

Interaktivní tabule ve výuce fyziky na základní škole

EVA HEJNOVÁ – RŮŽENA KOLÁŘOVÁ

Přírodovědecká fakulta UJEP, Ústí nad Labem

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

V tomto článku se budeme nejprve zabývat problematikou interaktivní výuky z obecnějšího hlediska, v druhé části pak představíme soubor multimediálních prezentací pro výuku na interaktivní tabuli, které na CD vydalo nakladatelství Prometheus v dubnu 2009.

Interaktivní tabule už není pro mnohé učitele „horkou“ novinkou, neboť první z nich se u nás objevily již téměř před deseti lety. Některé školy ji proto mají a využívají již dlouhou řadu let. Mnohé školy si ji pořídily teprve v nedávné době, některé dosud váhají nebo nemají dostatek finančních prostředků. Pro mnohé učitele je však interaktivní tabule stále zcela novou nebo nepříliš často využívanou pomůckou, která na širší využití ve výuce teprve čeká. S potěšením lze však konstatovat, že stále více učitelů zapojuje interaktivní tabuli do běžné výuky.

Využití počítače ve výuce v současné době zaznamenává určitou diferenciaci. Zatímco předměty zabývající se informačními a komunikačními technologiemi preferují trend individualizace – tj. každému žákovi dát k dispozici počítač, na němž relativně samostatně plní zadávané úkoly, ve výuce ostatních předmětů se objevil nový fenomén – interaktivní tabule. V tomto případě celé třídy postačí jediný počítač, prostřednictvím interaktivní tabule se pak většina žáků může aktivně zapojit do výuky. První trend s sebou přináší poměrně značné finanční nároky, druhý je velice zajímavý z mnoha aspektů, nejen z provozně – ekonomických (ušetření finančních prostředků), ale především psychologických, didaktických

a sociálních. Technologie interaktivní tabule v sobě zahrnuje dosavadní možnosti názorné výuky, které navíc obohacuje o originální prvek interaktivitu.

Interaktivní výuka vychází z principů pedagogického konstruktivismu, který klade důraz na aktivní spoluúčast žáků ve výuce. Z učitele a žáků se stávají partneři, které spojuje úsilí o dosažení společného cíle. Učitel usměrňuje diskuse, zdůvodňuje vhodná řešení, nevnučuje, ale provází žáky při jejich objevování všeho nového. Žák se stává aktivním subjektem, je zdrojem nápadů, myšlenek a výrazně spoluutváří, modifikuje a v pokročilejších stádiích i sám vede výukový proces. Zajímavé výukové materiály prezentované s využitím interaktivní tabule výrazně zvyšují zájem a motivaci žáků. Snáze se daří udržet pozornost žáků a také se zlepšuje jejich vzájemná komunikace. Do výuky se mohou snáze zapojit slabší žáci i děti se speciálními potřebami.

Role učitele zůstává i nadále nezastupitelná, příprava na hodiny vedené interaktivní formou je však náročnější než při klasické výuce. Základním stavebním elementem při tvorbě výukového materiálu jsou multimediální prezentace, jejichž didaktické i metodické zpracování vyžaduje dostatečnou zkušenost a erudovanost jejich tvůrce. Nutno ovšem zdůraznit, že i když je prezentace základním stavebním kamenem při tvorbě výukových materiálů pro interaktivní tabuli, nemusí výuka s ní být interaktivní. Interaktivními se multimediální aplikace stávají až tehdy, kdy do nich mohou zasahovat samotní žáci, ovlivňovat jejich obsah a aktivně s nimi pracovat.

Využívání prezentace ať už běžné, multimediální či interaktivní je účelné zejména:

- u témat, kde se pracuje s obrázky nebo schématy, které by se musely zdlouhavě kreslit na tabuli. Ty je výhodné mít připraveny. Není to však dogma, někdy je pro žáky důležité sledovat postupnou genezi fyzikálního jevu, neboť výsledek má někdy složitější a méně přehlednou strukturu. I tento faktor se dá velice dobře řešit časováním prezentace, kdy se postupně aktivizují jednotlivé fáze (např. vytváření grafu závislosti dvou veličin, konstrukce obrazu vytvořeného spojkou, schéma elektrického obvodu apod.),
- u zápisu do sešitů, včetně náčrtu pokusu apod.,
- u témat, kde mohou různé animace zvýšit názornost a podpořit tak pochopení a zapamatování látky (např. změna úhlu lomu při změně úhlu dopadu paprsku, nebo změna výslednice sil při změně úhlů, které svírají skládané síly),

- ve fázi hodiny, kde je potřebné předvést žákům objekty, obrázky nebo fotografie (které by jinak např. musely jednotlivě kolovat třídou),
- chceme-li využít odkazů na webové stránky (jednoduše se lze připojit např. k již vytvořeným apletům, dálkově řízeným experimentům na univerzitách celého světa nebo stránkám s nejrůznějšími zajímavostmi a informacemi vztahujícími se k danému tématu, což má pozitivní výchovný a motivační efekt).

Rozhodnutí o tom, zda použít multimediální prezentaci nebo jinou formu didaktické interpretace učiva, musí učinit sám učitel. Její použití závisí na didaktických, ekonomických, psychologických, materiálních a organizačních podmínkách týkajících se probíraného tématu učiva a také konkrétní třídy žáků.

Zefektivnění pedagogické práce přinášejí hotové prezentace, které jsou dostupné na internetu (viz např. www.veskole.cz), nebo je nabízejí různá nakladatelství. Učitel může tyto prezentace podle svých představ upravovat, doplňovat, aktualizovat, případně vytvářet prezentace nové. Využitím již připravených prezentací tak učitel získává čas pro své žáky, který pak může věnovat efektivnějšímu řízení hodiny (pozorování, experimentování, měření, mezipředmětovým vazbám, k důkladnějšímu procvičení učiva apod.).

Pro podporu výuky fyziky s interaktivní tabulí nakladatelství Prometheus připravilo CD s multimediálními prezentacemi pro výuku fyziky na ZŠ s možností využití na interaktivní tabuli (obr. 1). Toto CD doplňuje učebnici autorů R. Kolářová a kol.: Fyzika pro 6. ročník ZŠ, ale užitečné bude i všem učitelům, kteří učí podle jiných učebnic. Autorský kolektiv je tvořen didaktiky i učiteli ze základních škol: E. Hejnová, Přírodovědecká fakulta UJEP, Ústí nad Labem, R. Kolářová, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha, V. Bďínková, Základní škola, Novolišenská 10, Brno, V. Kamenická, Základní škola, Uhelný trh 4, Praha 1.

V prezentacích je zahrnuto velké množství aplikačních i problémových úloh, námětů na zajímavé pokusy i další samostatnou práci žáků. Jednotlivé úlohy v předváděcích sešitech využívají v maximální míře možností interaktivní tabule. Velký důraz je kladen na motivaci žáků, mezipředmětové vazby a využití fyzikálních poznatků v běžném životě. Jednotlivé stránky lze využít na začátku hodiny k motivaci žáků, ve výkladové části hodiny, ale zejména při procvičování, opakování a upevňování probraného učiva. Učitel si rovněž může vybrat jen některé stránky a ty případně i vytisknout a použít jako pracovní listy.



Obr. 1

Prezentace jsou připraveny ve formě předváděcích sešitů k použití na interaktivní tabuli typu ACTIVboard využívající program ACTIVstudio. Pro jiný typ interaktivní tabule je možné využít studentskou verzi ACTIVstudia, která je umístěna přímo na CD.

Po vložení CD do počítače se zobrazí přehled všech předváděcích sešitů (Měření délky, Měření objemu, Měření hmotnosti, Měření hustoty, Měření času, Měření teploty). Jedním kliknutím na kterýkoliv předváděcí sešit se lze dostat na první stránku sešitu, kde je seznam názvů jednotlivých článků. Jedním kliknutím na zvolený článek se pak lze dále dostat na seznam úloh (úlohy jsou pro snazší orientaci pojmenovány) a odtud dále na jednotlivé úlohy. Poslední stránku každého předváděcího sešitu tvoří vždy Pojmová struktura, která se vztahuje k celému tématu Měření fyzikálních veličin a je u všech předváděcích sešitů stejná. Učitel ji může použít postupně při probírání měření jednotlivých veličin, případně podle vzoru u první veličiny nechat u dalších veličin žáky vytvářet struktury pojmů. Dalším účelem pojmové struktury je usnadnit žákům vytvoření celkového obrazu učiva o měření fyzikálních veličin při jeho opakování a systemizaci.

Na mnoha stránkách je vpravo na listě záložka „Poznámka“ nebo „Poznámka+“, která obsahuje metodické poznámky k řešení daného problému nebo návod, jak se stránkou pracovat z hlediska její interaktivity. Pokud je poznámka doplněna symbolem „+“, je uveden další námět na aktivitu, kterou lze se žáky provádět v souvislosti s uvedenou úlohou nebo problémem. Na několika stránkách je také umístěna záložka „Video“, pomocí které je možné spustit videonahrávku, která se týká daného tématu. Na mnoha stránkách jsou uvedeny odkazy na internet, kde lze najít další zajímavosti, podněty, informace, obrázky aplety atd.

Pro snadnější orientaci jsou všechny stránky předváděcích sešitů rozlišeny různými ikonami, které pomáhají učiteli se rozhodnout, k jakému účelu danou stránku ve výuce využije. V prezentacích jsou obsaženy následující typy stránek:

-  Na stránkách jsou připraveny různé typy úvodních problémů, které mají sloužit k motivaci žáků před probíráním nového tematického celku.
-  Stránky mají přehledový charakter a lze je využít v průběhu výkladové části hodiny nebo v rámci opakování.
-  Stránky jsou určeny zejména k procvičování učiva. Úlohy jsou konstruovány tak, aby bylo v maximální míře využito možností interaktivní tabule. Podle charakteru úlohy žáci mohou řešit úlohu přímo u tabule, případně ji nejprve vyřešit v lavicích a výsledky na tabuli doplnit nebo zkontrolovat s uvedeným řešením.
-  Stránky obsahují námět na provedení pokusu. Pro snazší provedení experimentu je stránka doplněna fotografiemi, případně videonahrávkou.
-  Stránky zahrnují nejrůznější zajímavosti, nápady, doplňovačky a náměty na další činnosti, které lze v souvislosti s probíraným námětem provádět.

Multimediální prezentace většinou zahrnují takové typy úloh, které využívají nejrůznějších interaktivních prvků, např. doplňování textů, dokreslování obrázků, přesunování a seskupování textů a obrázků, vytváření grafů, skládání obrázků, luštění doplňovaček, zvukové klipy atd. Řešení úloh a některé další texty nebo obrázky jsou skryty a lze je odkrýt jedním kliknutím

MĚŘENÍ DÉLKY *Jednotky délky. Délková měřidla Názvy měřidel*

Přirad' k měřidlům správné názvy.

doplnit

doplnit

doplnit

doplnit

doplnit

- posuvné měřidlo
- ocelové pásmo
- skládací metr
- plastové pásmo
- krejčovský metr

Obr. 2

MĚŘENÍ ČASU *Jednotky času Porovnávání časových úseků 1*

Porovnej časové úseky. Dopln' znaky <, >, =.

0,75 h	dopln'	45 min	13 h	dopln'	0,5 d
0,2 h	dopln'	18 min	1/4 h	dopln'	25 min
1/3 min	dopln'	20 s	240 s	dopln'	0,1 h

< > = = < >

Odkryj řešení

Obr. 3

na zakrývající plochu. Do prezentací je zařazeno velké množství fotografií a obrázků. Některé fotografie a obrázky lze pro lepší čitelnost jednoduše kliknutím zvětšit, tato možnost je vyznačena symbolem lupy. Pro ilustraci uvádíme na obr. 2 a 3 ukázky dvou úloh z předváděcích sešitů.

Připravené multimediální prezentace usnadní učiteli práci a pomohou efektivněji využít možností interaktivní tabule při motivaci žáků, k procvičení učiva i jeho upevnění.

Je třeba si uvědomit, že v interaktivní tabuli, resp. v multimediálních prezentacích nelze spatřovat všemocný a naprosto dokonalý nástroj, řešící veškeré vzdělávací a další problémy současné školy. Její používání nemusí vždy a za každých okolností přinést očekávané zlepšení studijních výsledků žáků. Často ve snaze využít veškeré technologické možnosti tabule může dojít k zahrnutí žáků větším množstvím informací, než jsou schopni absorbovat. Také velká míra aktivit může vést k přetížení některých žáků. Ve svém důsledku to může vést i ke zpomalení tempa výuky [6]. Na závěr ještě zmiňme i tu skutečnost, že stále existuje řada pedagogů, která má vůči novému typu didaktického podání látky předsudky. Nemá smysl za každou cenu „vnucovat“ nové technologie každému učiteli, na každé výukové téma, ale jen tehdy, kdy tento přístup může pozitivně zvýšit vzdělávací efekt a tam, kde je pro žáky skutečným přínosem.

Literatura

- [1] *Hejnová, E., Heller, V.*: Využití interaktivní tabule ve výuce fyziky. 3. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2008.
- [2] *Hejnová, E. a kol.*: Měření fyzikálních veličin. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009. ISBN 978-80-7196-380-6
- [3] *Hausner, M., a kol.*: Interaktivní tabuli! Praha: ZŠ Lupáčova, 2005.
- [4] *Rain, T.*: Využití prezentačního softwaru v pedagogické praxi. Praha: Inforum, 2003, Česká zemědělská univerzita, katedra informačních technologií.
- [5] *Zárybnická, R.*: Případová studie využití interaktivní tabule ve výuce. Praha, 2007, bakalářská práce ČVUT fakulty elektrotechnické.
- [6] *Paton, G.*: Whiteboards 'are turning pupils into spectators' (dostupné na www stránkách <http://www.telegraph.co.uk/news/main.jhtml?xml=/news/2007/01/29/nschool129.xml>) cit. 13. 4. 2009).

Rozměrová analýza v astrofyzikální výuce na středních školách

VLADIMÍR ŠTEFL

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Od druhé poloviny minulého století hledají didaktikové fyziky ve výuce výkladové postupy, jenž by učinili fyziku srozumitelnou co nejširšímu počtu žáků. Takové, které nezkrslují fyzikální podstatu studovaných jevů. Tyto podmínky splňuje metoda rozměrové analýzy, založená na rovnosti rozměrů obou stran matematických rovnic zachycujících fyzikální vztahy. Jestliže existuje funkční závislost mezi fyzikálními veličinami a má-li mocninný tvar, můžeme rozměrovou analýzou zjistit vztah mezi veličinami, avšak bez stanovení číselné konstanty. Matematická stránka použití metody spočívá v řešení elementární algebraické soustavy rovnic. Je velmi jednoduchá, každý žák ji může intuitivně používat. Zejména je účinná tehdy, jestliže analytické řešení obsahuje obtížnější matematické metody, pro žáky na střední škole neosvojitelné. Z didaktického hlediska jsou znalost metody a její používání vhodné pro kontrolu např. rozsáhlejších vztahů, které se špatně pamatují. V řadě případů je tato metoda mnohem rychlejší než zdoluhavé odvozování. Výstižně v [1] Kvasnica uvádí: „*Rozvoji a procvičení fyzikální argumentace mohou vhodně napomoci i úvahy o rozměrové struktuře fyzikálních vzorců.*“ Vybrané příklady možného použití rozměrové analýzy ve výuce fyziky na základních a středních školách u nás jsou shrnuty a klasifikovány např. v [2], astrofyzikální uplatnění zmiňované metody na středních školách je rozebíráno příkladně v [3]. Právě astrofyzika poskytuje zajímavé a vděčné náměty, proto v článku čtyři vybrané připomeneme.

Astrofyzikální souvislosti vzájemných vztahů charakteristik hvězd, například hmotnosti, poloměru a zářivého výkonu respektive vybraných parametrů lze zjišťovat prostřednictvím matematického zpracování údajů z pozorování, jestliže máme shromážděn dostatečně rozsáhlý statistický materiál. Druhou možností je použití teoretických úvah, pokud známe astrofyzikální procesy ležící v základech zkoumaného jevu. Pozorovacích údajů však může být málo či astrofyzikální podstata jevů nemusí být zcela vyjas-

něna. V posledně zmiňované situaci se nacházela astrofyzika ve dvacátých a třicátých letech minulého století, kdy byla metoda rozměrové analýzy v kombinaci s metodou fyzikální podobnosti úspěšně použita ke studiu zákonitostí stavby nitra hvězd či pulsací proměnných hvězd, jak je podrobněji popisováno v [4], [5]. Její aplikace pomohla odhalit řadu astrofyzikálních zákonitostí až mnohem později zachycených analyticky.

Vraťme se k výkladu použití rozměrové analýzy ve fyzikální výuce na střední škole, kde je zpravidla uváděna tradičním řešením úlohy – hledání vztahu pro dobu kmitu kyvadla. Obdobně lze v astrofyzikální výuce začínat problematikou pulsací hvězd. Analogicky jako u kyvadla vycházíme z předpokladu malých amplitud pulsací hvězd, tj. zkoumáme lineární pulsace. Připomínám, že observačně zjištěná amplituda kmitů zpravidla nepřesahuje asi 10 %. Pulsace představují periodické smršťování a rozšiřování poloměru hvězd, při kterých zjednodušeně předpokládáme jejich radiální sféricko-symetrický průběh. Fyzikální podstata obou analyzovaných jevů – kmitání kyvadla či pulsace hvězd jsou stejné. Jde o mechanické pohyby v gravitačním poli, odpovídající nevelkým odchylkám od rovnovážného stavu, v případě hvězd popisovaného rovnicí hydrostatické rovnováhy. Základním parametrem zachycujícím pulsace hvězd je jejich doba kmitu, v astrofyzice hovoříme o periodě vlastních kmitů T . Položme si otázku na čem závisí?

Z astrofyzikálního hlediska bude závislá na přitažlivosti charakterizované gravitační konstantou G , dále lze předpokládat závislost na parametrech respektive charakteristikách hvězd, hustotě ρ (při vyloučení hmotnosti M dosazením $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$ a poloměru R . Při hledání závislosti periody pulsace vyjdeme z předpokladu, že $T \sim G, \rho, R$. Platí $T \sim G^x \rho^y R^z$, rozměr jednotlivých parametrů je $[T] = \text{s}$, $[G] = \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, $[\rho] = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $[R] = \text{m}$. Porovnáním rozměrů levé a pravé části vztahu obdržíme $s = \text{m}^{3x} \cdot \text{kg}^{-x} \cdot \text{s}^{-2x} \cdot \text{kg}^y \cdot \text{m}^{-3y} \cdot \text{m}^z$. K platnosti rozměrové rovnice musejí být splněny algebraické rovnice:

$$[\text{s}] \quad 1 = -2x$$

$$[\text{m}] \quad 0 = 3x - 3y + z$$

$$[\text{kg}] \quad 0 = -x + y$$

Jejich řešením dostaneme $x = -\frac{1}{2}$, $y = -\frac{1}{2}$, $z = 0$. Po úpravě a dosazení získáme závislost pro periodu pulsací hvězd $T \sim (G\rho)^{-\frac{1}{2}}$, kterou obvykle

upravujeme na vztah $T\rho^{\frac{1}{2}} = \text{konst.}$ Perioda závisí na hustotě hvězdy, jak v původním teoretickém historickém odvození dokázal *Eddington* na základě termodynamických úvah v [6]. Čím je větší hustota hvězdy, tím je kratší perioda pulsací, což potvrzují astronomická pozorování, miridy s nízkou hustotou se vyznačují periodami pulsací stovky dnů, zatímco naopak periody u bílých trpaslíků o vysoké hustotě jsou menší než hodinu.

Poznámka: Uvedený vztah $T \sim (G\rho)^{\frac{1}{2}}$ je charakteristický pro každý astrofyzikální objekt, udává časovou škálu procesů spojených s expanzí, kolapsem, pulsací atd. v situacích, kdy je dominující gravitační síla. V závislosti na hustotě je časová škála milisekundy, hodiny, roky, miliony až miliardy roků.

K obdrženímu vztahu pro periodu lze dospět rovněž úvahou o analogii kmitů kyvadla a plynné (přesněji plazmové) koule. Zkoumejme periodu T pulsace plynné koule s poloměrem R a hmotností M pulsující v důsledku vlastní gravitační síly. Připomínáme Huygensem nalezený vztah pro periodu kmitání matematického kyvadla

$$T = 2\pi \left(\frac{l}{g} \right)^{\frac{1}{2}},$$

kde T je perioda kmitání, l délka kyvadla a g tíhové zrychlení.

Uvedený vztah platí univerzálně, při hledání periody kmitání v jiných případech pouze místo délky l použijeme ekvivalentní veličinu. Přijmeme délku kyvadla l rovnou poloměru hvězdy R a tíhové zrychlení $g = G \frac{M}{R^2}$. Dosazením do původního vzorce dostaneme

$$T = 2\pi \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{\frac{1}{2}},$$

což lze při $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$ dále upravit na

$$T\rho^{\frac{1}{2}} = 2\pi \left(\frac{3}{4\pi g} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3\pi}{G} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{konst.}$$

Vztah zachycuje pulsace plynné koule ve vlastním gravitačním poli. Ve skutečnosti pulsace vyvolávají pouze podpovrchové vrstvy, tedy l není rovno R , nýbrž je menší, což vede ke zmenšení konstanty v posledně uvedeném vztahu. Ten platí přibližně pro všechny typy pulsujících proměnných hvězd.

Při přihlédnutí k tloušťce pulsujících vrstev a rozdělení hustoty v nitru hvězd získáme upřesněný vztah

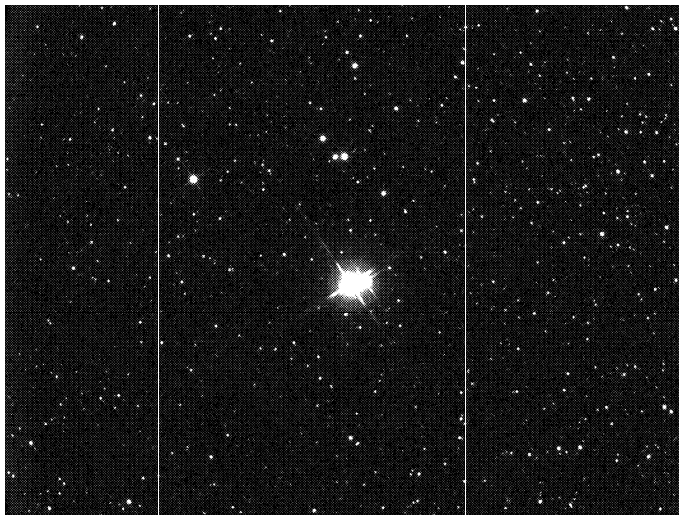
$$T \varrho^{\frac{1}{2}} = 0,026 \left(\frac{R}{R_S} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{M_S}{M} \right)^{\frac{1}{4}}.$$

Odtud určíme závislost periody pulsace hvězd na jejich tíhovém zrychlení a hmotnosti

$$T = 0,022 \left(\frac{g_S}{g} \right)^{\frac{7}{8}} \left(\frac{M_S}{M} \right)^{\frac{1}{8}}.$$

Perioda pulsujících hvězd je určována především tíhovým zrychlením na jejich povrchu, což potvrzuje námi již uvedený poznatek, že kmitají převážně povrchové vrstvy hvězd. Relativní amplituda kmitů je u povrchu mnohem větší než ve středu hvězdy, pulsace jsou nehomologické. Příčinou vzniku pulsací jsou ionizační změny ve vrstvách helia II $\leftrightarrow$ helia III při teplotách $4 \cdot 10^4$ K nacházející se ve hloubkách do 0,1 poloměru hvězdy, které způsobují změnu neprůzračnosti vrstev.

Výše uvedené závěry a vztahy platí pro tzv. klasické cefeidy s periodami (2 – 35) dnů, příkladem je hvězda δ Cephei s periodou 5,3 dne (obr. 1).



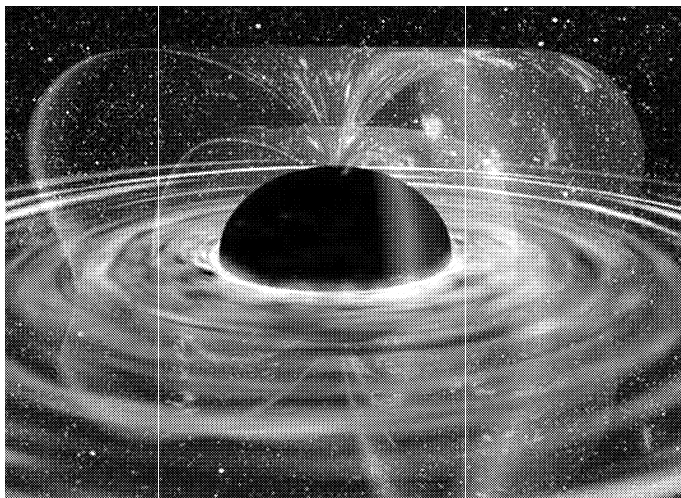
Obr. 1

Druhou aplikací metody rozměrové analýzy je odvození vztahu pro tlak v nitru hvězd. Ty jsou gravitačně vázanými tělesy, tlak bude záviset na gravitační konstantě G , hmotnosti hvězdy M a poloměru R . Platí tudíž $p \sim G^x \cdot M^y \cdot R^z$, vyjádříme rozměry parametrů v uvedeném vztahu, $[p] = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, $[G] = \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, $[M] = \text{kg}$, $[R] = \text{m}$. Srovnáním rozměrů levé a pravé části obdržíme $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = \text{m}^{3x} \cdot \text{kg}^{-2x} \cdot \text{s}^{-2x} \cdot \text{kg}^y \cdot \text{m}^z$. K platnosti rozměrové rovnice musí být splněny algebraické rovnice:

$$\begin{array}{ll} [\text{kg}] & 1 = -x + y, \\ [\text{m}] & 1 = 3x + z, \\ [\text{s}] & -2 = -2x. \end{array}$$

Jejich řešením dospíváme k hodnotám $x = 1$, $y = 2$, $z = -4$. Zpětným dosazením obdržíme $p \sim G \frac{M^2}{R^4}$. Tlak v nitru hvězd závisí na hmotnosti a poloměru hvězd.

Další aplikaci rozměrové analýzy spojujeme s astrofyzikálně exotickými objekty - černými děrami (obr. 2), zpracováno podle [7]. Nechť A je plocha horizontu událostí. Vyjádříme ji pomocí konstant G , c a hmotnosti černé díry M . Platí vztah $A \sim G^x c^y M^z$. Rozměr jednotlivých parametrů je



Obr. 2

$[A] = m^2$, $[G] = m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$, $[c] = m \cdot s^{-1}$, $[M] = kg$. Srovnáním rozměrů levé a pravé části vztahu obdržíme $m^2 = m^{3x} \cdot kg^{-x} \cdot s^{-2x} \cdot m^y \cdot s^{-y} \cdot kg^z$. K platnosti rozměrové rovnice musí být splněny podmínky algebraických rovnic:

$$\begin{aligned} [m] \quad 2 &= 3x + y \\ [kg] \quad 0 &= -x + z \\ [s] \quad 0 &= -2x - y \end{aligned}$$

Řešením rovnic obdržíme $x = 2$, $y = -4$, $z = 2$, hledaný vztah má tvar $A \sim G^2 c^4 m^2$.

Předpokládejme, že plocha povrchu černé díry odpovídá ploše horizontu událostí. V roce 1971 *Hawking* v [8] na základě úvah vyplývajících z obecné teorie relativity dospěl k závěru, že plocha horizontu událostí černé díry se při libovolných klasických procesech nemůže zmenšovat, tj. chová se jako entropie, $\Delta A \geq 0$. Platí tvrzení analogické druhému zákonu termodynamiky konstatujícímu, že celková entropie uzavřeného systému se nezmenšuje. *Bekenstein* [9] formuloval názor, že entropie černé díry je úměrná ploše jejího povrchu, $S = \eta A$. Při znalosti rozměru entropie $[S] = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$ vyjádřete prostřednictvím konstant c , G , h a k o rozměrech:

$$\begin{aligned} [c] &= m \cdot s^{-1} \\ [G] &= m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \\ [h] &= kg \cdot m^2 \cdot s^{-1} \\ [k] &= kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \end{aligned}$$

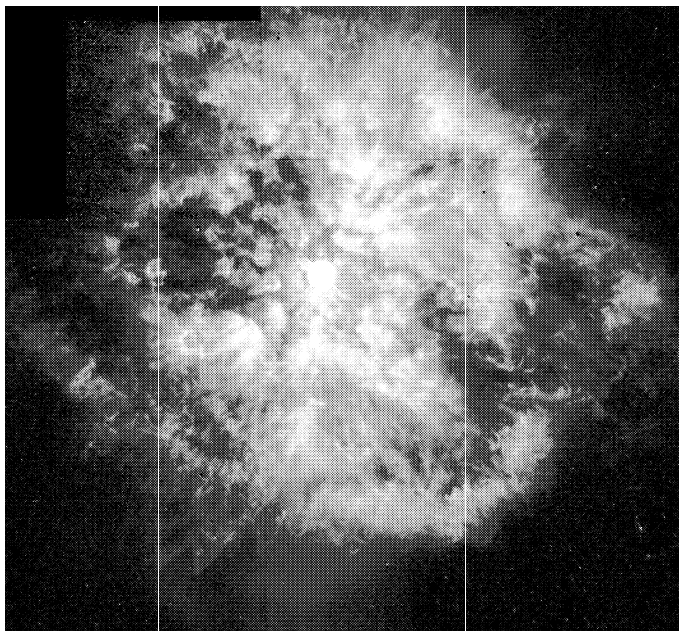
Úpravou obdržíme $\eta = \frac{S}{A}$, $[\eta] = kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$. Platí $\eta \sim c^x G^y h^z k^w$. Srovnáním rozměrů levé a pravé části máme:

$$kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} = m^x \cdot s^{-x} \cdot m^{3y} \cdot kg^{-y} \cdot s^{-2y} \cdot kg^z \cdot m^{2z} \cdot s^{-z} \cdot kg^w \cdot m^{2w} \cdot s^{-2w} \cdot K^{-w}$$

K platnosti rozměrové rovnice musí být splněny podmínky algebraických rovnic:

$$\begin{aligned} [m] \quad 0 &= x + 3y + 2z + 2w \\ [s] \quad -2 &= -x - 2y - z - 2w \\ [kg] \quad 1 &= -y + z + w \\ [K] \quad -1 &= -w \end{aligned}$$

Řešením systému obdržíme $x = 3$, $y = -1$, $z = -1$, $w = 1$. Odtud pro $\eta = \frac{c^3 k}{G h}$, tedy platí $S = \frac{c^3 k}{G H} A$. Až na numerický faktor jde o stejný vztah, který obdržel v původním historickém odvození [9] Bekenstein.



Obr. 3

Poslední aplikace metody rozměrové analýzy v našem článku je na problematiku hvězdného větru u horkých hvězd, námět zpracován podle [10]. Hledejme vztah pro závislost poloměru R rozšiřující se sférické husté obálky při působení hvězdného větru. Na obr. 3 pozorujeme hvězdný vítr od Wolfovy – Rayetovy hvězdy o povrchové teplotě 50 000 K. Předpokládáme, že platí $R \sim L^a \varrho_0^b t^c$, kde L nazýváme kinetický zářivý výkon hvězdného větru. Rozměr jednotlivých parametrů je $[R] = \text{m}$, $[L] = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$, $[\varrho_0] = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $[t] = \text{s}$. Srovnáním rozměrů levé a pravé části vztahu obdržíme:

$$\text{m} = \text{m}^{2a} \cdot \text{kg}^a \cdot \text{s}^{-3a} \cdot \text{kg}^b \cdot \text{m}^{-3b} \cdot \text{s}^c$$

K platnosti rozměrové rovnice musí být splněny podmínky algebraických rovnic:

$$[\text{m}] \quad 1 = 2a - 3b$$

$$[\text{kg}] \quad 0 = a + b$$

$$[\text{s}] \quad 0 = -3a + c$$

Řešením rovnic obdržíme $a = \frac{1}{5}$, $b = -\frac{1}{5}$, $c = \frac{3}{5}$, hledaná závislost má tvar $R \sim \left(\frac{L}{\varrho_0}\right)^{\frac{1}{5}} t^{\frac{3}{5}}$, což odpovídá vztahu uvedenému v [11].

Uvedené ukázky používání metody rozměrové analýzy lze zařadit do astrofyzikální výuky na středních školách. Jejich cílem je nejen podpora potřebného rozvoje fyzikálního myšlení žáků ale rovněž vytvoření základních představ o fyzikální podstatě i vzdálených exotických kosmických těles a jevech s nimi souvisejících. Realizace metody umožňuje procvičování matematiky, nepopulárních algebraických úprav při řešení soustav lineárních rovnic.

L i t e r a t u r a

- [1] *Kvasnica, J.*: Matematika ve středoškolské fyzice. I. Setkání učitelů fyziky ze všech typů škol. JČMF, Brno, 1989.
- [2] *Janoušová, J.*: Rozměrová analýza a její využití. Diplomová práce. PeF ZČU, Plzeň, 1992.
- [3] *Domanski, J. – Štefl, V.*: Analiza wymiarowa w nauczaniu fizyki z astronomia. Fizyka w Szkole vol. 43 (1997), no. 2, s. 116.
- [4] *Schwarzschild, M.*: Structure and Evolution of the Stars. Princeton University Press, Princeton 1958.
- [5] *Kurth, R.*: Dimensional Analysis and Group Theory in Astrophysics. Pergamon Press, Oxford 1972.
- [6] *Eddington, A. S.*: On the Pulsations of a Gaseous Star and the Problem of the Cepheid Variables. Mon. Not. Astron. Soc. 79, (1918), p. 2.
- [7] *Pathak, P. – Uppal, V. – Singh, V. A.*: Exploring Black Hole Physics via Dimensional Analysis. Resonance 13 (2008), p. 475.
- [8] *Hawking, S.*: Gravitational radiation from colliding black holes. Phys. Rev. Lett., 26, (1971), p. 1344.
- [9] *Bekenstein, J.*: Black holes and entropy. Phys. Rev. D, 7, (1973), p. 2333.
- [10] *Silič, S.*: Mezzvezdnyje puzyri. Kvant 1996, no. 6, s. 10.
- [11] *Lamers, H. J. G. L. M., Cassinelli, J. P.*: Introduction to Stellar Winds. Cambridge University Press, Cambridge 1999.

Světlovodná vlákna a optoelektronické prvky předmětem Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2009

LUBOMÍR SODOMKA

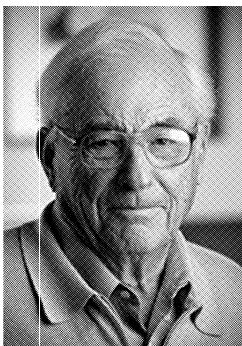
Adhesiv, TUL Liberec

1. Úvod

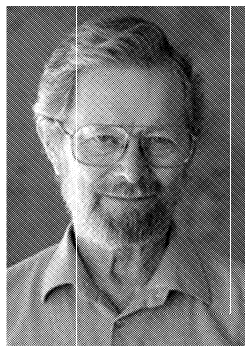
Nobelovu cenu za fyziku získali v roce 2009 *Charles K. Kao*, *Willard S. Boyle* a *George E. Smith*. První z nich získal polovinu ceny, druzí dva po jedné čtvrtině. Nobelův výbor zdůvodnil udělení ceny takto: Kaovi za průkopnické vylepšení možnosti přenosu světla vlákny pro optické spojení, Boyleovi a Smithovi za objev obrazových polovodičových obvodů, tzv. CCD senzorů.



Charles K. Kao



Willard S. Boyle



George E. Smith

Vzhledem k tomu, že tyto objevy byly učiněny již téměř před 40 lety a jejich aplikace se staly již po dlouhou dobu součástí běžného života, zdá se současníkům udělení ceny za tyto vynálezy anachronické a pro některé jako aplikační. Konec konců není to poprvé, kdy byly uděleny ceny s takovým zpožděním. Jako příklady lze uvést objev elektronového mikroskopu

(1936), kdy *G. Ruska* se dočkal NC za fyziku spolu s objeviteli tunelového řádkovacího mikroskopu *G. Binnigem* a *H. Rohrerem* až v roce 1986, tedy po 50 letech a *P. Kapica* za objev supratekutosti po 49 letech v roce 1978. Současní laureáti mají nevýhodu, že od jejich objevu došlo k tak výrazným a všeobecným aplikacím jejich objevu v telekomunikačních spojích k přenosu obrazu, v digitálních systémech jako jsou mobilní telefony, internet, digitální fotografie apod. Poněvadž technologie těchto komunikačních prvků probíhá v atomovém měřítku, je zvykem od roku 1959 na návrh nositele NC pro rok 1965 *R. P. Feynmana* nazývat tyto technologie nanotechnologie. Do nanotechnologie patří jak světlovodivá vlákna, tak i CCD senzory.

2. Podstata světlovodných vláken a jejich využití

Myšlenka nahradit elektrovodivé dráty opticky vodivými sklovými vlákny vznikla již kolem roku 1920. Svůj základ však měla jak v teorii tak i v praxi mnohem dříve. Vedením světla v materiálech se začali vědci zabývat již v 19. století. (*D. Colladon* – 1841, *J. Babinet*, *J. Tyndall* – 1854, *M. Faraday*, *G. A. Bell* – 1880 a řada dalších).

Průlom ve využití světlovodivých vláken v telekomunikaci nastal v roce 1950. V té době bylo již zřejmé, že je třeba nahradit přenos informací pomocí elektronů v kovových vodičích přenosem užitím fotonů, nejlépe světelných ve sklových optických vláknech. K tomu bylo třeba zajistit, aby

1. světlo neopouštělo rozptylem světlovodná vlákna,
2. světelné ztráty byly nízké a světlo se mohlo šířit na dlouhé vzdálenosti, tj. aby součinitel absorpce α světla o intenzitě I na délce L byl co nejmenší. Součinitel α je definován vztahem odvozeným z Lambertova-Beerova absorpčního zákona [6]

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \frac{I(0)}{I(L)},$$

kde $I(0)$ je intenzita záření pro $L = 0$. Součinitel je vyjadřován v jednotkách dB/m.

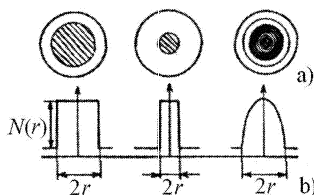
Podmínku 1. je možné splnit velkým mezním úhlem materiálu vláken, podmínku 2. malou hodnotou součinitele absorpce α .

K realizaci přenosu informací na dlouhé vzdálenosti přispěly ještě dva významné objevy, a to laserů (*Townes*, *Basov*, *Prochorov* NC 1964) a po-

lovodičových heterostruktur (*Alferov, Kroemer* NC 2000). V současnosti je dokonce možné vytvořit laserový zdroj přímo ve vláknech [7].

Použití skleněného vlákna jako přenosové prostředí ve vláknových světlovodech ztěžoval v počátcích této nové technologie velmi silný útlum, který se zdál nepřekonatelný. Světelné ztráty jsou dány rozptylem a absorpcí světla ve skleněných vláknech. Původní ztráty ve skleněných světlovodech činily z počátku $1\,000\text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. V roce 1966 provedli K. C. Kao a G. A. Hockham rozbor mechanismů optické absorpce ve sklech a zjistili, že jsou převážně způsobeny příměsemi některých přechodových prvků, zvláště železa.

Má-li být přenos světla světlovodem, který je tvořen skleněným vláknem, omezený na vnitřek vlákna, musí světlo dopadat na povrch vlákna z jeho vnitřku pod úhlem větším, než je mezní úhel, což je podmínka úplného odrazu. Podmínku úplného odrazu paprsku ve vlákně je možné řešit tak, že vlákno má jádro, jehož index lomu je větší než index lomu jeho pláště. Světlovodná vlákna mají tedy různý index lomu v závislosti na vzdálenosti od středu vlákna. Vlákna jednovidová, která přenášejí pouze jeden světelný mod, mají jádro o menším průměru ($5\text{ }\mu\text{m}$ až $10\text{ }\mu\text{m}$) než jádra mnohavidová (několik stovek μm). Rovněž i rozdíl indexů lomu jádra a pláště je obvykle pro jednovidové světlovody nižší (několik desetin procenta) než pro mnohavidové (1 % až 2 %). Průběh indexu lomu v profilu vlákna může být skokový nebo gradientový, který tvoří často parabolický profil, jak je znázorněno na obr. 1. Gradientový profil zvyšuje podmínky samofokusace.



Obr. 1 a) Různé struktury skleněných vláken, b) průběh indexu lomu $N(r)$ v profilu vlákna v závislosti na poloměru vlákna r

U světlovodných vláken jsou kladeny náročné požadavky jak na jejich vlastnosti optické, tak i mechanické. Světlovodná vlákna se chrání před poškozením pláštěm z polymerů o tloušťce několika jednotek až desítek μm . Světlovodná vlákna se spojují do optických kabelů složité konstrukce.

Požaduje se, aby pevnost světlovodných vláken byla vyšší než 1 GPa, což je hodnota dostatečná pro výrobu kabelů. Předností těchto kabelů je také to, že jsou imunní vůči elektromagnetickému rušení a nelze odposlouchávat signály, které jsou optickým kabelem přenášeny.

Využití světlovodných vláken je mnohostranné. Nejčastěji se uplatňují jako přenosové médium v optických komunikačních systémech. Od přenosových systémů první generace s rychlostí přenosů $1 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ se přechází k systémům druhé generace, které znamenají revoluční změnu zejména v oblasti dálkových spojů. Např. v roce 1998 byl realizován první transatlantický optický datový spoj TAT-8 mezi Francií, Anglií a USA o kapacitě 296,6 Mb/s, což je ekvivalent 40 tisíc telefonních hovorů. V roce 2001 byl tento kabel nahrazen modernějším, jehož kapacita je již 640 Gb/s.

Nízkoútlumové světlovody je možné dále využít jako čidla akustických vln, rotace a teploty. Další možnost použití vláknových světlovodů je při studiu jevů nelineární optiky. Perspektivní je i možnost přípravy laditelných laserů přímo ve světlovodech a generování ultrakrátkých světelných pulsů.

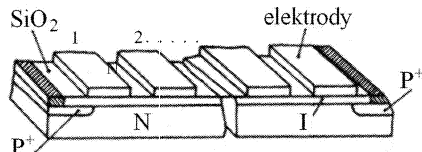
3. Podstata CCD senzorů

Druhá polovina Nobelovy ceny za fyziku byla udělena za vysoce integrovaný optoelektronický prvek označovaný jako CCD senzor. Fyzikální podstatu těchto prvků nyní uvedeme.

Nábojově vázané prvky s mezinárodním označením CCD (akronym z angl. *Charge Coupled Device*) jsou poměrně mladé polovodičové struktury vysokého stupně integrace ($10^3 \text{ bitů} \cdot \text{mm}^{-2}$). Objev těchto prvků se přisuzuje W. S. Boyleovi a G. E. Smithovi (1970). Vznikl při studiu vrstevných struktur MOS (kov-oxid-polovodič) a MIS (kov-izolant-polovodič). Tyto vrstevné struktury jsou vytvořeny na základní polovodičové destičce – čipu. Uvedme příklad takové CCD struktury založené na vrstvách typu MIS. Polovodičová destička nechť je typu N. Na ni je nanášena vrstva dielektrika oxidu křemičitého a na ni pak kovové elektrody buď lineárně nebo maticově, jak to znázorňuje obr. 2.

Náboje, které plní ve struktuře CCD funkci záznamu, můžeme zavést do struktury buď přechodem PN, který je vytvořen v blízkosti krajního článku CCD, nebo ozářením. Vyvedení náboje ze struktury (čtení) je rovněž nejjednodušší pomocí přechodu PN, např. u elektrody N na obr. 2. Mezi důležité funkční vlastnosti struktur CCD patří možnost zachování nábojové informace, jejího řízeného předávání ve struktuře, možnost pře-

měny světelného toku na elektrický (optoelektronika) a jeho následné čtení. Předností je i malá spotřeba při přenosu informace, která činí (5 až 10) $\mu\text{W} \cdot \text{bit}^{-1}$ a vysoká rychlost při jejím předávání (až do několika GHz).



Obr. 2 Struktura prvků CCD

Se senzory CCD se nejčastěji setkáváme v digitálních fotoaparátech a kamerách. V nich je optický obraz promítán čočkou na plochu senzoru a v jeho struktuře se přemění jednotlivé obrazové body (pixely) na elektrický signál v podobě elektrických nábojů. Tyto náboje jsou vázány v elektricky izolované struktuře čipu, neodtékají okamžitě do vnějšího obvodu, ale setrvávají v nábojových zásobnících. Po uzavření závěrky fotoaparátu jsou náboje postupně odváděny a pomocí mikroprocesoru jsou upraveny do některého grafického formátu používaného pro záznam obrazových dat (např. JPG nebo TIF). Následně je zpracovaný obraz uložen do paměťové karty fotoaparátu.

Význam optických světlovodů a CCD senzorů byl prověřen využíváním téměř 40 let a lze konstatovat, že udělení NC za tyto objevy jsou oprávněné.

4. O laureátech NC za fyziku pro rok 2009

C. K. Kao se narodil v roce 1933 v čínském Šanghaji. Doktorský titul Ph.D. získal v oboru elektrotechnického inženýrství na Londýnské univerzitě, v oboru fyzika v roce 1950 na Mc Gillově univerzitě ve Velké Británii. Pak se stal ředitelem laboratoří inženýrství telekomunikačních standardů v Harlowu (UK). Současně je také prorektorem Čínské univerzity v Hong Kongu. V důchodu je od roku 1996. Má britské a USA občanství.

W. S. Boyle se narodil se v roce 1924 v Amherstu (Kanada). Doktorát z fyziky získal v roce 1950 na McGillově univerzitě v Kanadě. Působil jako výkonný ředitel v oddělení vědeckých komunikací v Bellových laboratořích v Murray Hill (USA). V důchodu je od roku 1979.

G. E. Smith se narodil v roce 1930 ve White Plains (USA). Doktorát Ph.D. z fyziky získal v roce 1959 na Chicagské univerzitě. Pak se stal vedoucím výzkumu přístrojové laboratoře v Bellových laboratořích v Murrey Hill. V důchodu je od roku 1986.

O jednotlivých NC a případně o tzv. nobelovských přednáškách laureátů lze nalézt podrobnosti v [8].

5. Ostatní NC pro rok 2009

I když se zdá fyzika nadřazená ostatním přírodovědným vědám jako je chemie a biologie, současné výzkumy ukazují, že po dlouhodobém rozdělení těchto věd dochází k jejich integraci, že je někdy obtížné objevy na NC zařadit do některé z těchto věd, jak názorně ukazují právě objevy na NC pro rok 2009. Proto uvedeme krátce i NC za chemii a fyziologii a medicínu.

NC za chemii

V roce 2009 NC obdrželi *Venkatraman Ramakrishnan* z Británie, *Thomas A. Steitz*, USA a *Ada E. Yonathová*, USA za studie struktury a funkce ribosomů. Zjistili, jak se přenáší informace z jazyka DNA/RNA překladem na tvorbu proteinů (bílkovin) v ribosomech, významných částech stavby buněk.

NC za fyziologii a medicínu

O NC za fyziologii a medicínu se podělily rovným dílem tři ženy z USA, a to *E. H. Blackburnová*, *C. W. Greiderová* a *J. W. Szostaková*. NC byla udělená za objev ochrany chromozomů prostřednictvím telomer a objev enzymu telomerázy.

U obou NC je patrné, že jde o velmi blízká témata, což svědčí o sblížování přírodovědných oborů a postupné integraci těchto věd.

L i t e r a t u r a

- [1] *Sodomka, L., Sodomková, Mag.*: Nobelovy ceny za fyziku. SetOut Praha 1997.
- [2] *Sodomka, L., et al.*: Kronika Nobelových cen I,II. Adhesiv, Liberec 2002.
- [3] *Sodomka, L., et al.*: Kronika Nobelových cen . Knižní Klub Praha 2004.
- [4] *Weinlich, R.*: Laureáti Nobelovy ceny za fyziku. Alda Olomouc 1998.
- [5] *Sodomka, L., Fiala, J.*: Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi 1, 2. Adhesiv Liberec 2002, 2003.
- [6] *Sodomka, L.*: Základy fyziky pro aplikace 1, 2, 3 Adhesiv Liberec 2009 na CD.
- [7] *Sodomka, L.*: Zvláknění nanovláken nehomogenním elektrostatickým polem. Ru-kopis.
- [8] http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/