

O INTERPRETACI KVANTOVÉ MECHANIKY

O čem vlastně je kvantová fyzika?

Josef Jelen

1.

Zúčastní-li se fyzik filozofického semináře s tématem "Interpretace", nemůže mu z jeho vědy přijít na mysl nic naléhavějšího než "problém interpretace kvantové mechaniky". Otázka jak rozumět kvantové fyzice a o čem že to kvantová fyzika vlastně pojednává, je palčivou a stále živou otázkou fyziky a lidského poznání již sto let.

A to přesto, že můžeme zcela rozhodně říci, že nejvlastnější fyzikou posledního století je právě kvantová fyzika. Není jí teorie relativity, s jejím dříve netušeným a fascinujícím vzájemným sepětím prostoru a času, ani tzv. obecná teorie relativity, která pojednává o tom, jak struktura a zakřivená geometrie prostoročasu jsou určovány univerzálním gravitačním působením veškerého energetického (t.j. setrvačného a tedy "hmotného") obsahu vesmíru. Teorie relativity dokázala mnohé, umožnila dříve pouze filozofické a spekulativní kosmologické otázky o povaze a proměnách vesmíru převést podstatnou měrou na testovatelné otázky přírodovědného poznání. Pro zvědavé čtenáře bylo o těchto tématech napsáno a do češtiny přeloženo mnoho a mnoho hodnotných populárně vědeckých knih. Viz kupř. seznam v [1]. Tato oblast fyziky představuje dnes mezi veřejností asi nejpřitažlivější část současné fyzikální teorie vůbec. Přesto lze říci, že v jistém smyslu jde ještě o rozvíjení představ a pojmů fyziky století 19. Pohyby částic a proměny klasického elektromagnetického, případně gravitačního pole tu mohou být znázorněny, nakresleny a naší představivostí a intuicí srozumitelně uchopeny a přijaty. I černé díry, do sebe uzavřený vesmír a podobné "divnosti" jsou dosti názorné a přijatelné. Nevzniká naléhavý "problém interpretace." Vše si umíme víceméně přijatelně představit.

2.

Docela jinak je tomu s fyzikou kvantových jevů. V ní překračujeme rozsah našich každodenních zkušeností ze situací makroskopického světa a ze všedního života a naše mysl nám zde již nenabízí spolehlivé návody k představám a k názornému pochopení. Svět se na úrovni atomů a kvantových polí a jejich částic stává nenázorným. Nepodobá se světu, jak jej běžně vnímáme. Nikterak to však neznamená, že zde vládne magie a tajemné, zlomyslné a člověku nedostupné síly. Není zde místa pro mysticismus a pavědu. I zde vědecká metoda funguje a je úspěšná [2].

Úplně naopak, právě zde se stává jediným adekvátním postupem, který nám umožňuje důvěryhodné poznání. Důsledně logické myšlení, pokud možno matematicky kvantitativně vyjádřená fyzikální teorie, dobře formulované otázky kladené přírodě, testovatelné předpovědi a důsledné experimentální ověřování vypočítaných předpovědí, to jsou postupy, které přinášejí úspěch.

Právě na kvantových jevech mikrosvěta je založena velká většina našich technických vymožeností posledních desetiletí. Uvedme jen několik příkladů: počítače, mobilní telefony, lasery, čipy všeho druhu, špičková lékařská technika (třeba s nukleární magnetickou rezonancí) atd.

Jako uznání za přínos fyziky lidské společnosti v tomto období, byl rok 2005 po právu vyhlášen "Světovým rokem fyziky." viz např. [3]. V jistém smyslu je kvantová fyzika dokonce nejpřesnější fyzikální teorií. Kupř. hodnota magnetického dipólového momentu

elektronu vypočtená s uvážením i tzv. polarizace vakua souhlasí s naměřenou hodnotou až do nejzazších možností přesnosti měření. Souhlasí s relativní přesností 10^{-12} .

Kvantové jevy se projevují především na úrovni atomů, ale ve svých důsledcích jsou i nositeli a garanty všech obvyklých vlastností předmětů kolem nás: mechanických, elektrických, magnetických, optických ap. Umožňují vyjádřit strukturu a vlastnosti molekul a jsou tedy i základem při porozumění chemii, molekulární biologii a vlastně i celé přírodní vědě. Na makroskopické úrovni přes veškerou svoji podivnost vedou kvantové jevy k nám dobře známému klasickému chování se objektů našeho makroskopického světa. Tím, že zajišťují stabilitu atomů, vedou vlastně ke stabilitě světa vůbec.

3.

Přesto nemáme uspokojivý pocit a něco nám na kvantové teorii připadá těžko přijatelné. Pro ilustraci těchto rozpaků uvedme krátké citáty (z různých dob) tří fyziků z těch nejpřednějších, kteří se o kvantovou fyziku výrazně zasloužili. (Všichni jsou nositeli Nobelových cen za studium kvantových jevů.)

- Einstein (1951, v dopise): "Celých těch padesát let hloubání mě nepřivedlo blíže k odpovědi na otázku, co to jsou světelná kvanta."
- Feynman (1967, O povaze fyzikálních zákonů): "Byly doby, kdy noviny tvrdily, že teorii relativity rozumí jen dvanáct lidí. Nemyslím, že by to byla někdy pravda. Naproti tomu se dá, myslím, klidně říci, že nikdo nerozumí kvantové mechanice."
- Weinberg (1993, Snění o finální teorii): "Přiznám se k určité sklíčenosti z toho, že jsem celý život pracoval v teoretickém rámci, kterému nikdo zcela nerozumí."

4.

Hlavními rysy kvantové fyziky s nimiž se těžko smiřujeme jsou asi tyto tři:

- a) Jednotlivé události (vlastně "výsledky měření," třeba cvaknutí registračního zařízení) jsou zcela náhodné. Můžeme stanovit pravděpodobnost této události (tj. pravděpodobnost určitého výsledku měření), samotné události však nelze připsat příčinu, která k ní jednoznačně vedla. Nejde o naši neznalost okolností či detailů, jako tomu bývá při pravděpodobnostním popisu jevů v klasické fyzice. (To ovšem neznamená, že nejsou situace, kdy výsledek lze, i v kvantové fyzice, předpovědět s jistotou, tj. s pravděpodobností rovnou jedné.)
- b) Přesné výsledky měření určitých (tzv. nekompatibilních, nekomutujících) veličin se vzájemně vylučují a vedou k nerovnostem typu Heisenbergových relací mezi polohou x a hybností p : $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. Malá hodnota Planckovy konstanty $\hbar = 10^{-34}$ Js je charakteristickou mírou kvantového světa. Heisenbergovy relace odpovídají obvyklé představě komplementarity vzájemně se vylučujícího i doplňujícího částicového a vlnového popisu kvantových dějů.
- c) Dva podsystémy původně jednoho systému mohou být navzájem i na dálku korelovány. Jejich stavy jsou zapleteny (entanglovány) a měření provedené na jednom z nich mění i na dálku okamžitě stav toho druhého. Máme co činit s jakousi nelokálností přírodního dění.

5.

Nejnámějším, ale výstižným a typickým příkladem a ilustrací vlastností kvantových jevů je tzv. interference ze dvou štěrbin. Ta je známa pro světelné vlnění po více než 200 let a byla vždy chápána jako doklad vlnových vlastností světla. Podobně jako světlo (jehož korpuskulární aspekty jsou známy teprve 100 let) interferenci vykazují i svazky elektronů a jiných částic (neutronů, atomů...).

V obr. 1 přichází svazek částic zleva na přepážku se dvěma štěrbinami 1 a 2. Rozptýlené částice dopadají poté na stínítko S. Každá částice (stejně jako u světla každý jednotlivý foton) je registrována (lokalizována) na zcela určitém místě stínítka.

Rozložení počtu částic dopadajících do jednotlivých míst je dáno křivkami I_1 , I_2 a I . Je-li otevřen toliko otvor 1 (tzn. otvor 2 je zakryt), dopadají částice podle křivky I_1 . Je-li otvor 1 zakryt a je otevřena jen štěrbina 2, dopadají částice podle čáry I_2 . Jsou-li otevřeny štěrbinou obě, je četnost rozložení dopadů dána křivkou I . Protože ($I \neq I_1 + I_2$) nemůžeme prostě říci, že každá částice prošla právě jedním z obou otvorů (buď otvorem 1 nebo otvorem 2). Každá přicházející částice tedy jaksi "ví" jak se zachovat v daném případě, „ví“ zda je otevřena štěrbina 1, 2 nebo obě současně. Jakoby procházela oběma štěrbinami. Pokud bychom se pokoušeli upravit experiment nějak tak, abychom mohli zjišťovat, kterou štěrbinou částice procházela, interference zmizí a bude platit $I = I_1 + I_2$ [4]. Bude to ovšem už jiný experiment.

Jak se srovnat s tak podivným chováním elektronů? Jen tak, že elektrony nejsou prostě malé záporně nabitě kuličky klasického typu. Elektrony jsou objekty, které nám malé kuličky často připomínají a můžeme s touto představou mnohdy dobře vystačit (třeba u pohybu elektronů v obrazovce osciloskopu). Ale je to představa jen přibližná, pro nás názorná, ale často zavádějící. Trajektorie elektronů v atomech, jak je známe z názorných náčrtů atomů, jsou opravdu jen schematickým znázorněním. Elektrony v atomech ve skutečnosti opravdové dráhy prostě nemají.

6.

Páteří kvantové mechaniky je specifický matematický aparát zformovaný ve druhé polovině 20. let 20. století. Seznam autorů tenkrát vytvořené nové teorie (často tehdy nazývané i vlnová mechanika) zahrnuje jména de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born, Dirac, von Neumann a další. K pojetí toho, jak teorii rozumět a jak ji chápat, významně přispěl N. Bohr a většinu standardních učebnic na dlouhá desetiletí ovlivnila tzv. kodaňská interpretace.

Pokusme se pro nefyziky alespoň naznačit základní rysy této teorie. Nelze ovšem očekávat, že čtenář může a bude rozumět, jde jen o vytvoření představy a o zdůraznění základních aspektů teorie a příslušné matematické struktury. Vše je mnohem složitější a obsáhlejší. O matematické rigoróznosti nemůže být v našem náčrtu ani řeč.

Stavům kvantového systému odpovídají (normované, tj. jednotkové) vektory jako elementy tzv. Hilbertova prostoru stavů. Tyto elementy mají obvykle podobu komplexních funkcí. Vžitě je označování řeckými písmeny, nejčastěji $|\psi\rangle$. Pod vnějšími energetickými vlivy se tento stav, tzn. tato funkce $\psi(\mathbf{r}, t)$, deterministicky vyvíjí s časem podle tzv. časové Schrödingerovy rovnice.

Klasické fyzikální veličině, kterou na systému (jímž teď máme na mysli částici v silovém poli, třeba elektron v atomu) můžeme měřit (např. polohu, složky hybnosti či momentu hybnosti, energii apod.), přísluší matematický objekt zvaný (Hermitovský) operátor. Ten převádí danou funkci obecně na jinou funkci např. tím, že obsahuje její derivování apod.

Každému operátoru přísluší tzv. spektrum jeho vlastních hodnot, tj. posloupnost reálných čísel a_i , $i = 1, 2, 3, \dots$. Jako ilustraci si představme třeba spektrum přípustných hodnot energie vodíkového atomu E_i , $i = 1, 2, 3, \dots$ které známe již ze střední školy. Jinou velikost energie než některou z těchto hodnot při měření získat nemůžeme.

7.

Mějme systém ve stavu $|\psi\rangle$. Měříme veličinu \hat{A} . Stav $|\psi\rangle$ můžeme chápat jako superpozici stavů $|\psi_i\rangle$, $i = 1, 2, \dots$, jenž odpovídají jednotlivým možným výsledkům měření a_i (stavy odpovídají vektorům v Hilbertově prostoru)

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |\psi_i\rangle \quad (1)$$

Známe-li výsledek měření, kupříkladu a_2 , musíme k novým předpovědím pravděpodobností možných výsledků jakýchkoli dalších měření používat již novou stavovou funkci ψ_2 , která přísluší k této naměřené hodnotě a_2 . Viz. obr.2

V aktu měření se mění stav systému. Nemění se ale postupnou evolucí, nýbrž skokem $\psi \rightarrow \psi_2$. Této náhlé změně stavové funkce se říká obvykle kolaps nebo redukce. Nelze měřit nepozorovaně, bez jakéhokoliv ovlivnění, jako v klasické fyzice.

Měření samo je nepochybně fyzikálním procesem daným interakcí systému s měřícím přístrojem a mělo by tedy podléhat evolučnímu procesu popsaném časovou Schrödingerovou rovnicí zachycující interakci systému a měřícího přístroje. V kodaňské interpretaci tento tzv. R proces kontrastuje s evolučním U procesem. Viz např. [5]. Obvykle se uchylujeme k odkazu na tzv. proces „dekoherence“ v důsledku ohromného počtu stupňů volnosti makroskopického přístroje a okolního světa.

8.

Měříme-li po sobě dvě různé veličiny, mnoho záleží na tom, v jakém vztahu vůči sobě tyto veličiny jsou a zda jejich operátory \hat{A} a \hat{B} v součinu komutují (tj. $\hat{A}\hat{B} = \hat{B}\hat{A}$). Pak při měření nezáleží na pořadí a měření se vzájemně neovlivňují. Jestliže jejich operátory spolu nekomutují ($\hat{A}\hat{B} \neq \hat{B}\hat{A}$), nelze tyto dvě veličiny měřit současně. To je případ Heisenbergových relací neurčitosti mezi polohou a hybností částice. Použité makroskopické přístroje neumožňují současná měření a přivádějí nás k uplatnění představy částice (při měření místa) nebo představy vlny (při měření hybnosti).

Heisenbergovy relace neurčitosti bývají obvykle slovně komentovány dvěma odlišnými způsoby. Buď tak, že v procesu měření měřená částice má sice určitou polohu a hybnost, je však měřením nekontrolovatelně ovlivněna, přičemž mírou tohoto ovlivnění je Planckova konstanta minimální akce \hbar , nebo tak, že měřenému objektu tyto veličiny (poloha a hybnost) vlastně nepřísluší a volbou toho co se měří se teprve konstituují.

9.

Vážné výhrady a subjektivní pocity nespokojenosti s kvantovou mechanikou, jak se tenkrát zformulovala, vyjádřili velice zřetelně již r. 1935 dva z předních tvůrců této nové fyziky. Schrödinger tak učinil svojí představou kočky, jejíž stav je vhodně spjat se stavem radioaktivního atomu a kočka je tak ve stavu superpozice kočky živé a mrtvé. (U mikroobjektů je takové vyjádření zcela běžné.) Einstein se dvěma spoluautory vyjádřil na základě tzv. EPR paradoxu své přesvědčení, že kvantová teorie je neúplná a neodpovídá očekávané představě o vlastnostech fyzikální reality a lokálnosti přírodního dění. Je ironií historie, že právě tyto dva velcí fyzikové se svojí kritikou mimořádně zasloužili o rozvoj a úspěšné aplikace právě těch rysů, které kritizovali: totiž zapletenosti stavů a jevů kvantové superpozice ve studiích o tzv. „kvantové informaci“, kterou lze asi bez nadsázky označit za téměř hit naší doby v nadějích na kvantové počítání a aplikace kvantové teleportace a kvantové kryptografie.

Obě tyto varovné námitky by si zasluhovaly náležitě pozornosti. Schrödingerova kočka doplněná tzv. „Wignerovým přítelem“ (přítel měří, ale výsledky nám neoznámí) a EPR paradox, později rozvinutý (a poté i experimentálně testovaný) v Bellových nerovnostech, dokládajících nelokálnost kvantových stavů. To by však byl úkol pro obsáhlou studii, do tohoto příspěvku zcela nepřiměřený. (Základní poučení o podivnostech kvantových jevů lze

hledat v četných popularizačních knihách o moderní fyzice od renomovaných autorů. Seznam z posledních let lze najít kupř. na www stránkách [1].)

10.

V diskusi mezi Bohrem a Einsteinem ze 30. let 20. století se větší část fyzikální komunity klonila spíše na stranu Bohrovu a přijímala převládající kodaňské, víceméně operacionalistické pojetí toho jak kvantovou mechaniku přijímat a zacházet s jejím matematickým aparátem.

Přesto byly opakovaně činěny systematické pokusy o jiné chápání a jiné porozumění. Nejdále rozvedeným přístupem je asi tzv. Bohmova mechanika, v níž David Bohm navázal na starší de Broglieovu představu tzv. pilotní vlny. V Bohmově mechanice je sice přijímán klasický polohový vektor částice $\mathbf{r}(t)$ a tedy i představa o trajektoriích částic, je však doplněna pojmem tzv. „vedoucího pole“, popsaného funkcí $\Psi(\mathbf{r}, t)$, zaváděnou již ve Schrödingerově rovnici. V oblasti nerelativistické kvantové mechaniky (tj. v situacích, kde sepětí prostoru a času není příliš podstatné) je tato teorie schopna reprodukovat obvyklé výsledky kvantové mechaniky. Nenabízí však nadějně perspektivy jak teorii rozvíjet do kvantové teorie polí, tj. do situací s proměnným počtem částic, kde částice také vznikají a zanikají.

11.

Mnohými fyziky formálně přijímaná, avšak dosti bizarní je představa tzv. „teorie mnoha světů“. V ní při každém měření a rozkladu stavové funkce na její složky, dochází k rozštěpení světa na všechny v úvahu připadající alternativy a počet navzájem nespojených světů tak lavinovitě narůstá.

O interpretacích kvantové mechaniky bylo napsáno mnoho článků a řada monografií, vzájemně nesouhlasících nebo alespoň akcentujících jiné aspekty teorie. Některé pokusy o odlišné formulace se pokoušejí distancovat se od pojmů jako pozorovatel či pozorovatelná veličina, které se v kodaňském přístupu obvykle vyskytují. Mnozí očekávají, že problémy se vyřeší teprve nalezením kvantové teorie gravitace, tj. teprve spojením obou gigantických vůdčích teorií ve fyzice 20.století: obecné teorie relativity a kvantové teorie polí [5].

12.

V současnosti nejnadějnější a nejpřesvědčivější jsou asi ty přístupy, které radikálně přehodnocují představy, o čem vlastně kvantová teorie vypovídá. Na místo starších primitivních (tj. základních a výchozích) pojmů jako částice, vlna, energie apod. přichází nově pojem informace.

Ostatně, bez ohledu na filozofické zřetele, nejnovější převratné praktické aplikace kvantové teorie v posledním období jsou nacházeny právě v oblastech kvantové kryptografie, teleportace a kvantového počítání, tj. tam kde „kvantová informace“ dominuje. A po živé a rozporné diskusi v časopise Physics Today v letech 1998-1999 a po různých pokusech o interpretaci kvantové mechaniky přišel dosti razantní až provokující článek Ch. A. Fuchse a A. Perese nazvaný „Kvantová mechanika nepotřebuje žádnou interpretaci“. Konstatuje, že věda prostě klade ve svých experimentech přírodě otázky a příroda na ně po svém odpovídá. To je vše, co můžeme žádat.

13.

Stojí za to ilustrovat základní rysy tohoto chápání. Nechť je provedeno několik po sobě následujících měření veličin \hat{A} a \hat{B} s obecně nekomutujícími operátory. Obr.2.

Jde opravdu jen o ilustraci, tedy o obrázek názorně demonstrující určité rysy. Nejde o matematický výklad. V matematice školený čtenář musí odpustit nepřesnosti, nefyzik snad může alespoň tušit, co chceme obrázkem ilustrovat.

Mějme systém ve stavu daném stavovou funkcí $\psi(\mathbf{r})$. (Chceme-li zdůraznit, že jde o veličiny vektorové povahy, píšeme obvykle symbol $|\psi\rangle$.) Tato funkce může být zapsána jako superpozice stavů $\psi_i, i=1,2,\dots$ viz (1). (Tak, jako vektor je superpozicí svých složek podle jednotlivých navzájem kolmých os). Pravděpodobnosti jednotlivých možných výsledků $a_i, i=1,2,\dots$ jsou dány čísly $p_i = c_i c_i^*$ (kde c_i^* je komplexně sdružená hodnota k hodnotě c_i). Platí ovšem $\sum_i p_i = 1$. (Vektory jsou normované a celková pravděpodobnost je rovna jedné.)

Proveďme měření \hat{A} . Necht' naměříme výsledek třeba a_2 . To ale znamená, že stav systému je nyní zadán (znormovanou) funkcí ψ_2 . Měřme teď veličinu \hat{B} a jako výsledek necht' obdržíme b_4 . Stav ψ_2 tedy zkolaboval do stavu φ_4 . Opakujme měření \hat{A} a jako výsledek můžeme opět obdržet kteroukoli hodnotu $a_i, i = 1,2,\dots$ Pravděpodobnosti výsledků teď počítáme rozvojem funkce φ_4 do funkcí $\psi_i, i = 1,2,\dots$. Měřením dostaneme třeba a_1 a systém tím přejde do stavu ψ_1 . Atd. Podle výsledků posledního měření se vždy mění stav systému.

14.

Z tohoto překvapivého a zarážejícího chování lze jistě přijmout hledisko, že stavová funkce nepatří ani tak systému samému, ale spíše naší znalosti (naší informaci) o systému. Funkce Ψ je vlastně katalogem předpovědí pravděpodobností pro všechna možná další měření, která na systému provedeme. Tento přístup je dnes hojně přijímán jako základ interpretací kvantové mechaniky.

Samozřejmě, ne pro všechny je to uspokojivá a definitivní odpověď na otázku, co je to vlastně fyzikální realita. Realita znamená skutečnost. A skutečnost je o skutcích, ne o přáních či představách. Musíme se smířit s tím, že na mikroskopické úrovni se struktura světa nechová prostě tak, jak ji známe z naší makroskopické zkušenosti. Primitivním pojmem (tj. pojmem výchozím a základním) je zde pojem informace, ovšem informace v kvantové podobě. To nás často jistě nemile překvapuje.

15.

Postupně získané informace se v mikrosvětě prostě obecně neskládají a nekumulují. Mikroobjekty nenesou své charakteristiky (své vlastnosti, tj. hodnoty určitých veličin) s sebou tak jako předměty kolem nás.

Představme si situaci. Máme nové boty. Barva (veličina \hat{A}) je černá (provedené měření), změříme číslo bot (veličina \hat{B}) a obdržíme hodnotu 43 (výsledek měření). Opakujeme měření veličiny \hat{A} a zjištěná (naměřená) barva bot je hnědá atd. Divné, že?

V mikrosvětě je to ale situace zcela běžná. Kupř. při postupném měření projekce spinu do dvou různých os x a y ($s_x = \frac{1}{2}\hbar, s_y = \frac{1}{2}\hbar, s_x = -\frac{1}{2}\hbar, \dots$). Operátory \hat{s}_x a \hat{s}_y ovšem nekomutují. Na takovémto chování funguje řada dnešních technických vymožeností založených na jevech mikrosvěta. Elektronky se zde takto „bláznivě“ chovají a přinášejí nám tím užitek.

Makrosvět se takto ovšem nechová. Makroskopické veličiny jsou definujícími charakteristikami daného předmětu, které si tyto objekty nosí stále s sebou. Prováděná měření tyto charakteristiky jenom zjišťují a konstatují.

16.

Že podivnostem kvantového světa dobře nerozumíme a neumíme si vše představit? Vždyť ale také sepětí prostoru a času a konstantní rychlost světla si neumíme vlastně představit. Neumíme vypracovat názorný mechanický model éteru, který by této konstantní rychlosti odpovídal. Éter bylo třeba opustit a Einstein založil teorii jinak. Vyšel z několika experimentálně potvrzených skutečností a ty vzal jako axiomy, jako principy nové teorie.

I kvantovou mechaniku lze podobně vybudovat [7]. Přijmeme-li některé experimentálně potvrzované skutečnosti o tom, co lze a co nelze (kupř. nelze přenášet informaci nadsvětelnou rychlostí, stav objektu nelze klonovat ap.) jako výchozí principy, je možné odtud vystavět matematický aparát takový, jaký v kvantové mechanice již dlouho dobře funguje. Lze vyvodit strukturu Hilbertových vektorových prostorů pro stavy systémů. Vše funguje jak potřebujeme a z kvantové mechaniky již dávno známe.

Informace, o které tu je řeč, má povahu takovou, s jakou se střetáváme právě v kvantové mechanice. Nechová se kumulativně, jak jsme zvyklí z makrosvěta. Mikrosvět není prostě zmenšeninou světa kolem nás. Neumíme si ho představit. „Názorná interpretace“, založená na obrazech každodenní zkušenosti, tady selhává.

17.

Přesto na makroskopické úrovni vše souhlasí se vším, co o světě víme, a neodporuje tomu, co dobře známe. Kvantová mechanika nás nevede ke spiritismu, k „ ψ polím“ psychotroniků a jiným nekonzistentním představám pseudovědců. Symbol ψ je v těchto „naukách“ jen zneužíván pro větší „vědeckost“ těchto nevědeckých výmyslů. Otevřených otázek zůstává před poctivou vědou i tak až dost.

18.

Kvantové jevy připouštějí, ba vyžadují spekulace a výhledy o tom jak dál. Velmi lákavá k úvahám je kupř. skutečnost, že už i ten nejjednodušší Hilbertův prostor se dvěma dimenzemi, jakým je např. prostor stavů projekce spinu elektronu do zvoleného směru ($s_z = \pm \frac{1}{2}\hbar$), v klasické podobě odpovídá prostoru vektorů („šipek“), k jejichž určení potřebujeme nekonečně velkou informaci. Směr je určen úhly, které jsou dány hodnotami reálných čísel. A reálné číslo odpovídá informaci nekonečně velké. Měřením však můžeme získat jen jednu ze dvou přípustných hodnot, tedy jen informaci velikosti jednoho bitu. Nechybějí proto úvahy, že nějak tudy, přes „nedostupnou informaci“, by mohla vést cesta k pochopení povahy života a zejména k fenoménu vědomí [8].

19.

Spekulace a hledání nových cest mohou mít velice odlišnou hodnotu. Mohou to být úvahy seriózní a odpovědné, vycházející z toho, co o kvantových jevech víme a co je vědecky potvrzováno, kupř. [5, 7, 8].

Mohou to být ale i spekulace blábolivé, vycházející z neschopnosti pochopit a z nechuti snažit se pochopit. Takového druhu je pavěda a laciné fantazírování.

20.

Myslím, že tu správnou cestu musíme hledat s plným respektováním výsledků fyziky (které ve svých mikroelektronických zařízeních již běžně a blahobytně využíváme), se znalostí matematických metod (které fungují i tam, kde naše představivost již selhává) a také s přiměřeným filosofickým přístupem a nadhledem [2].

Otázka všeobecně přijaté interpretace kvantové fyziky je problém velice závažný nejen pro fyziku, ale i pro celou přírodovědu a lidské poznání.

Možná, že je to ta nejtěžší a nejzávažnější otázka z hraničních oblastí mezi fyzikou a filosofií vůbec.

Literatura :

- [1] http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/prirodovedny_obraz_sveta/
- [2] Jelen J., O hodnotách a poselství vědy, sborník ze semináře *Racionalita, věda a filosofie*, Ed. J. Nosek, Filosofia 2006
- [3] Jelen J., „Světový rok fyziky“ jako uznání a hold fyzice, *Čes. čas. fyz.* 55 (2005), s. 634
- [4] *Feymanovy přednášky z fyziky 3/3*, Fragment, Praha 2002
- [5] Penrose R., *Makrosvět, mikrosvět a lidská mysl*, Mladá fronta, Praha 1996
- [6] Fuchs Ch. A., Peres A., *Phys. Today*, March 2000, s. 70
- [7] Bub J., *Found. Phys.* 35, 541 (2005)
- [8] Auletta G., *Found. Phys.* 35, 781 (2005)