

## **Děje se cosi podivného**

---

Kvantum. Toto slovo je současně emotivní, matoucí i fascinující. Podle úhlu pohledu jde buď o potvrzení obrovského úspěchu vědy, nebo o symbol omezeného dosahu lidské intuice, když se potýkáme s nevyhnutelnou podivností subatomární říše. Pro fyzika je kvantová mechanika jedním ze tří velkých pilířů, na nichž stojí naše chápání světa přírody, přičemž těmi dalšími jsou Einsteinova speciální a obecná relativita. Einsteinovy teorie se zabývají podstatou prostoru a času a gravitační silou. Kvantová mechanika se zabývá vším ostatním a lze tvrdit, že vůbec nezáleží na tom, zda je emotivní, matoucí či fascinující; jde jednoduše o fyzikální teorii, která popisuje, jak se věci chovají. Měřena tímto pragmatickým metrem je naprosto oslnivá svou přesností a schopností věci objasnit. Existuje jistý test kvantové elektrodynamiky, nejstarší a nejlépe pochopené z moderních kvantových teorií, pomocí kterého se měří, jak se elektron chová v blízkosti magnetu. Teoretičtí fyzici celé roky usilovně pracovali s tužkou, papírem a počítačem, aby předpověděli, co by měly pokusy zjistit. Experimentátoři postavili a zprovoznili citlivé přístroje, aby se o přírodě dopídili podrobnějších informací. Oba tábory nezávisle na sobě dodaly precizní výsledky, které jsou svou přesností srovnatelné se změřením vzdálenosti mezi Manchesterem a New Yorkem s chybou do několika centimetrů. Pozoruhodné je, že údaj, který nám poskytli experimentátoři, znamenitě souhlasí

s tím, který vypočítali teoretici; měření a výpočet jsou v dokonalé shodě.

To je úchvatné, ale je to také ezoterické, a pokud by jediným zájmem kvantové teorie bylo zmapování malého, mohli byste si právem lámat hlavu nad tím, proč kolem toho děláme takový povyk. Věda samozřejmě nemá za úkol být užitečná, ale mnoho z technických a společenských změn, jež způsobily zvrát v našich životech, pochází ze základního výzkumu, který provádějí novodobí průzkumníci, jejichž jedinou motivací je lépe porozumět okolnímu světu. Tyto zvědavosti hnané objevitelské výpravy napříč všemi vědeckými disciplínami přinesly prodloužení délky lidského života, mezikontinentální leteckou dopravu, moderní telekomunikaci, osvobození od dřiny samozásobitelského zemědělství a pronikavý, inspirující a pokoru budící pohled na naše místo v nekonečném moři hvězd. To vše jsou však v jistém smyslu vedlejší produkty. Zkoumáme proto, že jsme zvědaví, ne proto, abychom hledali věčnou pravdu nebo základy pro nové technologie.

Kvantová teorie je asi nejlepším příkladem, kdy se nekonečně ezoterické stalo nesmírně užitečným. Ezoterické proto, že jde o popis světa, v němž částice skutečně může být na více místech najednou a z jednoho místa na druhé se pohybuje tak, že prozkoumává celý vesmír současně. Užitečné proto, že znalost chování nejmenších stavebních kamenů vesmíru je výchozím bodem pro pochopení všeho ostatního. Toto tvrzení hraničí s arogancí, protože svět je plný rozmanitých a složitých jevů. Nehledě na tuto složitost jsme objevili, že vše se skládá z hrstky droboučkových částic, které se pohybují podle pravidel kvantové teorie. Tato pravidla jsou tak jednoduchá, že je lze shrnout na kousku papíru. A skutečnost, že k vysvětlení základní podstaty věcí nepotřebujeme celou knihovnu spisů, je jedním z největších ze všech tajemství.

Zdá se, že čím víc toho o elementární podstatě světa víme, tím jednodušší se jeví. Až přijde vhodný okamžik, vysvětlíme si, jaká tato základní pravidla jsou a jak se ony droboučké stavební kameny spojily, aby vytvořily náš svět. Aby nás ale tato základní jednoduchost vesmíru příliš neoslabila, je namístě pár varovných slov: ačkoli jsou základní pravidla hry jednoduchá, není vždy snadné vypočítat jejich důsledky. Naši každodenní zkušenosti se světem dominují vztahy mezi ohromnými soubory mnoha bilionů atomů, a pokoušet se odvodit chování rostlin a lidí ze základních postulátů by bylo pošetilé. Když si to připustíme, nijak tím neoslabíme to hlavní – v pozadí všech jevů skutečně stojí kvantová fyzika droboučkových částic.

Prohlédněte si svět kolem sebe. Držíte knihu vyrobenou z papíru, rozdrcené dřeň stromu.\* Stromy jsou stroje, které dokážou přijmout dodávku atomů a molekul, rozložit je a přeuspořádat do spolupracujících kolonií složených z mnoha bilionů samostatných součástí. Dělají to pomocí molekuly známé jako chlorofyl, která se skládá z více než sta atomů uhlíku, vodíku a kyslíku stočených do spletitého útvaru, na nějž je přišroubováno pár atomů hořčíku a dusíku. Tato soustava částic umí zachytit světlo, které urazilo 150 milionů kilometrů od naší hvězdy, jaderné pece o objemu milionů Zemí, a převést tuto energii do nitra buněk, kde je využita při skládání molekul z oxidu uhličitého a vody, během něhož se vylučuje životodárný kyslík. Jsou to právě tyto molekulární řetězce, které tvoří nadstavbu stromů a všeho živého, i papír ve vaší knize. Knihu si můžete přečíst a porozumět slovům, protože máte oči, které dokážou převést světlo odražené stránkami na elektrické impulzy, jež inter-

---

\* Pokud samozřejmě nečtete elektronickou verzi této knihy – v tom případě si budete muset procvičit představivost.

pretuje váš mozek, nejsložitější struktura, o níž ve vesmíru víme. Objevili jsme, že všechny tyto věci nejsou ničím víc než soustavami atomů a že celá široká škála atomů je vyskládána pouze ze tří částic: elektronů, protonů a neutronů. Objevili jsme také, že samotné protony a neutrony jsou tvořeny menšími entitami nazývanými kvarky, a pokud dnes víme, těmi to končí. Základem toho všeho je kvantová teorie.

Obrázek našeho vesmíru, jak jej odhalila moderní fyzika, tudíž spočívá v základní jednoduchosti; tam, kam nedohlédneme, probíhá elegantní rej nepatrných jevů, a na povrch vystupuje různorodost makroskopického světa. Jde zřejmě o vrcholný úspěch moderní vědy; omezení nesmírné složitosti světa, včetně lidských bytostí, na popis chování pouhé hrstky droboučkových subatomárních částic a čtyř sil, jež mezi nimi působí. Nejlepší popis, který máme pro tři z těchto čtyř sil – silnou a slabou jadernou interakci, které působí hluboko uvnitř atomového jádra, a elektromagnetickou sílu, která slepuje atomy a molekuly – poskytuje kvantová teorie. Pouze pro gravitaci – nejslabší, ale asi nejznámější ze všech čtyř – v současnosti neexistuje uspokojivý kvantový popis.

Je pravda, že kvantová teorie má tak trochu reputaci výstředníka a že v jejím jménu byly sepsány stohy nesmyslů. Kočky mohou být zároveň živé i mrtvé; částice mohou být na dvou místech najednou; Heisenberg říká, že vše je nejisté. To všechno je pravda, ale závěr, který se z toho tak často vyvozuje – že jelikož se v mikrosvětě děje cosi podivného, jsme prodchnuti jakýmsi mysteriem – naprosto jednoznačně správný není. Mimosmyslové vnímání, mystické uzdravování, vibrující náramky, které nás mají chránit před zářením, a kdoví co ještě, jsou pravidelně podloudně vnášeny do panteonu možného pod rouškou slova „kvantový“. Jde o nesmysl zrozený z nedostatku jasného uvažování, ze zbožných přání, nelíčeného či zlovolného nedorozumění

nebo jakési nešťastné kombinace toho všeho. Kvantová teorie popisuje svět přesně, a to pomocí matematických zákonů, které jsou právě tak konkrétní jako cokoli, co navrhli Newton či Galileo. Proto můžeme vypočítat magnetickou reakci elektronu s tak znamenitou přesností. Kvantová teorie přináší popis přírody, který jak zjistíme, má ohromnou schopnost věci předvídat a vysvětlovat a pokrývá širokou škálu jevů od křemíkových čipů až po hvězdy.

Naším cílem při psaní této knihy je demystifikovat kvantovou teorii – teoretický rámec, který proslul tím, jak dokáže člověka zmást, což platilo dokonce i pro jeho první uživatele. Budeme postupovat tak, že přijmeme moderní perspektivu, což přináší výhodu zpětného pohledu na celé století vývoje této teorie. Abychom vás ale uvedli do obrazu, rádi bychom naši cestu začali na přelomu 19. a 20. století a zmapovali některé z problémů, které přivedly fyziky k tak radikálnímu odklonu od toho, čím se zabývali předtím.

Jak tomu ve vědě často bývá, kvantová teorie vyplynula z objevu přírodních jevů, které nebylo možné vysvětlit tehdejšími vědeckými modely. V případě kvantové teorie jich bylo mnoho, a to velmi různorodých. Záplava nevysvětlitelných výsledků vyvolala nadšení i zmatek a odstartovala éru novinek v experimentech i teorii, která si vpravdě zasluhuje nést ono velice otřepané označení: zlatá doba. Jména jejích protagonistů jsou vryta v mysli každého studenta fyziky a dokonce i dnes vévodí úvodním vysokoškolským přednáškám: Rutherford, Bohr, Planck, Einstein, Pauli, Heisenberg, Schrödinger, Dirac. V dějinách pravděpodobně již nikdy nenastane období, kdy by se vědecká sláva pojila se jmény tolika lidí snažících se dosáhnout jediného cíle – nové teorie atomů a sil, které tvoří fyzikální svět. Když se Ernest Rutherford, fyzik z Manchesteru narozený na Novém Zélandu a objevitel atomového jádra, ohlédl roku 1924 za prvními desetiletími

kvantové teorie, napsal: „Rok 1896 ... znamenal počátek toho, co je příhodně označováno za hrdinskou epochu fyzikálních nauk. V dějinách fyziky jsme nikdy předtím nebyli svědky takového období intenzivní činnosti, kdy objevy fundamentálního významu následovaly jeden po druhém v tak závratně rychlém sledu.“

Než se ale za zrodem kvantové teorie vydáme do Paříže 19. století: co znamená samo slovo „kvantový“? Tento pojem vstoupil do fyziky roku 1900 prostřednictvím práce Maxe Plancka. Planck se věnoval hledání teoretického popisu záření vycházejícího z rozžhavených těles – takzvaného „záření absolutně černého tělesa“ – a to zřejmě proto, že tím byl pověřen společností vyrábějící elektrické osvětlení: dveře do vesmíru nám tu a tam pootevrou i prozaické události. Planckův úžasný objev probereme v této knize ještě podrobněji, ale pro účely stručného úvodu nám postačí si říct, že zjistil, že vlastnosti záření absolutně černého tělesa dokáže vysvětlit pouze tehdy, pokud předpokládá, že světlo je vyzařováno po malých balíčcích energie, které nazýval „kvanta“. Toto slovo samo o sobě znamená „balíčky“ nebo „oddělený“. Původně se domníval, že jde čistě o matematický trik, ale i následná práce Alberta Einsteina z roku 1905 (zabývající se jevem zvaným fotoefekt) kvantovou hypotézu potvrdila. Tyto výsledky byly podnětné, protože malé balíčky energie bylo možné brát jako synonymum částic.

Představa, že světlo se skládá z proudu malých projektilů, měla dlouhou a slavnou historii, vinoucí se až ke zrodu moderní fyziky a k Isaacu Newtonovi. Zdálo se však, že jakékoli přetrvávající pochyby zcela rozptýlil skotský fyzik James Clerk Maxwell roku 1864 v sérii článků, které Albert Einstein později popsal jako „nejhlubší a nejplodnější články, které fyzika zažila od dob Newtona“. Maxwell ukázal, že světlo je elektromagnetická vlna valící se prostorem, takže představa

světla jakožto vlnění byla bez poskvrnky a zdálo se, že ji nelze napadnout. A přece se Arthuru Comptonovi a jeho spolupracovníkům na Washingtonově univerzitě v Saint Louis podařilo v sérii pokusů v letech 1923–1925 přimět kvanta světla, aby se odrážela od elektronů. Obé se chovalo spíš jako kulečnickové koule, a pokus tak poskytl jasný důkaz, že Planckova teoretická hypotéza je pevně ukotvena ve skutečném světě. Roku 1926 byla světelná kvanta překřtěna na „fotony“. Důkazy byly nezvratné – světlo se chová jako vlna i jako částice. To předznamenalo konec klasické fyziky a konec počátků kvantové teorie.