

Štefan Hríb & Martin Mojžiš

Desať rozhovorov o kvantovej mechanike

W Press, 2024



• 10

Werner Heisenberg

- (...) Najmenšie jednotky hmoty nie sú v skutočnosti fyzické objekty v bežnom zmysle, sú to skôr formy, idey, ktoré môžu byť jednoznačne vyjadrené len v matematickom jazyku.

• 12

Dobrý novinový alebo knižný rozhovor (...) nevzniká tak, že sa zvuková nahrávka prepíše, ale tak, že sa podľa tej nahrávky napíše.

• 53

(...) Nám sa nemusí zdať nič čudné na tom, že niektoré veci sa skladajú z nedeliteľných čiastočiek a iné nie, (...) [Einsteinovi] to trochu čudné pripadalo. Asi sa mu zdalo, že svet by bol zrozumiteľnejší, ak by pre všetky veci platil rovnaký základný princíp.

• 103

(...) Paradox [Schrödingerovej mačky] je typickým zdanlivým paradoxom vznikajúcim nesprávnym používaním jazyka. Kvantová mechanika nehovorí, že mačka je s nejakou pravdepodobnosťou živá a s nejakou mŕtva. Hovorí, že ak urobíme meranie, tak s nejakou pravdepodobnosťou nájdeme mačku živú a s nejakou mŕtvu.

• 113

(...) Pri popularizácii vedy je v kraji zvykom vyhýbať sa technickým detailom. Zvyčajná argumentácia v prospech takéhoto prístupu spočíva v konštatovaní jednoduchého faktu, že akýkoľvek náznak matematiky bežných ľudí skôr odplaší, ako pritiahne. Takže čokoľvek pripomínajúce matematiku sa radšej vynecháva, a to aj vtedy, keď sa bez toho podstatu celej záležitosti vlastne nedá pochopiť.

• 120

(...) Často sa hovorí, že elektróny sa správajú aj ako vlny, aj ako guľky. Ja si myslím, že oveľa správnejšie a menej mätúce by bolo hovoriť, že sa nesprávajú ani ako vlny, ani ako guľky.

• 121

Nemáme nijakú intuíciu týkajúcu sa elektrónov, pretože s nimi nemáme nijakú bezprostrednú skúsenosť. V takom prípade je úplne oprávnené – dokonca by som povedal, že veľmi rozumné – rozšíriť intuíciu získanú na skúsenostiach s inými vecami aj na elektróny. Ale je veľmi nerozumné trvať na tej intuícii, aj keď sa ukáže, že tam nefunguje.

- 124

Ak by sme (...) [dvojštrbinový] experiment nerobili s elektrónmi, ale s bejzbalovými loptičkami, asi by nikto neočakával, že výsledný obrazec sa nezmení, ak za jednu zo štrbín postavíme pálkara. Nechápem, prečo to ľudí prekvapuje pri elektrónoch. Keď zmeníme podmienky experimentu, napríklad tým, že na jednu zo štrbín intenzívne svietime a pozorujeme, či sa nejaké svetlo „odrazí od elektrónu“, tak potom nie je nič prekvapujúce na tom, že sa zmenia aj výsledky. Pre elektrón je totiž odraz svetla rovnaký zásah ako pre loptičku zásah pálkou.

- 124

Fyzici rozumejú tomu, čo sú klasické meracie prístroje, ako hodinky, voltmetre, CCD kamery a podobne. S týmito prístrojmi vedia robiť merania aj vo svete atómov a elementárnych častíc. Ale tie merania opisujú rečou klasickej fyziky, napríklad tým, ako sa pohybujú ručičky prístrojov. Kvantová fyzika neopisuje jeden z kľúčových procesov svojho opisu sveta – proces merania. Zarážajúca je na tom najmä tá skutočnosť, že prístroje sa predsa skladajú z atómov, a ak kvantová mechanika opisuje atómy, mala by opisovať aj z nich zložené prístroje. Ale takto to nefunguje, kvantová mechanika sa bez klasických prístrojov nedá ani poriadne sformulovať. Respektíve, aby som bol presný, štandardná formulácia kvantovej mechaniky je založená na tom, že experimenty robíme pomocou klasických prístrojov. Nikto však nevie povedať, kde presne je hranica medzi kvantovým opisom a procesom merania, ktorý si vyžaduje nekvantový opis. Myslím si, že práve toto je najväčšia záhada kvantovej fyziky. Toto je podľa mňa dôvod, prečo jej nikto úplne nerozumie.

- 128

Cieľom fyziky (...) nie je, aby bola intuitívna. Jej cieľom je správne opisovať tento svet. Ak sa to dá robiť intuitívne prijateľným spôsobom, je to určite vítané. Ale ak sa to nedá, nemá nijaký zmysel na tej intuitívnosti trvať. Najmä ak si intuíciu prinášame zo známych oblastí do oblasti neznámej. Skúsenosti z amazonského pralesa sa nám môžu zísť aj na polárnej výprave, ale ak sa ukáže, že nás v novom prostredí skôr zavádzajú, treba sa na ne čím skôr prestať spoliehať.

- 137

Pochopiť niečo a vedieť to vysvetliť v podstate znamená, že vieš odpovedať na otázku „Prečo?“. Otázku „Prečo?“ pritom nemožno klásť donekonečna, v každej oblasti sa tá otázka dá klásť len dovtedy, kým nenarazíš na základy tej oblasti, či už vedeckej, alebo inej.

- 138

(...) V mnohých učebniciach kvantovej mechaniky (...) chýba kapitola o jej súvisi s chémiou. Asi preto, lebo sa nepredpokladá, že by to študenti fyziky mohli v budúcnosti potrebovať. No a vo vzdelávaní orientovanom príliš pragmaticky sa môže stať, že študentov naučíme len to, čo budú potrebovať. A pritom im neprezeráme nič o tom, čo je jeden z najväčších úspechov celej vedy.

- 139

Takmer všetky veľké objavy vo fyzike súvisia so zjednoteniami dovtedy nesúvisiacich vecí. Newtonova mechanika zjednotila pozemskú a nebeskú mechaniku, Maxwellova elektrodynamika zjednotila elektrinu, magnetizmus a optiku, Einsteinova všeobecná teória relativity zjednotila gravitáciu a geometriu, kvantová mechanika zjednotila fyziku a chémiu. Newtonove, Maxwellove a Einsteinove objavy určite patria k vrcholom celej vedy, ale to zjednotenie fyziky a chémie sa mi zdá v istom zmysle najúžasnejšie.

- 139

Keď si Dmitrij Mendelejev, veľmi šikovný chemik, začal niekedy koncom 70. rokov 19. storočia pripravovať kurz chémie pre univerzitných študentov, rozhodol sa postupovať po kapitolách, v ktorých bude prednášať o chemických prvkoch s podobnými vlastnosťami. Takže v jednej kapitole sa venoval fluóru, chlóru a jódu, pretože tieto prvky majú podobné chemické vlastnosti. V ďalšej kapitole to boli sodík, draslík a lítium, v tretej horčík, vápnik, bárium plus ešte asi berýlium a stroncium. A keď si chcel pripraviť štvrtú kapitolu, zrazu zistil, že vôbec nevie, ktoré prvky by v nej mali byť. Tak si vyrobil také papierové kartičky so značkami jednotlivých prvkov a tie sa snažil usporiadať tak, aby v tom zbadal nejakú rozumnú logiku pre štvrtú a ďalšie kapitoly. Mne sa na tom strašne páči to, že svoj najväčší objav, ktorý patrí k najväčším vedeckým

objavom vôbec, urobil Mendelejev nie v rámci svojho vedeckého výskumu, ale v rámci prípravy prednášky pre študentov.

• 140

(...) Dnes sa podľa mňa v prehnanej miere tvrdí, že vysokoškolský učiteľ musí byť nevyhnutne aj aktívny vedec. Ja to nemám rád, možno aj z osobných dôvodov, pretože ako vedec nestojím za veľa – nemám na to ani dosť talentu, ani iných schopností. Pritom ako s učiteľom som so sebou vcelku spokojný. A už dávno som presvedčený o tom, že vynikajúci učitelia sú pre univerzity prinajmenšom takí dôležití ako vynikajúci vedci, pričom jedných aj druhých je v skutočnosti len málo.

Ja si myslím, že hlavnou úlohou univerzít nie je vedecký výskum, ale udržiavanie a zveľaďovanie vzdelanosti. Tým nechcem povedať, že výskum nie je užitočný. Je užitočný, aj keď väčšina z neho je, samozrejme, balast. Dokonca aj to, že sa univerzity ako celky aj univerzitní učitelia ako jednotlivci hodnotia na základe vedeckých výsledkov, považujem za úplne rozumné kritérium. Ale to neznamená, že toto kritérium má byť prvoradým cieľom. Ten podľa mňa spočíva v niečom inom – v hľadaní pravdy na prednáškach, na seminároch, v laboratóriách, v diskusiách.

Podstatná je pritom pravda, ktorú sa študenti učia hľadať nie u učiteľov, ale vo svojich hlavách. To najdôležitejšie, čo sa má na univerzite diať, sa deje v hlavách, takže je to z podstaty veci neviditeľné. Hlavnou úlohou univerzity by malo byť vytváranie čo najlepších podmienok pre hľadanie pravdy v hlavách študentov. Tá je vo väčšine prípadov neporovnateľne dôležitejšia ako pravda, ktorú učitelia odhaľujú pri svojom vedeckom výskume. (...)

• 141

Ak (...) zoradiš stavy elektrónu v atóme vodíka podľa ich energie a usporiadaš ich do tabuľky tak, že pod seba dáš stavy s podobne vyzerajúcimi orbitálmi, tak dostaneš niečo, čo sa úplne podobá na Mendelejevovu tabuľku.

• 154

Kvantová mechanika vysvetľuje periodickú tabuľku – to je veľmi dôležité tvrdenie, ktoré by malo byť (a nie je) súčasťou všeobecného vzdelania. Len sa, preboha, netvárame, že sa to dá dosiahnuť na strednej škole.

• 157

Diamant sa (...) skladá z atómov uhlíka – a z tých istých atómov, ale usporiadaných do inej mriežky, sa skladá aj grafit. A ten má úplne iné vlastnosti. Diamant je tvrdý, grafit mäkký. Diamant je izolant, grafit vodič. Diamant je priehľadný, grafit čierny. Diamant je drahý, grafit lacný. Títo dvaja sú dokonalou ukážkou toho, že vlastnosti látok zložených z mnohých atómov nezávisia len od ich chemického zloženia, ale aj od štruktúry kryštalickej mriežky.

• 174

Povedia nám, že je to tak a tak, a my si to máme zapamätať. Málokedy sa dozvieme, ako ľudia na tie veci prišli. Ale tým získavame strašne skreslenú predstavu o skutočnom porozumení svetu. Ja si myslím, že jedným z hriechov, ktorých sa dopúšťame na našich školách, je, že deti učíme len správne veci. Nesprávnym predstavám a teóriám sa takmer vôbec nevenujeme, a to ani v prípadoch, keď sú veľmi prirodzené a na prvý pohľad rozumné. Deti učíme, že majú uveriť. To je základná vec, ktorú ich učíme. A potom sa čudujeme, že uveria internetu a v jeho rámci teóriám plochej Zeme a podobne.

• 175

(...) Predstava plochej Zeme je úplne normálna. Takže by podľa mňa bolo správne venovať sa jej v škole nie s výsmechom, ale s porozumením. A ukázať, čo viedlo ľudí k tomu, aby túto prirodzenú predstavu nahradili na prvý pohľad absurdnou predstavou guľatej Zeme. Deti by mali prijať guľatú Zem na základe diskusie a presvedčivosti argumentov, nie preto, že to hovorí učiteľ a učebnica.

• 176

My sa väčšinou učíme rovno odpoveď. Bez otázky.

- 178

(...) Ak skúmaš niečo, čo ešte nikto neskúmal, môžeš objaviť niečo, čo ešte nikto neobjavil. A to niečo môže byť zaujímavé alebo krásne alebo užitočné, to dopredu nikdy nevieš.

- 178

Na otázku, načo niečo skúmať, vieš často odpovedať až vtedy, keď to preskúmaš.

- 178

Niels Bohra

- (...) Naozaj hlboká pravda je taká, že aj jej negácia je hlboká pravda.

- 182

Poznanie má vždy viac úrovní a pre porozumenie veciam na jednej úrovni nie je vždy nutné, ba ani potrebné, rozumieť im aj na úrovni hlbšej.

- 195

(...) Zaujímavosť nie je vo fyzike najdôležitejším kritériom. O teórii strún napríklad dodnes nie je jasné, či vôbec opisuje tento svet. A ak ho neopisuje, tak z hľadiska fyziky to nijaká zaujímavosť nevyváža. Súčasná teória elementárnych častíc nazývaná štandardný model je nielen zaujímavá, ale aj opisuje tento svet (presnejšie povedané, opisuje z neho veľmi veľa, aj keď nie úplne všetko). Ak však niekto očakával, podobne ako som očakával ja, že hlboké porozumenie základným tehličkám sveta prinesie významné prehĺbenie porozumenia svetu, tak podľa mňa musí byť do istej miery sklamaný. Ja som.