

## Postrecenze učebnice

### „Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvětá“

Aleš Lacina, Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Fyzika mikrosvětá zaujímá mezi disciplinami tvořícími gymnaziální kurz fyziky výjimečné postavení. Její výlučnost spočívá nejen v tom, že veškeré informace o mikrosvětě získáváme pouze zprostředkovaně, ale zejména v samotné povaze mikroobjektů. Ty se totiž diametrálně odlišují od všeho, s čím se setkáváme v každodenním životě. Nepodobají se ničemu, co můžeme vidět, slyšet, cítit, ohmatat a – což je nejhorší – dokonce si představit. Při jejich zkoumání se proto nemůžeme opřít o svoji dřívější zkušenost. Naše představivost, která z ní vychází, v oblasti mikrosvětá selhává a navyklé – v jiných oblastech fyziky osvědčené – (klasické) metody popisu vedou na scestí. A tak nejen tyto objekty, ale i úvahy fyzikální disciplíny, která je adekvátně popisuje, lidem bez předchozího výcviku vždy připadaly, připadají a navždy budou připadat nanejvýš podivné. Všichni jsme totiž makroskopickými bytostmi a z toho důvodu máme podvědomou tendenci pohlížet i na mikrosvět klasickými očima. Připočteme-li k tomuto základnímu problému i další těžkosti spojené s veškerým fyzikálním vzděláváním nebo dokonce vzděláváním vůbec, stane se mimořádná náročnost vyučování fyziky mikrosvětá zcela zřejmou. Na středoškolské úrovni situaci navíc komplikuje nedostatečná mentální zralost nedospělých studentů, která neumožňuje nezbytnou změnu navyklého konkrétního způsobu uvažování. Časová dotace předmětu je přitom velmi nízká a nelze ani počítat s možností případného pozdějšího doplnění, zpřesnění či jiné korekce výkladu, neboť většina maturantů se již dále fyzice systematicky věnovat nebude.

Středoškolská výuka této problematiky – ať už se označuje slovním spojením fyzika mikrosvětá, atomová, jaderná a částicová fyzika nebo kvantová fyzika či mechanika – se tak musí vyrovnávat s řadou obtížně řešitelných problémů. Ty byly mnohokrát z různých hledisek, v různém rozsahu a s různými závěry diskutovány (např. [1]–[4]), nicméně časté novodobé snahy o zařazení *nejnovějších poznatků moderní fyziky* do gymnaziálního vzdělávání jsou hodnoceny skepticky (např. [5]). Během poměrně krátké historie vyučování těchto obtížných partií na česk(oslovensk)ých gymnáziích [6], [7] lze pozorovat zřetelný vývoj jak kvantitativní (charakterizovaný většinou nárůstem objemu informací všeho druhu), tak kvalitativní (spočívající většinou v postupném zařazování elementů kvantové mechaniky nebo alespoň jejich výsledků) [8]–[10]. „Federálním“ vyvrcholením tohoto vývoje jsou kapitoly 6–8 učebnice [12], jejíž autoři zachránili po nevydařeném experimentu [10], [11] v poslední chvíli, co se dalo [13], [14].

Poněvadž recenzovaná kniha *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvětá* [15] v chronologii gymnaziálních učebnic za tímto velmi přijatelným – na mnoha školách stále užívaným – textem bezprostředně následuje, začneme její komentář krátkým srovnáním: koncepce obou zpracování se shoduje; výběr témat je téměř identický – mírně se liší jen jejich řazení a jinak jsou rozděleny také důrazy. Celková délka textu je v obou publikacích prakticky stejná, i když stránkový rozsah [15] je – díky bohatšímu obrazovému materiálu a některým odlišnostem grafické úpravy – asi o třetinu větší. Touto vcelku pochopitelnou vnější podobností, vyplývající z autorovy identifikace s dnes převládajícím pojetím úvodní výuky elementů fyziky mikrosvětá, jsou však shodné rysy obou zpracování v podstatě vyčerpány.

Nepochybným kladem posuzované učebnice je velmi přehledné základní členění do pěti přibližně stejně dlouhých výkladových kapitol, jejichž stručné názvy *Struktura mikrosvěta, Pohyb v mikrosvětě, Atomová fyzika, Jaderná fyzika, Fyzika částic* zhruba orientují i nepřilíš erudovaného čtenáře. Krátká poslední kapitola, jejímž záměrem je upozornění na širší souvislosti, má pak charakter jen lehce načrtnuté závěrečné poznámky.

Nejpřirozenějším začátkem úvodní prezentace fyziky mikrosvěta je jistě vytvoření základní představy o jeho struktuře. Poněvadž je východiskem všech dalších úvah, musí být nejen jasně formulována, ale měla by být také pečlivě, přesvědčivě vyargumentována. Recenzovaná publikace zůstává tomuto neoddiskutovatelnému požadavku mnoho dlužna. Třebaže její vstupní kapitola začíná obecnými formulacemi o postupném dělení těles, které se zdají logicky směřovat k závěru o nespojitě struktuře látek, autor evidentně počítá s tím, že student již tento názor sdílí. Jde, samozřejmě, o správný předpoklad. Gymnazista, pro něhož je učebnice určena, už na existenci atomů věří. Že jsou základními strukturními jednotkami látky, mu bylo v průběhu předcházejícího vzdělávání mnohokrát vštěpováno. Nikdy sice přesvědčivě zdůvodněno, ale jen opravdu silný skeptik by mohl odolat vysoké frekvenci opakování jediné správné možnosti, navíc podpořeného křížovými odkazy typu *Jak se dozvíte ve fyzice (chemie), Jak již víte z chemie (fyzika), Kdo bude pokračovat na střední škole, tak se dozví podrobněji (základní škola), Již ze základní školy víte (střední škola)*. Tento způsob výuky – metodou zjevných hotových pravd – nezdědka pokračuje i na školách vysokých [16]. A tak dokonce i mnozí absolventi jejich přírodovědných a technických oborů nikdy neslyšeli otázku (natož, aby si ji sami položili) „Proč si myslíte...“, „Odkud víte...“, „Z čeho plyne vaše přesvědčení, že:

*Makroskopická tělesa nejsou spojitá, ale mají přetržitou strukturu.*

*Skládají se z molekul, jako nejmenších částic chemických sloučenin.*

*Molekuly se skládají z atomů, jako nejmenších částic chemických prvků.*

„Odkud?“ „Z čeho?“ – Upřímná odpověď drtivé většiny dotázaných by musela znít: Z rámečku na straně 13, případně z podobných rámečků v podobných učebnicích užívaných na školách všech stupňů. Ani posuzovaná kniha, která má být úvodní učebnicí fyziky mikrosvěta, ani žádný jiný svazek celého nového gymnaziálního kurzu fyziky, na tuto otázku totiž poctivě neodpovídá, tj. neuvádí jednoduché, pro gymnazistu srozumitelné, přesvědčivé argumenty, z nichž by sám mohl závěrečné tvrzení vyvodit. Věta *Pomocí rádkovacího tunelového mikroskopu se podařilo ... pozorovat jednotlivé atomy v krystalech ...* (strana 13/řádky 4–6) obsahuje slovní spojení, které by samo potřebovalo vysvětlení, a je tak pouze dalším tvrzením předloženým k uvěření. Následná vazba *atomy [je] možno přímo vidět a fotografovat* (13/10), doložená fotografií na straně 15, nadto implikuje notně zkreslenou, spíše však zcela nesprávnou představu (viz např. [17]). Rovněž letmý odkaz na zákon stálých poměrů slučovacích (13/19–22) není ničím jiným než sugescí. Přesvědčivější – pořád však ještě ne dostatečný – by mohl být argument zákonem násobných poměrů slučovacích. Nestačilo by jej ovšem jen zmínit, ale musel by být vyložen detailně (např. [16], [18]).

Přitom historie i logika postupu, jímž člověk dospěl od původní nevědomosti k současnému porozumění, od někdejší hypotézy k dnešní jistotě, je dobře známa (např. [19]). Tento poutavý příběh, který lze snadno přesvědčivě prezentovat i na gymnaziální úrovni, je navíc nejen velmi instruktivní ilustrací vědeckého přístupu k řešení problémů, ale zejména nanejvýš vhodnou cvičnou problematikou k rozvíjení kritického způsobu myšlení. Tato cenná možnost tedy zůstala v učebnici zcela nevyužita. A podobně plytký je v ní i výklad dalších témat. Z bezpočtu příkladů uveďme jen několik, namátkou vybraných z kapitoly první:

- fakt, že elektrony jsou součástí atomů se nezdůvodňuje, ale pouze oznamuje (19/20–21),
- elektrická struktura atomů ( $Z$  elektronů a kladný náboj  $Ze$ ) se předpokládá (22/4–7) a pak už se jen bez jakéhokoli dalšího komentáře opakovaně utvrzuje oznamovacími větami (23/19–20), (25/5–8), ...,
- skutečnost, že  $\alpha$ -částice jsou *atomy helia zbavené elektronů*, se pouze konstatuje (22/16),
- objev atomového jádra se – v duchu špatných učebnicových tradic – odbývá vyhýbavou neprůhlednou formulací (23/9–11),
- fyzikální interpretace pořadového čísla prvku v Mendělejevově periodické tabulce se pouze konstatuje (25/6),

atd., atd.

Ve všech těchto případech je přitom zdůvodnění i pro gymnazisty dobře zvládnutelné a určitě zajímavější než pouhý výsledek. K nápravě by většinou stačilo přidání jedné či dvou vět, často však také jenom jiná formulace téže délky. Při odpovídajícím vedení výkladu by dokonce bylo možné (a prospěšné!) některá z důležitých míst jeho argumentační linie svěřit k rozmyšlení samotným studentům. Takové problémy by byly najisto vhodnou náhradou některých dosavadních méně zdařilých úloh (např. č. 4 na straně 11, č. 1 na straně 55, ...). Nešvarem záměny argumentu konstatováním, postupu jeho výsledkem, vysvětlení popisem, výkladu souhrnem informací, živého příběhu nudnou zprávou (i když často, zvláště v pozdějších kapitolách, vyšperkovanou efektními, pro vzdělávaný subjekt však nestravitelnými, termíny) – stručně řečeno povrchností – trpí celý text. S ohledem na délku tohoto sdělení to již nebudu dokládat dalšími příklady, ani více připomínat. Avšak způsob, jímž kniha adeptům vzdělanosti představuje vědu, a vzor, který jim tak dává, nepovažuji za přijatelný.

Ovšem ani zaujatému, empatickému studentovi, kterému by informativní styl výkladu nebyl proti mysli, učebnice dobrým pomocníkem nebude. Její formulace jsou totiž často bezobsažné, mnohdy málo srozumitelné a nezřídka dokonce i zmatečné, takže čtenáři-začátečníku nezbude než na žádoucí pochopení čteného resignovat. Opět jen jeden příklad za mnohé:

de Broglieova vlna je v učebnici zavedena vyslovením de Broglieovy hypotézy – *podivuhodně geniální* (49/14), *dosti fantastické myšlenky* (50/3) – která přiřazuje *každé volně se pohybující částici o energii  $E$  a hybnosti  $p$  frekvenci a vlnovou délku* (49/19–20) a stanovuje tak korespondenci mezi *rovnoměrně přímočaře se pohybující částicí a postupnou rovinnou vlnou* (49/28–30). Později je tato vlna zmiňována jako nekonečná (neříká se v jakém smyslu), spojuje se nejprve s volnou částicí – *pohybující se ... podle Newtonova zákona setrvačnosti* (to v odstavci nadepsaném *Kvantová mechanika!*) *rovnoměrně přímočaře* (56/9–10) – a poté, bez dalšího komentáře s *částicí [uzavřenou] mezi dvěma rovnoběžnými ... stěnami kolmými k ose  $x$  ..., od nichž se částice může pružně odrážet. Stěny musí být nekonečně vysoké, aby nám částice „neprotunelovala“ ven* (56/12–15). Taková částice již, samozřejmě, volná není; určitá vlnová délka se zde však mlčky (a neoprávněně!) připisuje i jí [P1]. O několik stránek dále se znovu připomíná, že (jen) *Má-li rovnoměrně a přímočaře se pohybující částice energii  $E$  a hybnost  $p$ , odpovídá jí frekvence  $f = E/h$  a vlnová délka  $\lambda = h/p$*  (62/27–28). Brzy na to je však de Broglieova idea opět využita v situaci, která výšeuvedené podmínky její platnosti nespĺňuje: *... aby se na kruhové trajektorii o poloměru  $r$  uložil celý počet de Broglieových vlnových délek* (75/15–16 + obrázek 3-5).

Učebnice začátečníkovi chování a vlastnosti mikroobjektů – ani podstatu potíží spojených s jejich popisem – poctivě nevysvětlí. A stylem svého vyjadřování v něm naopak na mnoha místech vzbudí dojem, že o to fyzice mikrosvěta zřejmě ani nejde – že totiž stačí jen spojovat nesrozumitelná slova do gramaticky správných konstrukcí. Při hledání smyslu takových příliš lehce nahozených, mlhavých či jinak vágních formulací se nadto čtenář často musí potýkat s další závažnou překážkou – nevhodnou terminologií. Vzhledem ke kvalitativní odlišnosti mikroobjektů se k jejich popisu nehodí nejen představy a metody, ale nezdídky ani termíny užívané v klasické mechanice. Obsah mnohých z nich má totiž začátečník tak pevně svázan s předchozí zkušeností, že je lépe se jim při úvodním výkladu fyziky mikrosvěta vyhnout. Například snadno nahraditelné slovo *pohyb* (použité již v názvu kapitoly druhé, ale zejména na mnoha místech v textu) se najisto stane – díky konkrétní newtonovské představě, s níž je bude středoškolák nevyhnutelně spojovat – zdrojem trvalých potíží. Podobně ošidné je také, v textu velmi frekventované, slovo *částice*. Autor je navíc běžně užívá bez podrobnější specifikace ve třech různých významech: (klasická) *částice*, (mikro)*částice*, (elementární) *částice*. (Velmi žádoucí terminologické rozlišení by přitom bylo snadno možné.) To, spolu s malou formulační pečlivostí, má za následek, že řadě pasáží lze jen stěží porozumět. Například:

- ...*částice se chovají jednou jako vlny a jednou jako částice*, ... (54/11–12),
- *Lidské smysly nevnímají jaderné záření ani letící částice ...  
... jaderné záření, ať už elektromagnetické nebo tvořené svazky částic* (142/2–4),
- *Vedle těchto částic ovšem existují další částice, které způsobují vzájemné silové působení mezi částicemi ...* (154/18–19).

Ve srovnání s takovými větami má i přísný recenzent tendenci považovat další defektní pasáže za přehlédnutelné drobnosti. Vyberme z nich opět jen namátkou:

- *Díky odporu vzduchu se rychlost kapiček ustálila, ..., celá aparatura je umístěna ve vakuu ...* (20/18–20),
- *...soubor menších volných částic, které proslulý fyzik R. FEYNMAN později ztotožnil s hypotetickými kvarky* (29/13–14),  
*Na rozdíl od nukleonů v jádrech se však dosud nepodařilo kvarky uvolnit...* (29/17–18),
- *Určete energii základního a prvního excitovaného stavu elektronu, který je omezen na pohyb podél úsečky ...* (61/18–19),
- *... 14. 12. 1900 ... a tento den je pokládán za den vzniku kvantové fyziky* (39/9–11),  
*... již v roce 1913, tedy ještě před vznikem kvantové mechaniky, ...* (68/2),
- *... bude stav elektronu určen ... třemi kvantovými čísly ...  $n$  ...  $l$  ...  $m$*  (73/17–20),  
*Například stav 3d je určen kvantovými čísly  $n = 3$ ,  $l = 2$*  (74/11–12),
- *Takovou úlohu neumíme řešit přesně ...* (79/3),  
*Moderní počítače umožňují dosáhnout libovolné požadované přesnosti* (79/5–6),
- *Zkoumáme-li v kvantové mechanice systémy více částic ... projeví se dva nové zákony, které nemají obdobu v makrosvětě. Je to především **princip nerozlišitelnosti částic**. ... Druhý fyzikální zákon, který také nemůžeme z klasického hlediska zdůvodnit, je **Pauliho vylučovací princip** ...* (79/23–80/2)  
(Pauliho princip je ovšem přímým důsledkem principu nerozlišitelnosti),

atd., atd. [P2].

Grafická úprava knihy nepřesahuje – stejně jako u ostatních svazků celé řady – dlouhodobý tuzemský učebnicový standard. V průměrně provedených schematických obrázcích lze najít celou řadu nepřesností v kresbě i popisu. Fotografie v kapitolách čtvrté a páté jsou sice působivé, bez dostatečné opory v textu však mají spíše jen dekorativní význam. (Dostí výmluvně o tom svědčí i fakt, že jedna z nich (na straně 92) je v obou dosavadních vydáních učebnice [15], [24] – ve druhém *byly pouze odstraněny některé drobné tiskové chyby* [25] – otočena o devadesát stupňů.) Kreslené obrázky uvádějící jednotlivé kapitoly jsou většinou jak výtvarně, tak myšlenkou velice slabé a do učebnice, podle mého názoru, rozhodně nepatří.

Recenzovaný svazek je po všech stránkách málo kvalitní tiskovinou. Úplný výčet jeho chybných, nesrozumitelných nebo jinak defektních míst by prodloužil toto sdělení na míru neúnosnou pro časopiseckou publikaci, jejich podrobný komentář by pak byl delší než sám učebnicový text. Na závěr tedy už jenom obecnou poznámku: Domnívám se, že budoucím lékařům, právníkům, filologům, manažerům, ... by stačilo (a bylo rozumné) vyložit, že existuje jistá oblast jevů, které nejsou dostupné přímé smyslové zkušenosti, a ukázat jim – nezkresleně a přesvědčivě – že lidský rozum byl přesto schopen prozkoumat tuto oblast natolik, aby bylo možné těchto jevů i vědomě využívat. Něco takového by, samozřejmě, bylo rovněž dobrým základem pro jakékoli navazující přírodovědné či technické vzdělávání. Každý vzdělanec by měl jistě také něco vědět o atomech a jejich vlastnostech. Pro středoškolskou úroveň je však mnohem vhodnější fenomenologický přístup k této problematice než nezbytně málo zdařilé pokusy o elementarizované kvantověteoretické konstrukce. Do gymnaziální výuky je rozumné zařadit i stručnou informaci o pojmech, s nimiž operuje vědecko-populární publicistika. Příslušný výklad však musí být v každém případě poctivý, tedy přiměřený, srozumitelný a podepřený přesvědčivými argumenty. Nedostojí-li tomuto požadavku sama učebnice, těžko očekávat intelektuální poctivost od gymnazistů, pro něž má být její text vodítkem, oporou a vzorem.

### Literatura a poznámky:

- [1] Marx G. (ed.): *Atoms in the school. (Proceedings of the first and second DANUBE SEMINAR)*. Roland Eötvös Physical Society, Budapest 1975.
- [2] Marx G. (ed.): *Structure of matter in the school. (Proceedings of the fourth DANUBE SEMINAR)*. Roland Eötvös Physical Society, Budapest 1979.
- [3] Marx G. (ed.): *Quantum Mechanics in the school*. Roland Eötvös University, Budapest 1981.
- [4] Lacina A.: *Poznámka k popularizaci kvantové mechaniky*. Ve: Pavluch J. (red.): *Fyzika a fyzikální vzdělávání*. JČSMF, Praha 1989, str. 119.
- [5] Arons A. B.: *Teaching Introductory Physics*. J. Wiley & Sons, New York 1997.
- [6] Pišút J.: *O vývoji vyučovania kvantovej fyziky na našich gymnáziach*. MFvŠ **16**, č. 1, (1985/86) 47.
- [7] Ančincová Y.: *Vývoj výuky kvantové fyziky na SVVŠ*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta MU, Brno 1989.
- [8] Fuka J. a kol.: *Fyzika pro III. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (pro III. a IV. ročník gymnasia)*. SPN, Praha 1965.
- [9] Fuka J.: *Doplňěk k učivu fyziky pro IV. ročník gymnázia*. SPN, Praha 1984.

- [10] Lehotský D. a kol.: *Fyzika pro IV. ročník gymnázia. Experimentální učební text*. SPN, Praha 1982.
- [11] Lacina A.: *Poznámky k výkladu kvantové mechaniky v experimentální učebnici fyziky pro gymnázia*. Ve: Černohorský M., Janás J. (red.): *Nové impulzy (Seminární materiály 2)*. FVS JČSMF, Brno 1983, str. 38.
- [12] Pišút J. a kol.: *Fyzika pro IV. ročník gymnázií*. SPN, Praha 1987.
- [13] Pišút J.: *Poznámky k nové učebnici pro 4. ročník gymnázia*. MFvŠ **17**, č. 9 (1986/87) 608.
- [14] Lacina A.: *Kvantová mechanika v gymnaziální učebnici Fyzika IV*. Ve: Černohorský M. (red.): *V. seminář o filozofických otázkách matematiky a fyziky*. JČSMF, Žďár nad Sázavou 1988, str. 82.
- [15] Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia, Fyzika mikrosvěta*. Galaxie, Praha 1993.
- [16] Arons A. B.: *Cesta k přírodovědné gramotnosti I, II*. Čs. čas. fyz. **A35**, č. 1 (1985) 58 a č. 2 (1985) 151.
- [17] Konečný P.: *Lze zobrazit atomovou strukturu látky?* Školská fyzika **IV**, č. 1 (1996/97) 17.
- [18] Brdička R. a kol.: *Úvod do fyzikální chemie*. SNTL, Praha 1972.
- [19] Lacina A.: *Atom – od hypotézy k jistotě*. Školská fyzika **IV**, č. 4 (1996/97) 3.
- [20] Lacina A.: *Poznámka k analogii „stacionární kvantový stav – stojatá vlna na struně“*. PMFA **XXVIII**, č. 6 (1983) 381.
- [21] Černý V., Pišút J., Prešnajder P.: *Ešte raz k analogii „stacionární kvantový stav částice viazanej na úsečku – stojatá vlna na strune“*. PMFA **XXX**, č. 4 (1985) 226.
- [22] Lacina A.: *Lokalizovaný elektron, stojaté vlnění na struně a kvantování energie*. Ve: Pavluch J. (red.): *Fyzika a fyzikální vzdělávání*. JČSMF, Praha 1989, str. 90.
- [23] Horský P.: *Univerzitní příprava gymnaziálních učitelů fyziky (se zvláštním zřetelem ke kvantové mechanice)*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta MU, Brno 1996.
- [24] Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia, Fyzika mikrosvěta (2. vydání – dotisk)*. Prometheus, Praha 1999.
- [25] Štoll I.: *K nové učebnici pro gymnázia Fyzika mikrosvěta*. MFI **4**, č. 7 (1994/95) 308.

[P1] Podrobná fyzikální diskuse [20], [21] argumentace užitá v odstavci 2.5 ukázala, že se tento postup, ani po nezbytných úpravách, k elementárnímu výkladu kvantování energie příliš nehodí [22]. Naopak fyzikálně-pedagogickou hodnotu promyšlené prezentace mnohdy karikovaného a ke škodě věci opomíjeného Bohrova modelu zdůrazňuje [5].

[P2] Posledně citované pasáže svědčí hlavně o malé péči věnované závěrečné redakci textu učebnice. Dokladem toho, že k podstatnému zlepšení výsledku by namnoze stačila větší formulační pečlivost, je alternativní zpracování odstavců 2.1 až 2.4 nesrovnatelně méně erudovaným autorem [23]. V této práci je rovněž provedena nezávislá recenze [15] a soustředěny názory dvacítky – převážně vysokoškolských – pedagogů na výuku základní kvantové mechaniky. (První dvě kapitoly [23] jsou dostupné na internetové adrese <http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/diplomky/horsky.htm>)