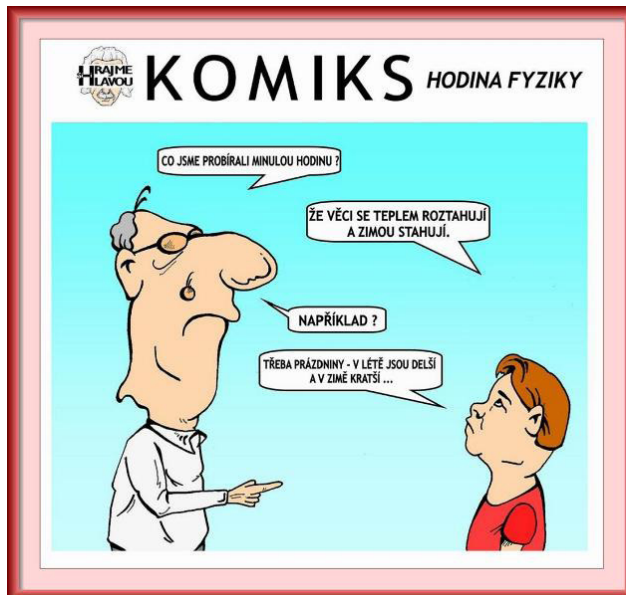
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kern%C3%A4ule.svg>

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bathroom-gender-sign.png>



Fyzikální a matematické vtipky I.

Z internetových zdrojů vybrali Miroslav Randa, Václav Kohout¹



Zdroj: <http://www.hrajme-si-i-hlavou.cz/humor.html>

¹ randam@kmt.zcu.cz, kohout@fraus.cz



Mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“ II.

Václav Kohout¹, Nakladatelství Fraus, s. r. o., Plzeň

V minulých číslech časopisu školská fyzika jste měli možnost si přečíst třídílnou sérii článků Historie a elementární základy teorie barev. Na tuto sérii navazují další tři díly popisující mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“, které na základě přehledu nauky o barvách vzniklo. Problematika barev je na rozhraní fyziky, informatiky a výpočetní techniky, přírodopisu, výtvarné výchovy a případně i dalších vyučovacích předmětů, proto je těžké ji zařadit do některého ze standardních vyučovacích předmětů. Jako nejlepší volba se ukazuje mezi předmětové výukové téma s prezentací v podobě samostatného tematického dne.

SW podoba výukového tématu²

Předkládané mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“ vzniklo primárně v podobě **multimediální výukové lekce** určené pro prezentaci prostřednictvím **interaktivní dotykové tabule**. Výuková lekce byla zpracována pomocí autorského nástroje **Flexibook Composer** z dílny Nakladatelství Fraus. Lekce v podobě klasické interaktivní učebnice byla následně transformována do podoby prezentace pro **MS PowerPoint** a do podoby série statických **PDF dokumentů** opatřených sadou samostatných multimediálních souborů. V tomto článku však bude prezentována pouze základní výchozí podoba multimediální lekce vytvořená pomocí nástroje Flexibook Composer.

Zařazení tématu do výuky a jeho obsah

Mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“ může být do výuky zařazeno v principu dvojím způsobem. Buď je možné vkládat dílčí informace obsažené v připravené multimediální lekci postupně **v průběhu běžných hodin fyziky a informatiky a výpočetní techniky** (na závěr se samostatnou prací v hodině výtvarné výchovy), nebo je možné připravit **ucelený tematický či projektový den** věnovaný problematice barev. Výukové téma „Barvy kolem nás“ je optimální zařadit do výuky **ve druhém pololetí 7. ročníku základní školy**. Při tomto doporučení vycházíme z běžného řazení učiva fyziky a informatiky a výpočetní techniky na základních školách.

Celá multimediální výuková lekce „Barvy kolem nás“ se skládá ze šesti následujících kapitol:

- Barva světla a rozklad světla hranolem
- Barva předmětů, co je to barva?
- **RGB znamená red – green – blue**
- **Jsou i jiná čísla než jen RGB, třeba CMYK**
- **Není RGB jako RGB, není CMYK jako CMYK**
- Zelenou dostanu, když smíchám modrou a žlutou...

Předmětem prezentace v tomto dílu jsou prostřední dvě označené kapitoly, tj. čtyři strany výukové lekce.

Každá z kapitol je zpracována do podoby dvoustrany multimediální interaktivní učebnice, která kombinuje text a obrázky jako každý standardní učební text s přidávanými multimediálními materiály. Tyto materiály jsou skryty pod tlačítka umístěnými v rámci stránek a jsou popsány na konci článku. Ke každé kapitole jsou navrženy i doplňující frontální i žákovské experimenty, také jejich popis je uveden na konci článku.

Celou lekci „Barvy kolem nás“ ve formátu i-učebnice Fraus je možno si stáhnout z webu Školské fyziky zde: http://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_03_5_FlexiBook_Barvy-kolem-nas.zip. Pro zmenšení velikosti lekce a usnadnění stažení byla vnořená videa umístěna na server YouTube. Pro otevření lekce je potřebný FlexiBook Reader, jehož instalace je ke stažení zde: http://files.flexilearn.cz/SW_Flexi_Book_Reader_2_4.exe. Pro spuštění lekce použijte ve vstupním dialogovém okně aplikace volbu „Přihlásit se k multilicenci“.

¹ kohout@fraus.cz

² První dva odstavce jsou stručným souhrnem nejdůležitějších poznatků úvodní části prvního dílu článku. Jejich cílem je připomenutí obecných východisek článku bez nutnosti se k prvnímu dílu článku vracet.

ZÁPIS BARVY V POČÍTAČOVÉ APLIKACI

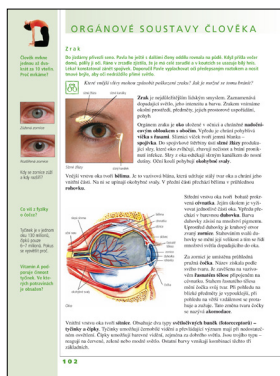
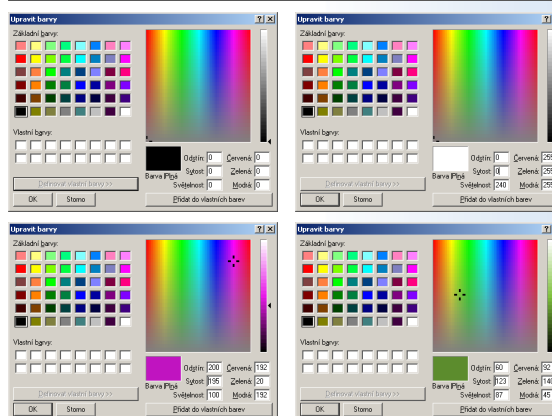
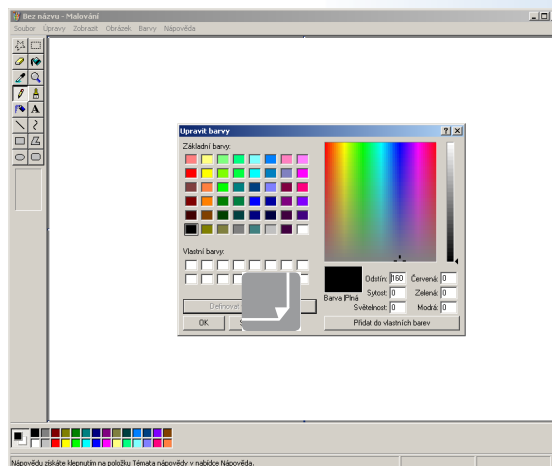
RGB znamená Red – Green – Blue

V aplikaci Windows Malování si chceme zvolit svoji pěknou barvu. Jak na to? Každý jistě snadno najde v menu aplikace volbu Barvy -> Upravit barvy... -> Definovat vlastní barvy. Každý jistě také zvládne umístit křížek někam do zobrazené barevné palety, ale co s těmi šesti číselnými políčky vpravo dole? Jaká čísla tam mohou napsat a jak vůbec souvisejí barvy s čísly?

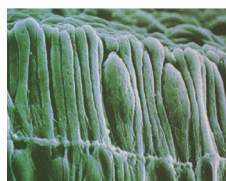
Podíváme se na hodnoty **Červená – Zelená – Modrá** (k hodnotám Odstín – Sytost – Světllost se vrátíme později). Raději budeme dále pracovat s mezinárodním označením **RGB (Red – Green – Blue)**. Zkusme v aplikaci Windows Malování vybírat vlastní barvu a přitom posouvat záměrným křížkem v barevném čtverci a táhlem v barevném sloupci úplně vpravo. (screenshoty Malování, několik barev) Vidíme, že se číselné hodnoty mění. Tři nuly odpovídají černé, třikrát 255 odpovídá bílé. Každou barvu můžeme popsat trojicí čísel z rozmezí 0 až 255. První číslo v trojici udává, kolik je v barvě základní červené, druhé číslo udává, kolik je v barvě základní zelené, třetí číslo udává totéž pro modrou.

Urči, jaká barva se skrývá pod trojicí 128 255 0 nebo pod trojicí 180 70 100. Najdi nějakou světle modrou barvu a zapiš ji pomocí čísel RGB.

Řešení úkolů:

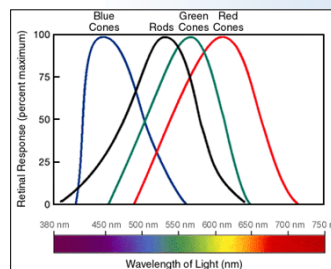


tyčinky a čípky



Proč ale používáme k číselnému zápisu barev právě trojici červená – modrá – zelená? Souvisí to s vlastnostmi lidského oka. V přírodopisu se budete učit, že lidské oko obsahuje dva základní typy buněk citlivých na světlo – **tyčinky** a **čípky**. Barvy vnímáme pomocí čípků a těch jsou tři druhy citlivé po řadě na červené, zelené a modré světlo. Nejjednodušší způsob, jak nasimulovat v oku barevný vjem třeba při sledování televize, je smíchat konkrétní barvu z červené, zelené a modré. Každou ze tří barevných složek budeme vnímat jedním druhem čípků.

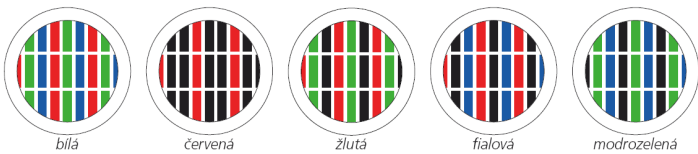
citlivost světlo-
citlivých buněk
tyčinek (rods)
a čípků (cons)
na různé barvy
světla



ZÁPIS BARVY V POČÍTAČOVÉ APLIKACI

Televizní obrazovka, barevný monitor

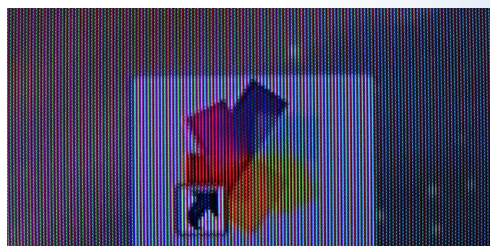
Když se podíváš lupou na **televizní obrazovku**, uvidíš, že celá její plocha je složena z maličkých barevných plošek, které svítí střídavě červeně, zeleně a modře. V místech s červeným obrazem září



pouze červené plošky a také v místech, kde je zelená nebo modrá plocha vidíte pouze odpovídající plošky. Ve žlutých místech pozorujete svítící plošky červené a zelené, v oranžových svítí červené více a zelené méně.



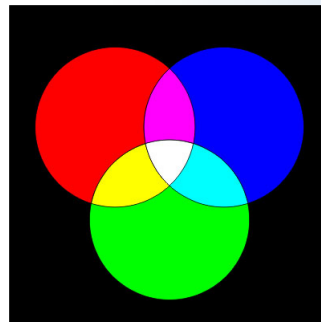
Právě hodnoty RGB uvádějí, jak moc svítí jednotlivé barevné plošky. Když chci zobrazit výše zmíněnou zářivě žlutozelenou barvu 130 255 0, musím červené plošky rozsvítit na polovinu maximálního jasu ($128 = \frac{1}{2} \times 255$), zelené plošky naplno (255) a modré zůstanou zhasnuté (0). Když se podíváš na monitor počítače v místě barevné palety aplikace Windows Malování, uvidíš ty samé plošky tří barev jako na televizní obrazovce a můžeš sledovat jejich jas v závislosti na zobrazené barvě.



detail barevné LCD obrazovky

Pomocí barev RGB nemusíme míchat barvy jen na televizní obrazovce či počítačovém monitoru. Když vezmeme tři svítidla s červeným zeleným a modrým světlem, docílíme stejného výsledku.

Míchání barevných světél:



míchání světél – RGB

RGB zařízení

I další zařízení, která pracují s barvami, je popisují pomocí RGB. Světlocitlivé čipy **skenerů**, **digitálních fotoaparátů** nebo **videokamer** jsou citlivé na červenou, zelenou a modrou stejně jako **lidské oko**. Ve všech případech, kdy mícháme barevná světla, můžeme použít zápis barvy v RGB.



ZÁPIS BARVY V POČÍTAČOVÉ APLIKACI

Jsou i jiná čísla, než jen RGB, třeba CMYK

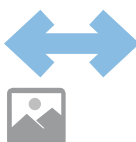
Máte doma inkoustovou tiskárnu k počítači a nakupovali jste do ní někdy barevné inkousty? Pokud jste všímaví, určitě si vybavíte, jaké barvy jsou na krabičce znázorněné. Jsou to barvy jednotlivých náplní a rozhodně to nejsou červená, zelená a modrá. Proč asi?



ukázky zařízení CMYK



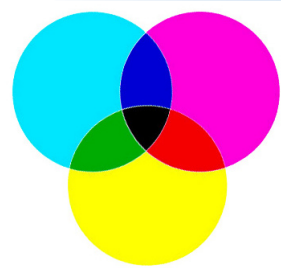
Vypnutý monitor nebo obrazovka TV je černý. Když na něm chci něco zobrazit, musím rozsvítit v různém poměru červené, zelené a modré barevné plošky. Pokud budou svítit plošky všech tří barev naplno, uvidím bílou barvu.



Prázdný papír je bílý, nesvítí, pouze se od něj odráží dopadající bílé světlo. Když chci něco vytisknout, nanáším na něj barevné inkousty – azurový, purpurový a žlutý. Pokud smíchám všechny tři inkousty dohromady, bude papír černý.

Na obrázku vpravo vidíte míchání barev postupným odebráním červené, zelené a modré z bílého světla pomocí **azurového, purpurového a žlutého inkoustu (CMY)**.

Žlutý inkoust pohlcuje z dopadajícího světla modrou a odráží ostatní, proto se jeví žlutý. Stejně tak azurový inkoust pohlcuje z dopadajícího světla červenou a purpurový inkoust pohlcuje z dopadajícího světla zelenou. Opět mícháme červené, zelené a modré světlo, ale tentokrát je pomocí azurového, purpurového a žlutého inkoustu z dopadajícího bílého světla odebráme.

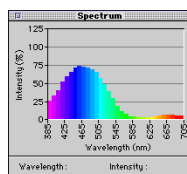


míchání barev – CMY

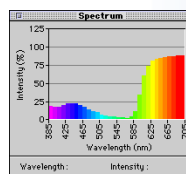


Pro označení barev **Azurová – Purpurová – Žlutá** použijeme opět mezinárodní označení **CMY (Cyan – Magenta – Yellow)**.

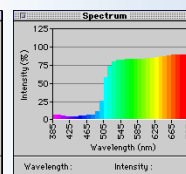
Častěji než s CMY se setkáváte s označením **CMYK**. Při tisku se totiž kromě tří barev CMY používá ještě čtvrtá barva – černá pro tisk obvyčejného textu (blacK nebo Key). Ta nás teď ale zajímat nebude.



azurová



purpurová



žlutá



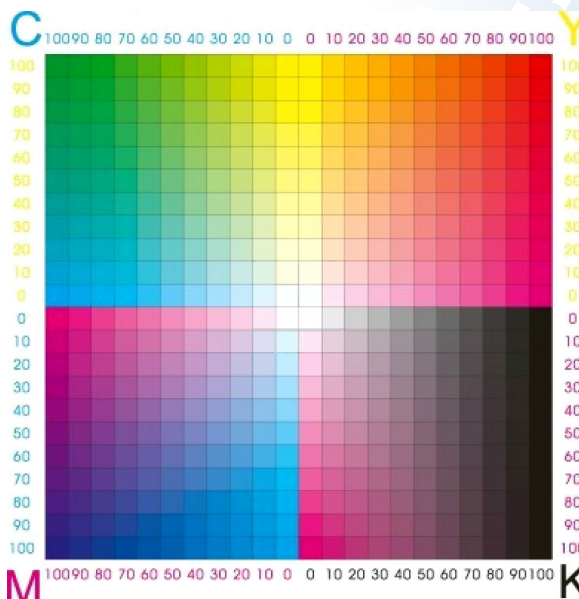
ofsetový tiskový stroj



ZÁPIS BARVY V POČÍTAČOVÉ APLIKACI

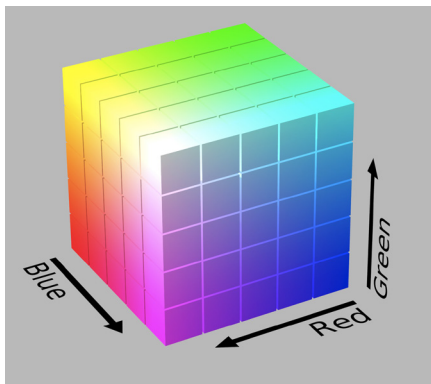
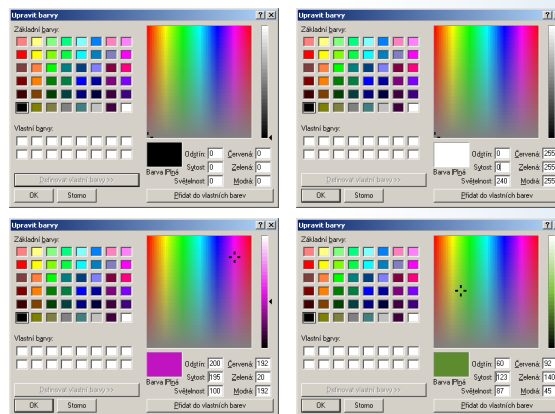
Pro hodnoty CMY se běžně nepoužívají čísla od 0 do 255, ale procenta od 0 % do 100 %, která udávají, jak sytý je daný inkoust. Např. barva CMY 0-50-100 znamená 50% pokrytí purpurovou a 100% pokrytí žlutou. Kdo aspoň jednou maloval vodovkami, snadno odhadne, že výsledkem bude oranžová.

Podobným způsobem jako u barev RGB odhadni, jaká barva se skrývá pod trojicí čísel CMY 100-80-0 nebo pod trojicí 50-10-90. Najdi nějakou světle modrou barvu a zapiš ji pomocí čísel CMY.

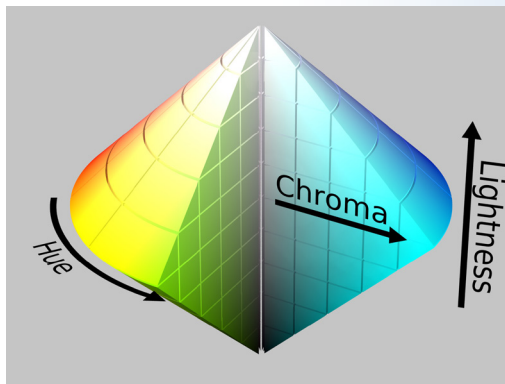


Známe již zápis barvy pomocí RGB a CMY. V aplikaci Windows Malování jsme objevili také hodnoty **Odstín – Sytost – Jas** (mezinárodně **Hue – Saturation – Brightness = HSB**). Sami si můžete ve Windows Malování nebo v jiné grafické aplikaci vyzkoušet, jaké je rozmezí hodnot pro jednotlivá čísla a jak které z nich ovlivňuje výslednou barvu.

Seznámili jsme se se zápisem barev RGB, CMY a HSB. Všechny barvy, které můžeme pomocí uvedených hodnot zapsat, můžeme také znázornit graficky. Podívejte se na následující obrázky.



barvový prostor RGB



barvový prostor HSL

Přehled rozšiřujících materiálů

Jednotlivé **multimediální** a další **materiály** jsou zde uváděny v pořadí, v jakém se vyskytují na stránkách lekce ve směru shora dolů, případně zleva doprava. Materiály jsou uvozeny **ikonou v podobě tlačítka** charakterizujícího typ materiálu. Význam použitých ikon je zřejmý z kontextu, případně byl vysvětlen v první části článku.

RGB znamená red – green – blue

Rozšiřující materiály, 1. strana

 textová poznámka: Výslovnost: red [red] – green [grýn] – blue [blů]  obrázek skrytý: dialogové okno aplikace Malování – grafické řešení zadané otázky 1  obrázek skrytý: dialogové okno aplikace Malování – grafické řešení zadané otázky 2  obrázek skrytý: dialogové okno aplikace Malování – grafické řešení zadané otázky 3  mezipředmětový odkaz: stránka učebnice přírodopisu s výkladem o lidském oku a zraku, NF Přírodopis 8, str. 102  textová poznámka: Výslovnost: rods [rods], cons [kons]  webový odkaz: zdroj obrázků <http://www.oneminuteastronomer.com/astro-course-day-5/>

Rozšiřující materiály, 2. strana

 video: záběr – „zoom“ – na barevnou TV obrazovku s detailem na luminofoxy  video: aditivní míchání barevných světél – záznam pokusu  video: simulace téhož v grafickém programu  video: RGB míchání barev v plnobarevném obrázku

Doporučené experimenty

- experiment žákovský – **Ověřování RGB míchání barev na PC**; pomůcky: žákovské notebooky / netbooky s nainstalovanou aplikací Windows malování;
- experiment žákovský – **Pozorování luminoforů na barevném LCD monitoru**; pomůcky: barevný monitor, lupa pro pozorování luminoforů

Jsou i jiná čísla než jen RGB, třeba CMYK

Rozšiřující materiály, 1. strana

 obrázek skrytý: barevné tonery a inkousty  obrázek skrytý: barevné tonery a inkousty  obrázek skrytý: barevné tonery a inkousty  obrázek skrytý: aditivní míchání barev (připomenutí z minula)  video: subtraktivní míchání barevných světél – záznam pokusu  video: simulace subtraktivního míchání barev v grafickém programu  video: míchání CMYK barev v plnobarevném obrázku  textová poznámka: Výslovnost: cyan [sajen] – magenta [madženta] – yellow [jelou] – black [blek]  video: čtyřbarevný ofsetový tiskový stroj – princip schematicky  video: skutečný čtyřbarevný ofsetový tiskový stroj v provozu

Rozšiřující materiály, 2. strana

 obrázek skrytý: řešení trojice úkolů 1  obrázek skrytý: řešení trojice úkolů 2  obrázek skrytý: řešení trojice úkolů 3  textová poznámka: Výslovnost: hue [hjú] – saturation [saturejšn] – brightness [brajtnes]  video: rotující RGB krychle  obrázek skrytý: varianty prostorů HSL / HSB – kužel  obrázek skrytý: varianty prostorů HSL / HSB – válec

Mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“ pokračuje dalšími kapitolami, které budou podrobně popsány v posledním pokračování tohoto článku.

Třetí Keplerův zákon

Ota Kéhar¹, Hvězdárna v Rokycanech

Za základní fyzikální parametr nejrozšířenějších objektů ve vesmíru – hvězd – považujeme jejich hmotnost. Třetí Keplerův zákon je jedinou klasickou přímou metodou pro určení hmotnosti kosmických těles. Určení relativní hmotnosti Jupiteru vzhledem ke Slunci na základě údajů o oběhu měsíce Callisto provedl již Newton v Principiích. Téma třetího Keplerova zákona je zařazováno do tematického celku Gravitační pole. Pro určení hmotnosti je nutné se zaměřit na přesný tvar třetího Keplerova zákona, jehož zařazení (případně odvození z gravitačního zákona) by přispělo k prohloubení a upřesnění znalosti žáků o fyzikální podstatě pohybů v kosmickém prostoru.

Třetí Keplerův zákon ve škole

Žáci se mohou se třetím Keplerovým zákonem poprvé seznámit na druhém stupni základní školy, mnohem více prostoru mu je věnováno až na střední škole. Na základě výsledků dotazníkového šetření² uskutečněného mnou v roce 2012 mezi studenty univerzity různých ročníků a zaměření, žáky víceletého gymnázia a účastníky fyzikálního kempu vyšlo najevo, že si žáci odnášejí zákon ve formě vzorečku

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (1)$$

Nebudu spekulovat, zda žáci či studenti správně chápou význam tohoto zákona: „*Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.*“ (Bednařík, Šíroková. Fyzika pro gymnázia) I tak málokdo uvedl tento vztah ve správném tvaru. Mnohem důležitější by bylo uvedení podmínek, za kterých lze vztah (1) použít a v jakých jednotkách do něj dosazujeme. Hmotnosti planet musí být zanedbatelné oproti hmotnosti centrálního tělesa, vztah (1) platí pouze pro objekty obíhající okolo stejného tělesa a obvykle do něho dosazujeme čas v rocích a velkou poloosu v astronomických jednotkách³, obě strany jsou bezrozměrné, stačí obecně dosazovat časy a délky ve stejných jednotkách. Keplerovy zákony ovšem platí nejen pro pohyby planet okolo Slunce, ale obecně pro každou gravitačně vázanou soustavu těles.

Třetí Keplerův zákon byl objeven v květnu 1618 a o rok později publikován v díle Harmonie světa (Harmonices Mundi). Kepler odvodil své zákony ze systematických a ve své době nejpřesnějších měření Tychona Brahe. Jednalo se původně o empirické vztahy. Až Newton v listopadu 1684 prezentoval souvislost gravitačního zákona s Keplerovými zákony. V červenci 1687 pak dokázal, že Keplerovy zákony jsou důsledkem jeho obecnější teorie mechaniky a gravitace.

Ve svých hodinách používám jiný tvar třetího Keplerova zákona (odvozený z Newtonových zákonů), který řeší výše uvedené nevýhody.

Odvození třetího Keplerova zákona

Vyjdeme z předpokladu rovnosti velikosti setrvačné odstředivé síly F_o a gravitační síly F_g , kterou působí centrální těleso o hmotnosti M na těleso o hmotnosti m obíhající po kružnici ve vzdálenosti a .⁴

¹ kehar@kmt.zcu.cz

² Koncem října 2012 došlo k dotazníkovému šetření mezi studenty Západočeské univerzity v Plzni se zájmem o astronomii. Nejčastěji to byli studenti 2. až 4. ročníku (celkem 85 %, každý ročník zhruba po 28 %). Největší zastoupení měla Fakulta pedagogická (28 %), následovaná Fakultou aplikovaných věd (20 %), Fakultou elektrotechnickou (17 %) a Fakultou ekonomickou (17 %). Ostatní fakulty měly méně než 9 %. Uvedu výsledky pouze jedné otázky, která souvisí s tématem tohoto článku a která zněla: „Uvedte vztah, který vyplývá z třetího Keplerova zákona.“ Správně odpovědělo pouze 16 % studentů: jedna odpověď byla slovní, zbývající byly vztahem $T_1^2/T_2^2 = a_1^3/a_2^3$. U 84 % špatných odpovědí nebylo většinou uvedeno nic, 2 studenti uvedli slovní odpověď, 3krát nevím, jedenkrát se objevily špatné mocniny ve vzorci a jednou $c = 300\,000$ km/s. Na přelomu října a listopadu 2012 byli testováni žáci Gymnázia Plzeň na Mikulášském náměstí. Testování se účastnilo 50 žáků víceletého gymnázia ročníků odpovídajících 1. a 2. ročníku střední školy. Správně odpovědělo 6 % studentů (většinou uvedli vztah $a^3/T^2 = \text{konst.}$, v jednom případě slovní vyjádření). Pro 94 % studentů byla odpověď špatná: 4krát poměr a/T , 3krát poměr T_1/T_2 , 1krát slovní odpověď; většinou byly v uvedeném vztahu špatné exponenty).

³ XXVIII. valné shromáždění Mezinárodní astronomické unie konané v roce 2012 v Pekingu přijalo rezoluci B2 (předefinování délky astronomické jednotky), kde se v bodě 5 píše: unikátním symbolem pro astronomickou jednotku je „au“.

⁴ Na tomto místě bychom měli žáky a studenty upozornit na skutečnost, že používáme proměnnou a pro vzdálenost (nejdříve poloměr kružnice, později velká poloosa), nikoli pro zrychlení.

$$F_g = F_o \Rightarrow \kappa \cdot \frac{M \cdot m}{a^2} = \frac{m \cdot v^2}{a}, \quad (2)$$

kde κ je gravitační konstanta s hodnotou $6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

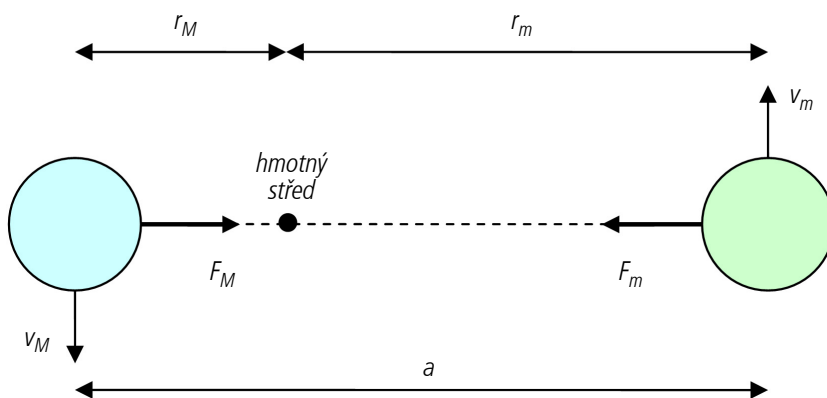
$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi \cdot a}{T} \quad (3)$$

Za rychlost v můžeme dosadit do (2) ze známého vztahu (3) pro průměrnou rychlost, kde dráha s bude délka kružnice o poloměru a a za čas doplníme oběžnou dobu T .

Po dosazení, zkrácení a snadné úpravě dostaneme

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{\kappa \cdot M}{4\pi^2}. \quad (4)$$

Pokud není možné zanedbat hmotnost obíhajícího tělesa m (např. pro dvojhvězdy), musíme použít následující úvahu při odvození třetího Keplerova zákona. Máme dvě tělesa o hmotnostech M a m , které obíhají okolo hmotného středu soustavy po kružnicích ve vzdálenostech r_M a r_m (viz obr. 1). Protože gravitační síla působí pouze na úsečce spojující středy obou těles, musí obě tělesa dokončit jeden oběh za stejnou dobu T (i když se pohybují různými rychlostmi v_M a v_m).



Obr. 1 – dvě tělesa obíhající okolo hmotného středu

Na každé těleso působí setrvačná odstředivá síla o velikosti

$$F_M = M \cdot \frac{v_M^2}{r_M} = 4\pi^2 \cdot M \cdot \frac{r_M}{T^2}, \quad (5a)$$

$$F_m = m \cdot \frac{v_m^2}{r_m} = 4\pi^2 \cdot m \cdot \frac{r_m}{T^2}. \quad (5b)$$

Třetí Newtonův pohybový zákon (zákon akce a reakce) říká, že $F_M = F_m$, z čehož plyne

$$M \cdot r_M = m \cdot r_m. \quad (6)$$

Ze vztahu (6) je zřejmé, že hmotnější těleso obíhá blíže k hmotnému středu než méně hmotné těleso. Celkovou vzdálenost obou těles lze napsat jako součet dílčích vzdáleností

$$a = r_M + r_m \quad (7)$$

a po úpravě dostaneme

$$r_m = \frac{M \cdot a}{M + m}. \quad (8)$$

Pokud vztah (8) dosadíme do (5b) a doplníme o gravitační zákon (2), kdy platí $F_g = F_m$, po jednoduché úpravě dostaneme třetí Keplerův zákon v Newtonově formě

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{\kappa}{4\pi^2} (M + m). \quad (9)$$

Praktické úlohy na třetí Keplerův zákon

I. úloha: Hmotnost Slunce vypočítáme z třetího Keplerova zákona při znalosti střední vzdálenosti Země – Slunce (přibližně rovna astronomické jednotce) a době oběhu Země okolo Slunce (siderický nebo též hvězdný rok).

$$T_{\text{Země}} = 1 \text{ rok} = 365,256\,363 \text{ dne} = 31\,556\,925 \text{ s}, \quad a_{\text{Země}} = 1 \text{ au} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

Po dosazení do vzorce (4) nám při předpokladu zanedbatelné hmotnosti Země vyjde hmotnost Slunce $M_{\text{Slunce}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, což odpovídá tabulkové hodnotě.

Pokud do vzorce (4) dosadíme za $a = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$ (jedna astronomická jednotka, zhruba odpovídá střední vzdálenosti Země–Slunce), $T = 365,256\,363 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}$ (počet sekund v siderickém roce) a za $M = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ (hmotnost Slunce), po zkrácení získáme⁵

$$\frac{a_{\text{au}}^3}{T_{\text{rok}}^2} = M_{\text{Slunci}} \quad (10)$$

kde vzdálenost a dosazujeme v astronomických jednotkách, T v rocích a hmotnost M centrálního tělesa v násobcích hmotnosti Slunce.

II. úloha: Určete hmotnost planety Jupiter.

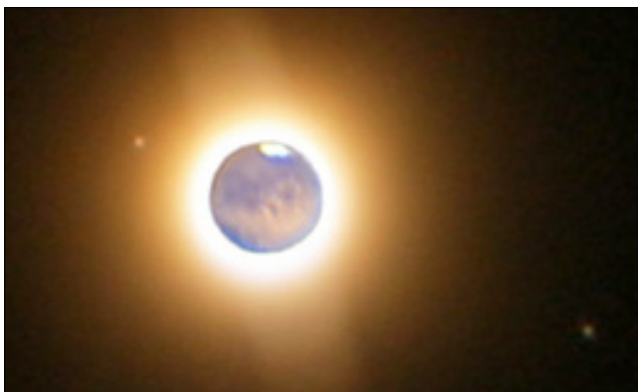
Již v roce 1610 pozoroval Galileo Galilei čtyři nejjasnější měsíce planety Jupiter – Io, Europu, Ganymeda a Callisto, viz obr. 2. Pozorným sledováním těchto měsíců můžeme určit jejich vzdálenost od Jupitera a změřit jejich oběžnou dobu. Úloha na první pohled snadná, ale její praktická realizace by nám přinesla nemálo komplikací. Použijeme



Obr. 2 – planeta Jupiter a jeho čtyři největší měsíce;

zdroj: <http://kepler.nasa.gov/images/SystemJupiterComparisonKOI961-glry.jpg>

tedy pro zjednodušení tabulkových hodnot⁶: velká poloosa a měsíce Ganymed je $1,07 \cdot 10^9 \text{ m} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ au}$. Oběžná doba T je 7,2 dne = 0,020 roku. Po dosazení do vzorce (10) vyjde hmotnost $9,5 \cdot 10^{-4} M_{\text{Slunci}} = 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$. Hmotnost planety Jupiter⁷ představuje necelé jedno promile hmotnosti Slunce. I z toho důvodu můžeme používat pro objekty (planety, planetky, komety) obíhající okolo Slunce upraveného vztahu (10).



Obr. 3 – planeta Mars a dva měsíce Phobos (vlevo) a Deimos (vpravo).

Vzdálenosti jsou v měřítku. Obrázek je složen ze dvou snímků.

zdroj: <http://www.astro.cz/apod/ap031024.html>

III. úloha: Určete hmotnost planety Mars. Okolo planety Mars obíhá malý měsíc Phobos (obr. 3). Průměrná vzdálenost měsíce od Marsu je $9\,380 \text{ km} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ au}$ a oběžná doba $7 \text{ h } 39 \text{ min} = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ roku}$. I v tomto případě lze hmotnost měsíce zanedbat, použijeme vztah (10) a hmotnost Marsu nám po přepočtu na jednotky SI vyjde $6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$.⁸

Takto můžeme postupovat i pro planety Saturn, Uran a Neptun, okolo kterých obíhá dostatečné množství větších či menších měsíců. Ve všech těchto případech můžeme jejich hmotnost vůči planetě zanedbat. Jiná situace je u vnitřních planet Merkur a Venuše, které měsíce nemají. U těchto planet nebyla hmotnost dlouho dobu známa s do-

⁵ Stejný tvar třetího Keplerova zákona je uveden v učebnici Fyzika 9 od Nakladatelství Fraus na straně 110.

⁶ Např. na <http://astronomia.zcu.cz/planety/jupiter/969-charakteristika-ganymedes>. Velkou poloosu měsíce můžeme na obloze měřit jako násobek rovníkového poloměru planety (71 492 km), pro Ganymeda je $a = 15 R_J$.

⁷ Po Slunci druhý nehmotnější objekt ve sluneční soustavě. Dle tabulkových hodnot je hmotnost Jupitera rovna $1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$.

⁸ Tabulková hodnota hmotnosti Marsu je $6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$.

statečnou přesností. Před vypuštěním kosmických sond byla jako jediná možnost měřit gravitační účinek na trajektorie ostatních planet. Ten ovšem klesá s druhou mocninou vzdálenosti, je proto malý a určení hmotnosti tedy nebylo snadné.

Gravitační síla mezi vnitřními planetami sluneční soustavy a případným měsícem je menší či řádově srovnatelná než ta od Slunce. To je i důvod, proč zejména Merkur, ale i Venuše své měsíce nemají. Jejich dráha by byla nestabilní. Gravitační síla mezi Měsícem a Sluncem ($4,4 \cdot 10^{20}$ N) je také větší než mezi Měsícem a Zemí ($2,0 \cdot 10^{20}$ N). Jak je tedy možné, že Země svůj měsíc má? Odpovědí na otázku je rychlost Měsíce. Kdyby se Měsíc nepohyboval, přitáhlo by si jej Slunce. Ve skutečnosti se však společně se Zemí pohybuje kolem Slunce. Ostatně i Země, kdyby byla v jednom okamžiku v klidu, by na Slunce spadla.

IV. úloha: Třetí Keplerův zákon použijeme pro odhad vzdálenosti Měsíce od Země. Vyjdeme z předpokladu, že gravitační zrychlení na zemském povrchu $g \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je závislé na poloměru Země R vztahem⁹

$$g = \frac{\kappa \cdot M}{R^2}. \quad (11)$$

Poloměr Země R byl s dostatečnou přesností určen řeckým geografem Eratosthenem z Kyrény již v roce 250 př. n. l.: $R \sim 6400 \text{ km}$ ¹⁰. Tím jsme schopni ze vztahu (11) vypočítat velikost $\kappa \cdot M \sim 4 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$.

Ze třetího Keplerova zákona (4) určíme vzdálenost a od Země k Měsíci

$$a^3 = \frac{\kappa \cdot M}{4\pi^2} \cdot T^2, \quad (12)$$

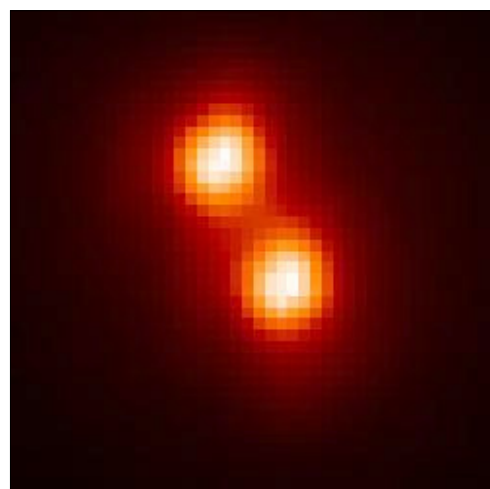
kde máme jako jedinou neznámou dobu oběhu T . Použijeme jeden měsíc ~ 30 dnů, což je $2,6 \cdot 10^6$ s. Po dosazení do (12) nám vyjde $a \sim 408\,000 \text{ km}$. To je řádově přijatelná hodnota ve srovnání s velkou poloosou trajektorie Měsíce 384 tisíc km. Nutno podotknout, že staří Řekové sice měli všechny potřebné hodnoty pro výpočet vzdálenosti Měsíce, neznali ovšem Keplerovy zákony.

V. úloha: Pro výpočet hmotnosti Země ze znalosti vzdálenosti Měsíce a jeho oběžné doby již nemůžeme zanedbávat hmotnost Měsíce. Vypočítáme tedy součet hmotnosti Měsíce a Země. Velká poloosa Měsíce a je 384 tisíc km, siderická doba T je 27,322 dne. Ze vztahu (9) určíme $M + m$ o velikosti $6,011 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Hmotnost Země je $5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, z toho plyne, že hmotnost Měsíce je asi $4 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, což představuje necelé 1 % hmotnosti Země¹¹.

VI. úloha: Pexeso k 50. výročí Evropské jižní observatoře (ESO) dostupné na <http://www.asu.cas.cz/pexeso> obsahuje ilustrační obrázek binární planetky (90) Antiope. Pozorování dalekohledem VLT (obr. 5) nám umožnilo rozlišit obě tělesa a určit jejich



Obr. 4 – Země a Měsíc. Vzdálenosti těles nejsou v měřítku, rozměry ano.
zdroj: <http://www.kitguru.net/wp-content/uploads/2012/10/Earth-and-Moon.jpg>



Obr. 5 – binární planetka (90) Antiope na snímku VLT;
zdroj: http://www.imcce.fr/en/observateur/campagnes_obs/antiope/index.php

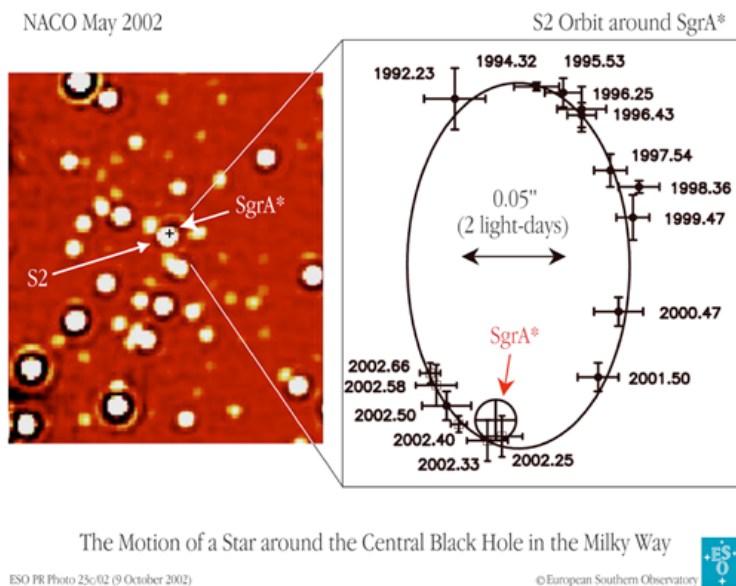
⁹ Odvozením z Newtonova gravitačního a pohybového zákona.

¹⁰ Stačilo stanovený obvod Země kolem poledníku přepočítaný na jednotky SI o velikosti 40 000 km vydělit 2π .

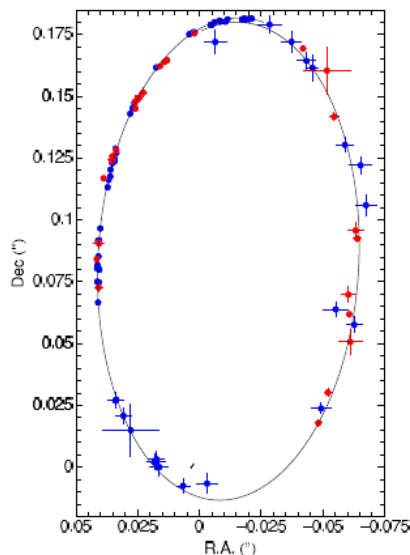
¹¹ Skutečná hodnota je $7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$.

parametry. Téměř stejně velká tělesa od sebe dělí 171 km a oběhnou se jednou za 16,5 h. Z těchto hodnot vypočítáme ze vztahu (9) hmotnost této soustavy, vyjde nám $8,4 \cdot 10^{17}$ kg. Jedno těleso má zhruba poloviční hmotnost, $4,2 \cdot 10^{17}$ kg.

VII. úloha: Platnost třetího Keplerova zákona v upřesněném tvaru (10) si vyzkoušíme i na objektu, který není ve sluneční soustavě. Jde o hvězdu, která se nachází v gravitačním poli černé díry o velké hmotnosti¹² v centru naší Galaxie. Pro zjednodušení zanedbáme relativistické efekty (dilatace času či stáčení pericentra v silném gravitačním poli) a dále budeme uvažovat vhodný sklon skutečné a pozorované trajektorie.



Obr. 6 – pohyb hvězdy okolo černé díry o velké hmotnosti v centru Galaxie (sklon roviny oběhu hvězdy je -48°); zdroj: <http://www.eso.org/public/images/eso0226c/>



Obr. 7 – úplná trajektorie hvězdy S2; zdroj: <http://arxiv.org/pdf/0810.4674v1.pdf>

Astronomové od roku 1992 pozorují v infračerveném a rádiovém oboru hvězdu S2 obíhající okolo rádiového zdroje Sgr A* (obr. 6), který se nachází v centru Galaxie. Zajímavá začala být hvězda S2 počátkem roku 2002, v první třetině roku se hvězda S2 nacházela v pericentru¹³ a dosahovala rychlosti¹⁴ okolo $7000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Svůj celý oběh dokončila hvězda S2 až v roce 2009 (obr. 7). Hmotnost centrálního tělesa bylo ale možné spočítat díky Keplerovým zákonům mnohem dříve. Tím můžeme stanovit charakter tohoto tělesa. V roce 2018 prolétne hvězda S2 opět pericentrem, to nám umožní další zpřesnění hmotnosti centrálního objektu. Kromě toho astronomové bedlivě sledují bližší hvězdu (ale 15krát slabší) s označením S102 (obr. 8 a 9), která má oběžnou dobu 11,5 let. V době psaní článku se jedná o hvězdu s nejkratší oběžnou dobou obíhající okolo černé díry o velké hmotnosti v centru Galaxie.

Pro výpočet hmotnosti centrálního tělesa potřebujeme znát hodnotu velké poloosy a a oběžné doby T . Z eliptické trajektorie hvězdy S2 lze určit¹⁵, že $a = 5,6$ světelného dne (převědeme na astronomické jednotky, můžeme zadat žákům jako samostatnou úlohu¹⁶, tj. 970 au) a $T = 15,56$ let.

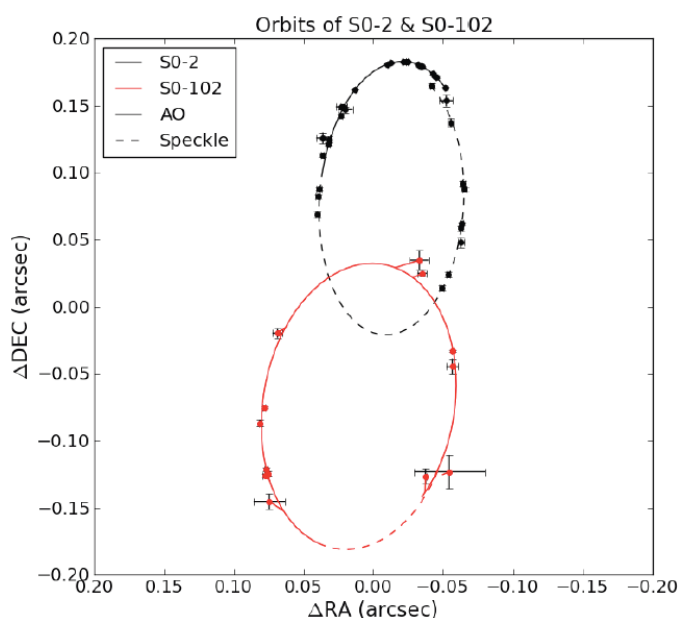
¹² Běžně používaný pojem je supermasivní černá díra (z anglického Supermassive Black Hole), který obsahuje pojem masivní, což není používané a definované ve školní fyzice. Dalším označením může být černá veledíra, který nalezneme ve Žni objevů dr. Grygara. V tomto textu budeme používat černá díra o velké hmotnosti.

¹³ Pericentrum je nejbližší bod od hmotného středu soustavy dvou volně se pohybujících těles, která na sebe působí gravitačně.

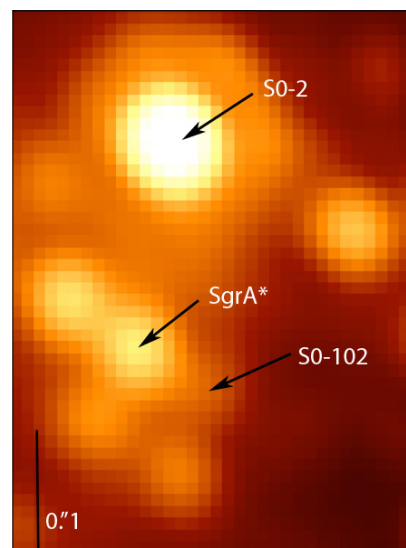
¹⁴ Pro srovnání uvedme, že Země obíhá okolo Slunce průměrnou rychlostí $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, oběžná rychlost Slunce okolo středu Galaxie je $220 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

¹⁵ Určení by bylo nad rámec tohoto článku, lze najít v článku „Jakou hmotnost má černá díra uprostřed naší Galaxie?“ Mgr. Křížka, prof. Křížka a Mgr. Ing. Šolce v časopisu Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, ročník 49 (2004), č. 2, str. 104–113. Dostupné online na <http://dml.cz/dmlcz/141218>

¹⁶ Za jeden den urazí světlo vzdálenost $300\,000\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 86\,400 \text{ s} \sim 2,6 \cdot 10^{13} \text{ m} \sim 170 \text{ au}$.



Obr. 8 – trajektorie hvězd S2 (černě) a S102 (červeně);
zdroj: <http://arxiv.org/pdf/1210.1294v1.pdf>



Obr. 9 – infračervený snímek hvězd S2 a S102;
zdroj: <http://arxiv.org/pdf/1210.1294v1.pdf>

Po dosažení do (10) nám vyjde, že hmotnost objektu v centru naší Galaxie je $3,8 \cdot 10^6 M_{\odot} = 7,5 \cdot 10^{36} \text{ kg}$. Dovedeme si představit, o jakou hmotnost se jedná?

Literatura

- [1] DHILLON, Vik. *Newton's Derivation of Kepler's Laws* [online]. [citováno 19. 12. 2013]. Dostupné z <http://www.vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy105/celsphere/phy105_derivation.html>
- [2] FREIRE, Alex. *Newton's derivation of Kepler's laws* [online]. [citováno 19. 12. 2013] Dostupné z <<http://www.math.utk.edu/~freire/teaching/fall2006/m142f06NewtonKepler.pdf>>
- [3] KŘÍŽEK, Michal. Jakou hmotnost má černá díra uprostřed naší Galaxie? In *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, vol. 49 (2004), issue 2, pp. 104–113.
- [4] *Multimediální učební text Astronomia* [online]. 2012, [citováno 5. 12. 2013]. Dostupné z <<http://astronomia.zcu.cz>>
- [5] POGGE, Richard. Lecture 19: Orbits [online]. In *An Introduction to Solar System Astronomy*. [citováno 19. 12. 2013]. Dostupné z <<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast161/Unit4/orbits.html>>

ŠKOLSKÁ FYZIKA

praktický časopis pro výuku fyziky

4
2013

Vydává

Fakulta pedagogická
Západočeské univerzity v Plzni,
Univerzitní 8, Plzeň

oddělení fyziky katedry matematiky,
fyziky a technické výchovy

ISSN 1211-1511