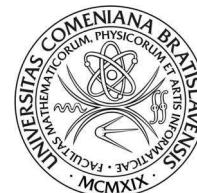




Univerzita Komenského v Bratislavě
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky



RNDr. Aleš Trojánek

Autoreferát disertační práce

Fyzika mikrosvěta aktivně

na získání akademického titulu *philosophiae doctor*
v oboru doktorandského studia: 4.1.13. Teorie vyučování fyziky

Bratislava 2011

Disertační práce byla vypracována v externí formě doktorandského studia na Fakultě matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislavě.

Předkladatel: RNDr. Aleš Trojánek
Gymnázium Velké Meziříčí
Sokolovská 235/27
594 01 Velké Meziříčí
Česká republika

Školitel: Prof. RNDr. Ján Pišút, DrSc.
Katedra teoretické fyziky a didaktiky fyziky
FMFI Univerzity Komenského v Bratislavě

Oponenti:
.....
.....
.....

(jméno a příjmení oponenta s uvedením jeho titulů a hodností a název pracoviště, u kterého je oponent v pracovním poměru)

Obhajoba disertační práce se koná ve h

před komisí pro obhajobu disertační práce v oboru doktorandského studia jmenovanou dne předsedkyní oborové komise 4.1.13. Teorie vyučování fyziky na Katedře teoretické fyziky a didaktiky fyziky FMFI UK v Bratislavě.

Předsedkyně oborové komise:
Prof. RNDr. Anna Dubničková, DrSc.
Katedra teoretické fyziky a didaktiky fyziky
FMFI UK v Bratislavě
842 48 Bratislava

1. Úvod

“Kvantová teorie je nepochybně jedním z velkých úspěchů kultury dvacátého století. Je příliš významná na to, aby zůstala pouze hájemstvím a potěšením profesionálních fyziků. Proto jsem se pokusil napsat o ní způsobem, který by byl přístupný a srozumitelný pro kohokoli s přiměřenou dávkou inteligence a trpělivosti, kdo je připraven nelitovat námahy a pustit se do toho. ...”

John Polkinghorne v knize Kvantový svět [9]

Slova J. Polkinghorna v úvodu populární knížky o kvantové teorii dobře vystihují i důvod a motivaci pro tvorbu disertační práce. Vzpomínám, že až na univerzitě v kurzu kvantové mechaniky a samostatným studiem příslušným knih jsem se jako řada jiných studentů dozvídal, že „všechno je jinak“, že jsou možné na první pohled podivné věci a že platí (a jsou ověřovány) jiné zákonitosti, než na jaké jsme byli zvyklí. Zažíval jsem radost z poznání, byť schopnost porozumět všem myšlenkám byla (a je) omezená. Právě umožnit zažívat tuto radost z poznání zákonitostí světa jader, atomů a molekul svým gymnaziálním žákům bylo a zůstává mou snahou po celou dobu působení na gymnáziu. Proto jsem rád využil možnosti pracovat pod vedením prof. RNDr. Jána Pišúta, DrSc., který byl a je průkopníkem zavádění výuky moderní fyziky do gymnaziální výuky po stránce obsahové i volbou nových postupů.

Disertační práce se tedy zabývá výukou fyziky mikrosvěta na gymnáziu. Konkrétní cíle práce a hypotézy výzkumu, jakož i posouzení výsledků jsou obsahem následujících kapitol.

2. Cíl práce, hypotézy výzkumu a výsledky práce

***Hlavním cílem** práce bylo vytvořit a ověřit gymnaziální kurz „Fyzika mikrosvěta aktivně“ (FMA). Tento kurz by měl být zpracován tak, aby žáci gymnázia po jeho absolvování získali potřebné vědomosti a dovednosti, ale aby byli také schopni se obecně kvalitativně orientovat v problematice, která souvisí s obsahem kurzu a zaujímat poučené postoje ve společenských otázkách (referendum, rozhodnutí v komunální i celostátní politice). Navíc by je měl kurz bavit a zajímat, nebo alespoň příliš nenudit a neotrávit jim konec studia na gymnáziu. Součástí výuky je pro zájemce absolvování atraktivních laboratorních prací (prvek badatelsky orientované výuky) a pro všechny pak vyřešení úloh v „testu typu PISA“ a vyplnění stručného dotazníku.*

O míře splnění hlavního cíle je pojednáno dále (viz dílčí cíl č. 3 a ověření hypotéz).

Dílčí cíle :

1. *Stručně uvést a analyzovat zavádění prvků kvantové (moderní) fyziky do výuky fyziky či obecně přírodovědných předmětů zejména na středních školách v nedávné minulosti až po současnost u nás i ve světě. Poukázat na důvody, postupy a výsledky těchto reformních aktivit.*

Tento cíl byl splněn uvedením a stručným posouzením několika hlavních prací, aktivit či kurzů, které byly vytvořeny v průběhu druhé poloviny 20. století a začátkem 21. století. Jednalo se o aktivity zahraniční i domácí – viz např. v přehledu literatury [1-5], [7], [26], [28-30].

2. *Stručně představit alespoň jednu současnou učebnici fyziky a posoudit i populárně vědecké texty z hlediska nových metodických postupů ve výkladu zákonitostí mikrosvěta, z hlediska vzbuzení zájmu o problematiku, z hlediska obtížnosti a přijatelného zjednodušení apod.*

Byla prostudována a posouzena řada populárně vědeckých publikací, které vyšly v uplynulých několika letech. Viz např. [8-25]. Autory populárně vědeckých knížek jsou v mnoha případech renomovaní vědci, kteří mají velký nadhled nad zpracovávanou problematikou. Některé postupy výkladu, analogie a přirovnání se staly inspirací pro vlastní text FMA.

Velkou inspirací pro fyzikální vzdělávání u nás může být anglický kurz fyziky Advancing Physics AS, A2 [31]. Bylo by velmi žádoucí tento obsahem i zpracováním moderní kurz přeložit (např. v rámci nějakého projektu) a dát ho k dispozici učitelům i žákům jako alternativní učební text. Za výrazný počin, který pozitivně ovlivňuje fyzikální vzdělávání na různých stupních škol v ČR, považují překlad známé vysokoškolské učebnice obecné fyziky [27].

3. Vytvořit či zajistit jednotlivé části kurzu FMA.

Byl vytvořen a barevně vytištěn učební text FMA v takovém množství, že všichni žáci jej měli k dispozici. Podle tohoto textu probíhala výuka ve dvou třídách ve dvou po sobě následujících školních rocích (2009/2010, 2010/2011) na Gymnáziu Velké Meziříčí. Původní verze byla postupně na základě připomínek školitele, kolegů a na základě zkušeností z výuky upravována.

Ve školním roce 2010/2011 bylo na Gymnázium Velké Meziříčí převezeno z ÚTF FSI VUT v Brně Středoškolské fyzikální exploratorium – soubor několika úloh, které obsahovaly základní experimenty kvantové fyziky i moderní zobrazovací techniky (AFM, STM). Společně s aparaturou přijeli i pracovníci či studenti z ÚTF a byli po celou dobu (3 dny v březnu 2011) k dispozici svou radou a pomocí. Zájemci (žáci, kteří si vybrali jako volitelný předmět Fyzikální seminář) dostali předem návody na jednotlivé úlohy a byly jim ve výuce podány podrobnější informace. Během jednoho odpoledne jednotlivé dvojice žáků „naměřily“ vždy dvě úlohy a seznámily se s ostatními. Dva protokoly z těchto laboratorních prací jsou součástí disertační práce. Žáci velmi oceňovali, že měli možnost absolvovat exploratorium.

Podle vzoru testů PISA a s užitím [6] byl sestaven, vyzkoušen a vyhodnocen test s problematikou fyziky mikrosvěta. Původní verze byla upravena pro následující školní rok. Zhodnocení úspěšnosti testu je uvedeno v disertační práci a také níže při ověření hypotéz.

Žákům 8. A (školní rok 2010/2011) byl zadán dotazník, který je v příloze disertační práce. Dotazník vyplnilo 21 žáků z 24 přítomných. Poznatky z něho sloužily při ověřování hypotéz:

H1: *I v současné situaci částečného odklonu společnosti od přírodních věd a matematiky je možné vzbudit opravdový zájem o fyziku nejen u vybraných žáků gymnázia, ale u většiny v dané třídě. Žáci maturitního ročníku mohou absolvovat kurz (výuku) „Fyziky mikrosvěta aktivně“, aniž by měli pocit, že „to“ nepotřebují, či, že se měli věnovat radši studiu jiného (maturitního) předmětu.*

Na základě výsledků dotazníkového šetření můžeme usoudit, že hypotéza byla potvrzena:

- **Absolvování kurzu považují pro sebe za užitečné a přínosné a nemám pocit, že jeho absolvování bylo zbytečné:**

určitě souhlasím: **6 žáků**, souhlasím: **13 žáků**, nesouhlasím: **nikdo**, určitě nesouhlasím: **2 žáci**

- **Nejvíce oceňuji na FMA (možno označit více než jednu možnost):**

1. že jsem měl(a) studijní materiál k dispozici a při výkladu jsem nemusel (a) dělat zápisky, ale jen poznámky a řešit úlohy: **18 žáků**

2. výklad některých zajímavých témat: **11 žáků** (příklady témat: „celá kvantová a jaderná fyzika je velice zajímavá“, rentgenové záření (opakovaně), STM, relace neurčitosti, jaderná fyzika (opakovaně), radioaktivita, poločas rozpadu, radiouhlíková metoda (opakovaně), lékařské přístroje, princip slunečních elektráren
3. témata na diskusi či na referát a problémy, které se týkaly i jiné než jen úzce fyzikální problematiky: **8 žáků** (žákům se líbila vystoupení spolužáků, např. o Ledovém muži Ötzi)
4. že byla možnost absolvovat Středoškolské fyzikální exploratorium: **3 žáci** (všichni maturanti z fyziky)
5. jiná možnost: nikdo.

- **Kritické připomínky (náročný obsah, málo času, otrava, ...), návrhy na zlepšení, ... :**

náročný obsah pro nematuranty (2x), některé chyby v textu, „hůře udržuji pozornost, když si nemusím zapisovat, to je však můj problém, na druhou stranu tištěné zápisky jsou přehlednější“.

H2: *Vhodné postupy (výklad vybraných partií, aktivní přístup k výuce, poskytnutí studijních materiálů) vedou i k předání relativně trvalých základních vědomostí.*

Podle výsledků testů je možno říci, že tato hypotéza byla ověřena jen částečně. I když při testování v roce 2011 došlo u většiny úloh ke zlepšení relativního počtu správných odpovědí (viz tabulka v kap. 6. 3 disertační práce), předpokládal jsem, že žáci dosáhnou ještě lepších výsledků. Hlavní podíl na výsledcích má okolnost, že koncem studia již žáci, kteří nebudou maturovat z fyziky, se intenzivně věnují jiným předmětům. Ke zlepšení výsledků by jistě také přispělo více propracované a „odladěné“ zadání testu.

H3: *Obtížné a svou podstatou méně názorné partie (fyzika mikrosvěta) je možno zpracovat a vyložit tak, že budou pro většinu žáků zajímavé (vlastní text, zařazení problémů a témat na referáty, možnost nahlédnout do „nanosvěta, pomocí AFM a STM mikroskopů, ...)*

Na základě výsledků dotazníkového šetření, ale i rozhovorů se žáky a z jejich reakcí při výuce je možno usuzovat, že tato hypotéza byla potvrzena. Žáci oceňovali referáty svých spolužáků, zaujaly je přesahy do filosofie, ekologie i společenských souvislostí a maturanti nadšeně pracovali s AFM a STM.

3. Členění disertační práce

Po úvodních obecných poznámkách o vzdělávání je v 1. kapitole stanoven cíl práce, hypotézy výzkumu a metodika práce. 2. kapitola obsahuje pohledy do historie zavádění prvků kvantové fyziky do výuky. Stručně bylo posouzeno několik hlavních prací, aktivit či kurzů, které byly vytvořeny v průběhu druhé poloviny 20. století a začátkem 21. století. Obsahem 3. kapitoly je posouzení řady populárně vědeckých publikací, které vyšly v uplynulých několika letech. Zvláštní pozornost je věnována anglickému kurzu fyziky Advancing Physics AS, A2 [31]. Ve 4. kapitole je pojednáno o kurzu Fyzika mikrosvěta aktivně (FMA), jehož vytvoření a „odzkoušení“ tvoří hlavní náplň disertační práce. V této kapitole je kurz FMA charakterizován a jsou představeny jeho jednotlivé části: učební text, Středoškolské fyzikální exploratorium, test z Fyziky mikrosvěta (TFM) a dotazník pro žáky.

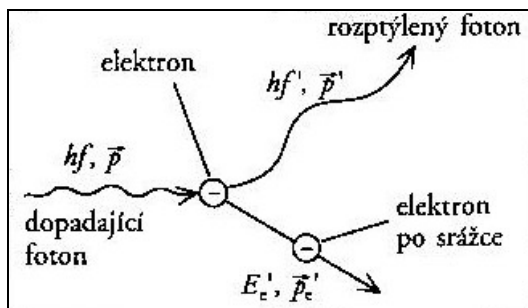
5. kapitola obsahuje vlastní učební text Fyzika mikrosvěta aktivně. Celkovým zpracováním se učební text FMA více blíží tradičnímu řazení témat a tradičnímu výkladu. Obsahuje však řadu (snad) zajímavých a aktuálních příkladů, úloh a problému. Konkrétní struktura textu je následující: výklad

klíčových myšlenek a experimentů kvantové fyziky, historické poznámky, řešené příklady (různé obtížnosti a charakteru), kontrolní otázky, úlohy a problémy obsáhlejšího, možná nezvyklého charakteru, odkazy na doplňkovou literaturu. V 6. kapitole jsou rozebrány výsledky testu Fyziky mikrosvěta (TFM). 7. kapitola obsahuje výsledky práce a diskusi.

4. Ukázky z kurzu FMA

1. ukázka: Problém z kapitoly Kvantová fyzika, v disertační práci str. 64.

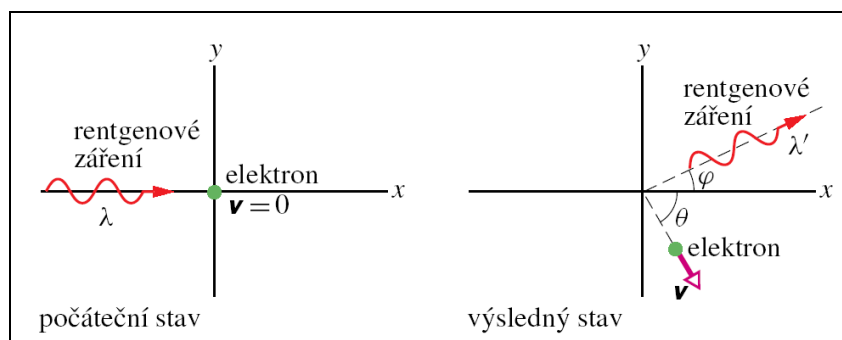
1. 4. P Comptonův jev. V roce 1923 zveřejnil A. Compton výsledky svých experimentů s rozptylem rentgenového záření o dané vlnové délce λ na elektronech v uhlíkovém terčíku. V rozptýleném záření našel Compton záření nejen s původní vlnovou délkou λ , ale i záření s vlnovou délkou $\lambda' > \lambda$. Při vysvětlení tohoto výsledku je třeba popisovat interakci rentgenového záření s elektrony jako interakci jednotlivých fotonů s jednotlivými elektrony materiálu. Obr. 1. 18. (Energie fotonu rentgenového záření je velká ve srovnání s vazební energií elektronu v atomu uhlíku, takže srážku můžeme popsat jako srážku fotonu s volným elektronem.) Úkoly: 1. Ukažte, že pomocí fotonové hypotézy a užitím zákona zachování energie lze kvalitativně vysvětlit větší vlnovou délku rozptýleného rentgenového záření. 2. **Jak je možné, že po srážce s elektronem ztratí foton jen část své energie, když přece dochází při interakci světla a látky jen k přenosu energie po částech – kvantech?** (Rozptýlený foton má menší energii než dopadající foton.)



Obr. 1. 18 Obvyklé znázornění Comptonova jevu

Obr. 1. 19 A. H. Compton (1892 -1962)

Řešení úkolu 2: Při interakci fotonu s elektronem dojde k pohlcení dopadajícího fotonu a potom k vyzáření jiného, s menší energií. To je naznačeno na následujícím obrázku 1. 20 tím, že jsou zobrazeny odděleně počáteční a konečný stav.



Obr. 1. 20 Původní foton zhyne, nový se zrodí.

2. ukázka: Část z kapitoly Jaderná a částicová fyzika, v disertační práci str. 98.

Poznámka žákyně GVM při výkladu: Z grafu časového průběhu radioaktivní přeměny plyne, že při exponenciální závislosti se rozpadnou všechna radioaktivní jádra až po nekonečně dlouhém čase. Jak je to možné?

Vysvětlení: Uvedený graf udává závislost počtu nepřeměněných jader na čase a grafem by tedy neměla být spojitá křivka, ale řada „velmi hustě“ umístěných bodů. Radioaktivní rozpad daného vzorku považujeme za dokončený, když zbývá „několik“ nerozpadlých jader. (Viz též následující příklad.) Jaké jsou řádově hodnoty počtu jader $N(t)$ např. v jednom kg látky?

Příklad 3. 3

Z radioizotopů jodu, které se používají v lékařství, má $^{131}_{53}\text{I}$ poločas přeměny 8,05 dne, $^{132}_{53}\text{I}$ jen 2,26 h. Úlohy: 1. Kolik procent původního počtu nepřeměněných jader zůstane ve vzorcích, které obsahovaly jeden nebo druhý izotop, po uplynutí 5 dnů? 2. Jaké jsou výhody a nevýhody použití izotopu $^{132}_{53}\text{I}$ v lékařské diagnostice?

Řešení

1. Opět vyjdeme ze vztahů:

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}, T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

$$\frac{N(t)}{N(0)} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = e^{-\frac{\ln 2}{8,05} 5} = 65 \%$$

Pro 1. izotop dostaneme:

$$\frac{N(t)}{N(0)} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = e^{-\frac{\ln 2}{2,26} 5,24} = 1,04 \cdot 10^{-14} \%$$

Pro 2. izotop dostaneme:

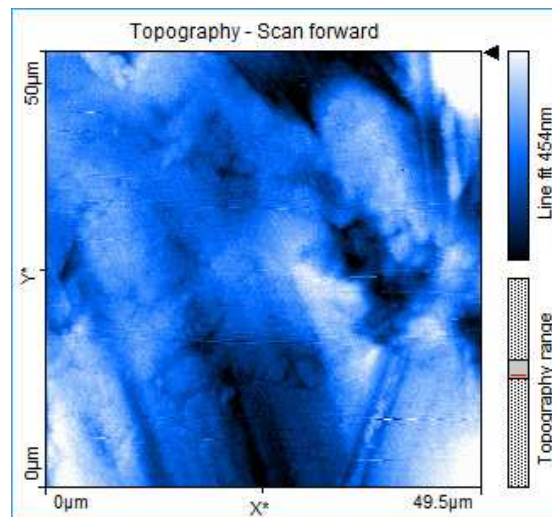
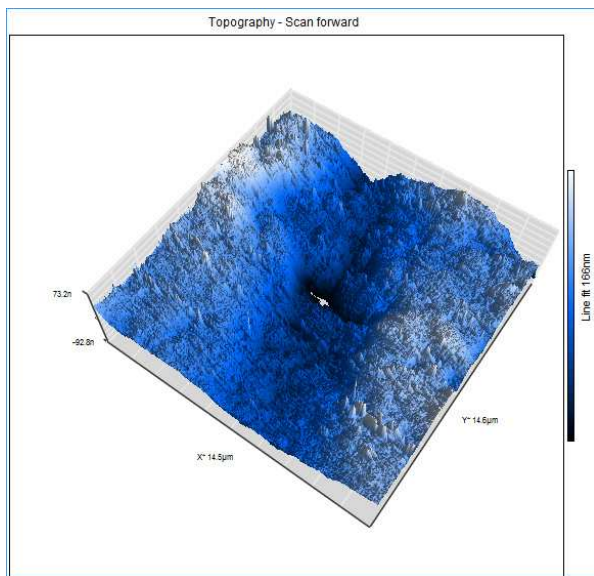
Ve druhém případě je zřejmé, že **po uplynutí 5 dnů nebude vzorek radioaktivní**.

2. Izotop $^{132}_{53}\text{I}$ má kratší poločas rozpadu, proto méně ohrožuje zdraví pacienta, není ho však možno dlouho uchovávat.

Doplňující úkol: Proč se pracovníci v jaderných elektrárnách a obyvatelé žijící v jejich blízkosti preventivně zásobují jodovými tabletami?

3. ukázka: Část laboratorní práce žáků, v disertační práci str. 39.

Obrázky získané pomocí AFM v rámci Středoškolského fyzikálního exploratoria. Jedná se o zobrazení „pětikoruny“: vlevo – rekonstruovaná 3D podoba povrchu vzorku, vpravo – 2D podoba vzorku na jiném místě. Úlohu vypracovali v březnu 2011 žáci Gymnázia Velké Meziříčí Vít Slabý, Michal Horký a Jan Žilák.



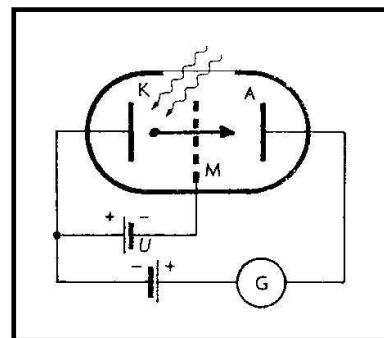
4. ukázka: Úloha z TFM, v disertační práci str. 116.

1. Fotoelektrický jev – vyletí nebo nevyletí elektron

Při fotoelektrickém jevu dopadá záření na kovovou katodu a za vhodných podmínek uvolní elektron (viz obr.). V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty výstupní práce a mezní vlnové délky pro některé kovy.

Kov	Výstupní práce v eV	Mezní vlnová délka záření v nm
Cézius	1.93	642
Sodík	2.28	544
Hořčík	3.69	336
Olovo	4.02	308
Cín	4.38	283
Měď	4.48	277
Volfram	4.54	273
Stříbro	4.70	264
Zlato	4.76	260
Železo	4.77	260
Nikl	5,00	248
Arzén	5,11	243
Platina	5,36	231

Která z následujících tvrzení jsou správná?



- A Záření s vlnovou délkou 320 nm neuvolní elektron ze stříbra.
- B Na uvolnění elektronu z cínu stačí záření s vlnovou délkou 260 nm.
- C Záření s vlnovou délkou 650 nm neuvolní elektron ze žádného kovu v tabulce.
- D Rentgenové záření uvolní elektron z každého kovu v tabulce.
- E Záření ze sítě mobilních telefonů uvolní elektron z každého kovu v tabulce.
- F Záření radaru by uvolnilo elektrony z každého kovu.

Spávná odpověď: **A, B, C, D.**

5. Závěr

Název disertační práce i gymnaziálního kurzu je Fyzika mikrosvětva aktivně. Že se jedná o fyziku mikrosvětva – světva jader, atomů a molekul, je zřejmé. Jak je to však s naplněním obsahu slova “aktivně”? Předložený učební text nebyl vystavěn na badatelsky orientované výuce – tedy na tom, že by žáci vycházeli z vlastních pokusů (a omylů), že by vyvozovali závěry apod. Také obsah spíše vycházel z tradiční struktury učiva, jak se u nás v posledních letech ustálila. Změna struktury by vyžadovala celkovou změnu obsahu a rozsahu učiva fyziky na gymnáziu. Na takový úkol autor neměl “sílu” a ani odvalu. Přesto však řadu aktivních a aktivizujících prvků obsahuje. Jsou to např. aktuální a atraktivní příklady a aplikace poznatků kvantové fyziky, možnost provádět laboratorní práce, ale i obsáhlejší problémy a témata na diskusi či referát (žáci bylo využíváno). O poměrně příznivém přijetí kurzu svědčí nejen výsledky dotazníku, ale celková tvůrčí atmosféra, která byla charakteristická pro výuku v obou sledovaných třídách. Např. na otázku položenou na maturitním večírku v roce 2010 několika žákům: “Proč jste sledovali výklad fyziky mikrosvětva až do konce, když přece budete maturovat z jiného předmětu a chystáte se studovat také jiný obor”, mne potěšila odpověď: “Protože nás to bavilo.”

Předložená práce může (snad) sloužit jako inspirace k dalšímu promýšlení výuky fyziky mikrosvětva na gymnáziu, ale i k případným hlubším změnám v obsahu, struktuře a metodách gymnaziální výuky fyziky. Bylo by žádoucí, aby moderně pojatý, aktivity žáků podporující, rozvoj jejich fyzikálních kompetencí rozvíjející a přiměřeně rozsáhlý kurz fyziky mikrosvětva měl trvalé místo ve školních programech fyziky, byť na úkor některých jiných fyzikálních partií.

Seznam použité literatury

- [1] Pišút J.: *Kvantová fyzika po pětadesi letech*. PMFA **20** (1975), 190.
- [2] Marx G.: *Atoms in the secondary school: Part 1, Part 2*. Physics Education **11** (1976), 409, 493.
- [3] Marx G.: *Přírodovědné vzdělávání v Maďarsku*. PMFA **24, 25** (1979, 1980), 339, 44, 95, 156.
- [4] Fenclová J. a kol.: *K perspektivám fyzikálního vzdělávání v didaktickém systému přírodních věd*. Academia, Praha 1984.
- [5] Pekárek L.: *Moderní fyzika a integrační tendence v přírodních vědách*. PMFA **18** (1973), 76.
- [6] Quantum Physics Konzept Survey. The University of Sydney, 2006.
- [7] Weisskopf V. F.: *Poznání a údiv. Svět přírody očima člověka*. Orbis, Praha 1967.
- [8] Pišút J., Zajac R.: *O atómech a kvantování*. Alfa, Bratislava 1983, 1988.
- [9] Polkinghorne J.: *Kvantový svět*. Aurora, Praha 2000, ISBN 80-7299-017-9.
- [10] Polkinghorne J.: *Kvantová teorie. Průvodce pro každého*. Dokořán, Praha 2007, ISBN 978-80-7363-084-3 .
- [11] Gilmore R.: *Alenka v říši kvant. Alegorie kvantové fyziky*. Paseka, edice Fénix, Praha a Litomyšl 2007, ISBN 978-80-7185-836-2.
- [12] Gamov G., Stannard R.: *Pan Tompkins stále v říši divů*. Aurora, Praha 2001, ISBN 80-7299-044-6.
- [13] Hey T., Walter P.: *Nový kvantový vesmír*. Argo, Dokořán, edice Zip, Praha 2005, ISBN 80-7203-699-8.
- [14] Greene B.: *Elegantní vesmír. (Superstruny, skryté rozměry a hledání finální teorie.)* Mladá fronta, edice Kolumbus, Praha 2001, ISBN 80-204-0882-7.
- [15] Greene B.: *Struktura vesmíru. Prostor, čas a povaha reality*. Paseka, Praha 2006, ISBN 80-7185-720-3 .
- [16] Penrose R. (Shimony A., Cartwrightová N., Hawking S., sestavil M. Longair): *Makrosvět, mikrosvět a lidská mysl*. Mladá fronta, edice Kolumbus, Praha 1999, ISBN 80-204-0780-4 .
- [17] Zajac R., Pišút J., Šebesta J.: *Historické prameny současné fyziky 2. Od objevu elektronu po prah kvantové mechaniky*. Univerzita Komenského Bratislava, Bratislava 1997, ISBN 80-223-1007-7. (1. díl vyšel v nakladatelství Alfa v roce 1990.)
- [18] Gribbin J.: *Pátrání po Schrödingerově kočce. Kvantová fyzika a skutečnost*. Columbus, Praha 1998, ISBN 80-85928-38-8.
- [19] Gribbin J.: *Schrödingerova kočata. Pátrání po skutečnosti*. Columbus, Praha 2001.
- [20] Feynman R. P.: *Neobyčejná teorie světla a látky*. Aurora, Praha 2001, ISBN 80-7299-045-4.
- [21] Kulhánek P. a kolektiv: *Astronomie a fyzika na přelomu tisíciletí*. Dialog, Litvínov 2004, ISBN 80-85843-49-8.
- [22] Kaku M.: *Paralelní světy*. Argo, Dokořán, edice Zip, Praha 2007, ISBN 978-80-7363-018-8 (Dokořán).
- [23] Veltman M.: *Fakta a záhady ve fyzice elementárních částic*. Academia, Praha 2007, ISBN 978-80-200-1500-6 .
- [24] Close F.: *Částicová fyzika. Průvodce pro každého*. Dokořán, Praha 2008, ISBN 978-80-7363-160-4.
- [25] McEvoy J. P., Zarate O.: *Introducing Quantum Theory*. Icon Books UK, Totem Books USA, 2004, ISBN 1-84046-577-8.
- [26] Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M.: *Feynmanovy přednášky z fyziky* 1/3 (2000), ISBN 80-7200-405-0, 2/3 (2001), ISBN 80-7200-420-4, 3/3 (2002), ISBN 80-7200-421-2. Fragment, Havlíčkův Brod.

- [27] Halliday D., Resnick J., Walker J.: *Fyzika. (Vysokoškolská učebnice obecné fyziky.)* VUT v Brně - nakladatelství VUTIUM a Prometheus, Brno 2001. Dotisk 2003, ISBN 80-214-1868-0.
- [28] Pišút J., Frei V., Fuka J., Lehotský D., Široký J., Tomanová E., Vanýsek V.: *Fyzika pro 1. ročník gymnázií.* SPN, Praha 1987.
- [29] Pišút J. a kol.: *Fyzika pre 4. ročník gymnázií.* SPN, Bratislava 2003, ISBN 80-10-00191-0.
- [30] Pišút J. a kol.: *Fyzika pre 2. ročník gymnázií.* SPN, Bratislava 2007, ISBN 978-80-10-01304-3.
- [31] a) Ogborn J., Marshall R.: *Advancing physics A5.* Revised edition Published 2008, IOP Publishing, UK, ISBN 0-7503-0780-3. <http://post16.iop.org/advphys/>.
b) Ogborn J., Marshall R.: *Advancing physics A2.* Revised edition Published 2008, IOP Publishing, UK, ISBN 0-7503-0781-1. <http://post16.iop.org/advphys/>.

Seznam publikovaných prací, které mají vztah ke zkoumané problematice

A Kniha

- A1 Šantavý I., Trojánek A.: *Fyzika - příprava k přijímacím zkouškám na vysoké školy*. Prometheus, Praha 2000. 287 s. ISBN 80-7196-138-8.

B Články v domácích časopisech

- B1 Trojánek A.: *Demonstrace stojatého vlnění pomocí mydlinové blány na drátěném rámu*. MFvŠ, vol. 15 (1984), s. 280.
- B2 Trojánek A.: *Mohou být fyzikální učebnice dobré?* Čs. čas. fyz., vol. 42 (1992), s. 334.
- B3 Trojánek A.: *Sympatické učebnice fyziky*. Čs. čas. fyz., **54** (2004), s. 367.
<http://www.gvm.cz/people/trojaneek/tematika/clanek.pdf>
- B4 Trojánek A.: *Teorie relativity a GPS*. Čs. čas. fyz., **58** (2008), s. 107. Též ve sborníku: *Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 3. Rámcové vzdělávací programy*. Srní 2007. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2007.
- B5 Trojánek A.: *Podivnosti v gymnaziální fyzice*. Čs. čas. fyz., **59** (2009), s. 168.

C Postrecenze, zprávy a recenze

- C1 Trojánek A.: *Šantavý I. a kol.: Vybrané kapitoly z fyziky. (Příručka pro opakování a sjednocení látky potřebné k zahájení studia na technické fakultě.) Třetí přepracované vydání*. Ediční středisko VUT, Brno 1984. MFvŠ, **17** (1986), s. 138.
- C2 Trojánek A.: *Pišút J., Zajac R.: O atómech a kvantování. 2. doplnené vydanie. Alfa, Bratislava 1988*. MFvŠ, **20** (1989), s. 143.
- C3 Trojánek A.: *Polkinghorne J.: Kvantová teorie pro každého. Dokořán, Praha 2007*. Čs. čas. fyz., **57** (2007), s. 343.
<http://www.gvm.cz/people/trojaneek/tematika/polkinhorne.pdf>
- C4 Trojánek A.: *Gilmore R.: Alenka v říši kvant. Alegorie kvantové fyziky. Paseka, edice Fénix, Praha a Litomyšl 2007..* Čs. čas. fyz., **57** (2007), s. 344.
<http://www.gvm.cz/people/trojaneek/tematika/gilmore.pdf>
- C5 Trojánek A.: *Český učitelský týden v CERN*. Čs. čas. fyz. **58** (2008), s. 179.

Recenze pro nakladatelství:

- C6 Trojánek A.: *Štoll I.: Fyzika pro gymnázia. Fyzika mikrosvěta*. SPN, Praha 1993. ISBN 80-85849-48-8.

D Příspěvky na seminářích a konferencích

- D1 Trojánek A.: *Demonstrace stojatého vlnění. (Předvedení pokusu.)* Pedagogicko-fyzikální semináře „Nové impulzy-Úvod do fyzikálního praktika“. Tři Studně u Nového Města na Moravě, 5. – 8. září 1983. Seminární materiály 7,

- s. 39. Redakce M. Černohorský, J. Janás. OS Pedagogická fyzika FVS JČSMF, katedry fyziky UJEP Brno 1983.
- D2 Trojánek A.: *Poznámky k učebnici Fyzika pro IV. ročník gymnázií*. V. seminář o filosofických otázkách matematiky a fyziky. Žďár nad Sázavou 22. – 25. srpna 1988. Seminární brožura, s. 61. Redakce M. Černohorský. JČMF, Brno 1988.
- D3 Trojánek A.: *Sympatické učebnice fyziky*. Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu. Vlachovice 4. – 6. dubna 2002. Sborník ze semináře Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu. OS pro výuku fyziky na gymnáziu při FPS JČMF, Hradec Králové 2002, s. 90. (Předneseno též na X. semináři o filozofických otázkách M a F, Velké Meziříčí, srpen 2002.)
- D4 Trojánek A.: *Gymnaziální fyzika*. Kompetence a standardy ve fyzikálním vzdělávání učitele a žáka. Olomouc, 16. a 17. září 2004.
- D5 Trojánek A.: *Teorie relativity a GPS*. Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 3. Rámcové vzdělávací programy. Západočeská univerzita v Plzni. Srní, 26. – 28. 4. 2007.
- D7 Trojánek A.: *Test typu PISA – Fyzika mikrosvěta*. Matematika, fyzika a podpora jejich výuky. JČMF a Gymnázium Velké Meziříčí. Velké Meziříčí, 23. – 26. 8. 2010.

Summary

The main objective of the thesis was to create and verify the grammar school course “Physics of the Microworld Actively” (PMA). The author aimed to make the course in such a way so that students not only acquire necessary knowledge and new skills, but after completing the course they are also familiar with the course issues on a broader level and are able to take instructive attitudes in social issues (e. g. referendum, decision-making in local and national politics). In addition, students should take an interest in the course and do it for pleasure, or at least they should not get bored by it at the end of their studies at grammar school. For those interested, the course includes attractive laboratory works (research-oriented part of the course). All then take a “PISA” type of test and fill in a short questionnaire. One of the goals is to assess the examples of introducing elements of quantum physics into grammar school teaching from the recent past and to present inspiring textbook and especially non-fiction resources. The thesis also includes an evaluation of research hypotheses as well as the whole course “Physics of the Microworld Actively” (PMA).