

Poznámka k popularizaci kvantové mechaniky

Aleš Lacina, Přírodovědecká fakulta MU v Brně

Jak popularizace, tak výuka kvantové mechaniky na všech typech škol je nadměru obtížnou záležitostí. Hlavní důvod je všeobecně znám a nedá se žádným způsobem odstranit; je jím totiž sama povaha této disciplíny. Mikroobjekty, které jsou předmětem studia kvantové mechaniky se svými vlastnostmi a chováním 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 a naše intuice, která z ní vychází, selhává. A tak nejen tyto objekty, ale i úvahy kvantové mechaniky, která je popisuje, lidem vždy připadaly, připadají a navždy budou připadat nanejvýš podivné. V jádru jsme makroskopickými bytostmi a z toho důvodu máme podvědomou tendenci pohlížet dokonce i na mikrosvět klasickými očima. Zejména pro začátečníky je nesmírně obtížné odolat tomuto pokušení. (Často se citují – a nejen pro povzbuzení, ale prostě proto, aby se ukázalo, že před mikrosvětlem jsme si všichni rovni – výroky koryfejí kvantové mechaniky, přiznávající jejich vlastní potíže.) To je tedy při popularizaci a výuce kvantové mechaniky prvořadý problém. A připočteme-li k němu i další těžkosti, spojené s veškerým fyzikálním vzděláváním nebo dokonce vzděláváním vůbec, pochopíme, proč je kvantovou mechaniku tak obtížné nejen studovat, ale hlavně vyučovat.

Zvláště ostře se tento problém projeví při pokusech tlumočit základní ideje kvantové mechaniky na elementární úrovni. Ne snad jen proto, že vyšší úroveň myšlení posluchačů vždy práci učitelů zjednodušuje, ale zejména díky tomu, že je mnohem obtížnější začátečníkům srozumitelně vyložit, co je podstatou kvantové mechaniky, než učit fyzikálně vyspělejší posluchače speciální výpočetní postupy. V této souvislosti se nabízí kacířská otázka: "Má vůbec smysl učit kvantovou mechaniku, na střední škole?", nebo obecněji "Má ji vůbec smysl popularizovat?" Odpověď je kladná.

Ačkoliv je kvantová mechanika velice obtížná, měla by být popularizována a její základní ideje by se měly vyučovat na střední škole.

(I)

V její prospěch mluví celá řada důvodů:

1. Kvantová mechanika je důležitou součástí lidské kultury. Je jedním z nejskvělejších výsledků myšlení, prokazujícím, že lidský mozek je schopen zvládnout i jevy, které jsou mimo dosah smyslového vnímání.
2. Kvantová mechanika je teorií struktury hmoty. Člověk, který chce být považován za vzdělaného, ji proto nemůže ignorovat.
3. Kvantová mechanika je základem nesčetných vědeckých a technických aplikací. Není přeháněním říci, že z ní vychází celá moderní přírodověda. Bez ní by neexistovala atomová energie, jaderné zbraně, lasery, počítače; byla východiskem rozšířování struktury DNK, neobešla by se bez ní molekulární biologie, genetické inženýrství atd. Uvědomíme-li si, že všechna tato slova se stávají součástí našeho každodenního jazyka, mělo by nás také zajímat, co se za nimi skrývá. Jinak bude totiž naše řeč jen bezobsažným žonglováním s těmito sice působivými, ale nepochopenými pojmy.

Nezvyklost kvantové mechaniky vede i k mimořádným pedagogickým problémům. Jedním z hlavních úkolů pedagogiky je totiž podávat učební látku tak, aby byla pro vyučovaný subjekt snáze přijatelná, např. zaváděním analogií s věcmi již známými nebo problémy již řešenými. Svérázné vlastnosti mikrosvěta však tento postup neumožňují - nedovolují vést hluboké analogie s dříve nabytými zkušenostmi a poznatky. Žertovnými slovy jednoho z velikánů kvantové mechaniky lze říci, že *"kvantovému světu - díky jeho nepodobnosti se světem naší smyslové zkušenosti - nelze porozumět, ale je nutné si na něj zvyknout"*. Za těchto okolností ovšem

Výuka elementární kvantové mechaniky je (více než v případě jiných disciplín) kompromisem mezi fyzikálními a pedagogickými požadavky.

(II)

Pro každý kompromis je snad nejdůležitější jeho míra. Existuje řada studijních materiálů, jejichž autoři - s odvoláním na pedagogické zásady - deformují předmět tím, že vynechávají, jako příliš obtížné, jeho podstatné části a současně přetěžují text nedůležitými podrobnostmi. Jiným velmi rozšířeným nešvarem je zjednodušování výkladu nikoliv na úkor jeho úplnosti, ale jeho správnosti. Lze najít řadu pokusů klasické vysvětlení klasicky nevysvětlitelných věcí, které jsou všem nevyhnutelně chybné. Jejich autoři zřejmě věří, že je to legální způsob, jak udělat výklad srozumitelnějším. Na druhé straně se lze setkat i s fyzikálně velmi zdařilými texty, psanými s důrazem na věcnou správnost a vědeckou přesnost. Ty jsou však, bohužel, zpravidla příliš náročné, t.j.

nepřiměřené úrovni posluchačů či čtenářů, pro něž byly původně určeny. Bylo vytvořeno i celé spektrum studijních materiálů mezi oběma těmito krajnostmi, vcelku lze ale říci, že je na tomto poli třeba udělat ještě mnoho práce. Kromě důvodů, které již byly uvedeny, hovoří pro tento závěr i skutečnost, že kvantová mechanika je relativně mladou vědní disciplinou a s její popularizací je zatím málo zkušeností.

Populární výklad základních idejí kvantové mechaniky se zpravidla opírá o tzv. elementarizované postupy, seznamujícími s takovými tématy jako je kvantování energie, princip neurčitosti, stavba atomu atd. Na tomto místě snad již není třeba zdůrazňovat, jak obtížné je vymyslet opravdu kvalitní elementarizovaný postup. Proto není divu, že

Elementarizované postupy, jež jsou úhelnými kameny běžného (I) způsobu výkladu elementární kvantové mechaniky, mnohdy trpí řadou nedostatků.

(III)

Nutno přiznat, že často nevyhovují ani fyzikálním, ani pedagogickým požadavkům.

Tato situace klade nesmírné nároky na středoškolské učitele. Na základě velmi omezené vlastní znalosti kvantové mechaniky totiž mají zprostředkovat úplným začátečníkům (Newtonovcům) nerozpornou, fyzikálně nedeformovanou představu o kvantové mechanice. V této souvislosti vyvstává přirozená otázka, zda naše fakulty připravují svoje absolventy tak, aby byli sto takový úkol zvládnout. Podle autorova názoru je odpověď jednoznačně záporná.

Vysokoškolské studium nepřipravuje řádně budoucí učitele fyziky pro výuku elementární kvantové mechaniky.

(IV)

V souladu s platnými učebními plány absolventi studia učitelství získávají během své vysokoškolské přípravy lepší či horší znalosti "univerzitní kvantové mechaniky" a nezávisle jsou jim vštěpovány obecné pedagogické zásady. Nedostane se jim však toho nejdůležitějšího: tolik potřebného konkrétního návodu, jak vyučovat elementární kvantovou mechaniku. Jak se vypořádat s učebnicovými postupy, které budou základem jejich každodenní pedagogické práce ([1], [2]). (Zdůrazněme přitom ještě jednou, že tyto postupy se často nejen nepodobají, ale dokonce protičečí tomu, co je vyučováno jako kvantová mechanika na vysoké škole [3].) Za těchto okolností lze ovšem stěží očekávat, že budou na svém pozdějším působišti tyto partie vyučovat správně a přesvědčivě.

Abychom zmírnili celkově pochmurný dojem, jímž tento příspěvek bezesporu působí, uzavřeme jej několika konstruktivnějšími heslovitými komentáři shrnujícími tvrzení uvedených v textu.

- Nezvyklé chování mikroobjektů, které je hlavním zdrojem obtížnosti kvantové mechaniky, je objektivní skutečností. Nelze je proto zamlčovat, ani bagatelizovat. Jakékoliv pokusy o klasické vysvětlení kvantových efektů jsou nutně nesprávné a ve svých konečných důsledcích škodlivé.
- Fyzikální a pedagogické požadavky nejsou vždy tak nesmiřitelné, jak se to o nich traduje. Někdy je dokonce tentýž postup nevyhovující z obou hledisek, přičemž je fyziky považován za ústupek pedagogům a naopak pedagogy za ústupek fyzikům. Místo lpění na tradičních koncepcích a postupech je nutno hledat a ověřovat nová řešení.
- Existující elementarizované postupy je třeba podrobně, krok po kroku přezkoušet a odstranit jejich věcné chyby i další nedostatky (nejasné či nejednoznačné formulace, povrchní analogie, přílišná zjednodušení).
- Studentům učitelství fyziky je nutno pomoci překonat propast, která zeje mezi vysokoškolským kurzem kvantové mechaniky, jímž prošli, a středoškolskou kvantovou mechanikou, kterou budou vyučovat.
- Při stávajících, celostátně závazných učebních plánech se jednotlivé fakulty mohou pokusit tento problém řešit samostatně v rámci výběrových přednášek a seminářů.

Literatura:

[1] Pišút J.: MFvŠ 16 (1985/86) 47.

[2] Arons A. B.: Čs. čas. fyz. A35 (1985) 151. Viz též URL <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/arons.pdf>.

[3] Lacina A.: "Lokalizovaný elektron, stojaté vlnění na struně a kvantování energie", v tomto sborníku. Viz též URL <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/lokel.pdf>.