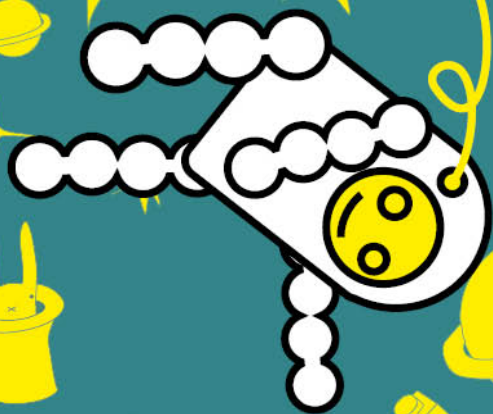


TEMA

marcus chown  
kvantová teorie nikoho nezabije

PRŮVODCE VESMÍREM



TEMA

**Marcus Chown**

**Kvantová teorie nikoho nezabije**



marcus chown

# kvantová teorie nikoho nezabije

PRŮVODCE VESMÍREM

Copyright © Marcus Chown, 2009  
First published in 2009 by Faber and Faber Ltd.  
Translation © Markéta Jansová, 2010  
Cover and layout © Lucie Mrázová, 2010

ISBN 978-80-87162-59-0

Patrickovi, který mě vždycky, když jsem na dně a přemýšlím, proč jsou všichni proti mně, dokáže utěšit: „To proto, že seš pěkej parchant, Marcus!“





## Poděkování

Mé díky patří všem níže uvedeným lidem, kteří mi buď přímo pomohli, inspirovali mne nebo prostě povzbuzovali při psaní této knihy. Otcí, Karen, Sáře Mengucové, Jeffreymu Robinsovi, Neilu Beltonovi, Henrymu Volansovi, Rachel Marcusové, Mosesi Cardonovi, Brianu Cleggovi, profesorovi Tonymu Heyovi, Kate Oldfieldové, Vivien Jamesové, Brianu Mayovi, doktoru Bruci Bassettovi, doktoru Larrymu Schumanovi, doktoru Wojciechu Zurekovi, siru Martinu Reesovi, Allison Chownové, Colinu Wellmanovi, Rosie a Timovi Chownovým, Patricku O'Halloranovi, Julii a Davovi Mayesovým, Stephenu Hedgesovi, Sue O'Malleyové, Sáře Topalianové, doktoru Davidu Deutschovi, Alexandře Feachamové, Nickovi Mayhew-Smithovi, Elisabeth Geakové, Alu Jonesovi, Davidu Houghovi, Fredu Barnumovi, Pam Youngové, Royi Perrymu, Hazel Muirové, Stuartovi a Nikki Clarkovým, Simonu Ingsovi, Barrymu Foxovi, Spenceru Brightovi, Karen Gunnellové, Jo Gunnellové, Pat a Brianovi Chilverovým, Stelle Barlowové, Silvanu Mazzonovi, Barbaře Pellové a Davidovi, Julii Batesonové, Anne Ursellové, Barbaře Kiserové, Dottie Friedliové, Jonu Hollandovi, Martinu Dollardovi, Sylvii a Sáře Kefyalewovým, Matildě, Dennisovi, Amandě a Andrewovi Buckleyovým, Dianě, Peterovi, Ciaranovi a Lucy Tomlinovým, Ericu Gourlaymu a Paulu Brandfordovi. Netřeba zdůrazňovat, že žádný z nich není zodpovědný za jakékoli případné chyby.



Jedno z těchto tvrzení je pravdivé:

Každý váš nádech obsahuje atom, který vydechla Marilyn Monroe.

Existuje kapalina, která teče do kopce.

V horním patře budovy stárnete rychleji než v přízemí.

Atom může být na mnoha různých místech zároveň, asi jako kdybyste vy byli současně v Londýně i v New Yorku.

Celé lidstvo by se vešlo do jediné kostky cukru.

Jedno procento šumu ve vašem televizním přijímači mezi dvěma stanicemi je tvořeno pozůstatkem velkého třesku.

Fyzikální zákony nevylučují cestování v čase.

Šálek kávy váží víc, když je horký, než když je studený.

Čím rychleji cestujete, tím jste štíhlejší.

Dělám si legraci. Všechna jsou pravdivá!

Jako autor vědecké literatury nepřestávám žasnout, o kolik je věda podivnější než veškerá vědecko-fantastická literatura a že vesmír je ještě mnohem neuvěřitelnější než všechno, co bychom si dokázali vymyslet. Přesto jen velmi málo neobyčejných objevů minulého století proniklo do povědomí veřejnosti.

Dva největší vědecké úspěchy posledních sta let jsou kvantová teorie, naše představa o atomech a jejich složkách, a Einsteinova obecná teorie relativity, náš obraz vesmíru, času a gravitace. Tyto dvě teorie vysvětlují prakticky všechno o světě i o nás. Můžeme dokonce tvrdit, že kvantová teorie *stvořila* moderní svět: vysvětluje nejen to, proč máme pod nohama pevnou zem a Slunce svítí, ale stojí i za vznikem počítačů, laseru a jaderných reaktorů. S relativitou se možná v každodenním životě tak často nesetkáváme, ale díky ní víme, že existují věci jako černé díry, ze kterých nic, dokonce ani světlo, nemůže uniknout; že vesmír neexistoval odjakživa, ale zrodil se v gigantické explozi nazývané velký třesk, a že stroje času jsou (kupodivu) možné.

Přečetl jsem už celou řadu populárně naučných výkladů těchto jevů, ale ani jako vědec jsem z nich často nebyl příliš moudrý – jak teprve asi musí působit na laiky.

Einstein řekl: „Většina zásadních myšlenek vědy je ve své podstatě jednoduchá a lze je vyjádřit jazykem, který je každému srozumitelný.“ Veškerá moje zkušenost mi napovídá, že je to pravda. Když jsem začal psát tuto knihu, chtěl jsem obyčejným lidem pomoci pochopit základní principy fyziky jedenadvacátého století. K tomu bylo jen třeba postihnout klíčové myšlenky kvantové teorie a relativity, zdánlivě až klamně jednoduché, a ukázat, že všechno ostatní z nich lze logicky a nevyhnutelně odvodit.

To se ovšem snadněji řekne, než provede. Zejména kvantová teorie připomíná jakýsi slepenec záplat vznikajících během posledních osmdesáti let, které se nikdo zatím nepokusil sešít v jediný bezešvý celek. Navíc se zdá, že srozumitelně vysvětlit základní kameny této teorie, například dekoherenci (která vysvětluje, proč atomy na rozdíl od lidí mohou být na dvou místech zároveň), je nad síly fyziků. Probíral jsem tento jev s mnoha „odborníky“ a začínal jsem se pomalu přiklánět k názoru, že dekoherence by se možná měla spíš nazývat „inkoherence“, když mi došlo, že možná ani ti odborníci celé věci tak úplně nerozumějí. Svým způsobem to bylo vysvobození. Uvědomil jsem si, že jelikož ucelený a jednotný výklad zjevně neexistuje, budu si ho muset sestavit sám: z toho, co už vím, i toho, co jsem se dozvěděl od různých lidí. Mnohá vysvětlení obsažená v této knize proto nenajdete nikde jinde. Doufám, že vám pomohou trochu rozehnat mlhu zahalující základní myšlenky moderní fyziky a pochopit, v jak neuvěřitelném a úžasném vesmíru to žijeme.

MALÉ VĚCI



# Vdechujeme Einsteina

JAK JSME PŘIŠLI NA TO, ŽE SE VŠE SKLÁDÁ Z ATOMŮ A ŽE ATOMY JSOU PŘEVÁŽNĚ PRÁZDNÝ PROSTOR

*Atom vodíku, který je součástí buňky na pokožce mého nosu, kdysi patřil třeba do chobotu nějakého slona.\**

Jostein Gaarder

*Nikdy jsme neměli v úmyslu tu zbraň použít. Ale oni byli tak nesnesitelná rasa! Navzdory všem našim snahám je uklidnit trvali na tom, že v nás budou vidět „nepřítele“. Když na naši vesmírnou loď, obíhající vysoko nad jejich modrou planetou, vypálili celý arzenál svých jaderných zbraní, byla naše trpělivost zkrátka u konce.*

*Zbraň byla prostá, ale účinná. Vymáčkla z hmoty všechen prázdný prostor.*

*Když si velitel naší sirijské výpravy prohlížel blyštivou kovovou kostku o průměru maximálně 1 centimetr, zavrtěl zoufale svou primární hlavou. Těžko uvěřit, že to je všechno, co zbylo z celé „lidské rasy“!*

Pokud vám myšlenka, že se celé lidstvo vejde do objemu jediné kostky cukru, zní jako science fiction, zamyslete se nad tím ještě jednou. Je totiž pozoruhodnou skutečností, že 99,999999999999 procent objemu běžné hmoty je prázdný prostor. Kdyby existoval způsob, jak toto prázdno „vymáčknout“ z atomů našich těl, lidstvo by se skutečně vešlo do prostoru o objemu jediné kostky cukru.

Děsivá prázdnota atomů je jen jednou z pozoruhodných vlastností stavebních kamenů hmoty. Tou další je pochopitelně jejich velikost. Museli byste vedle sebe naskládat 10 milionů atomů, abyste dostali velikost jediné tečky na této stránce. Což vede k otázce, jak jsme vůbec kdy objevili, že se všechno skládá z atomů?

\* Český překlad Jarka Vrbová (in: J. Gaarder, *Sofin svět*, Knižná dielňa Timotej, Košice 1995, s. 55).

První s touto myšlenkou přišel řecký filozof Démokritos asi 400 let př. n. l.\* Zvedl kámen (ale mohla to být také větev nebo třeba hliněný hrnec) a položil si následující otázku: „Když to rozdělím na polovinu, pak znovu a znovu, mohu v půlení pokračovat donekonečna?“ Odpověděl si důrazným *ne*. Bylo pro něj nepředstavitelné, že by se hmota mohla dělit donekonečna. Dříve nebo později, domníval se, bychom museli dojít do stadia, kdy bychom měli zrníčko hmoty, které už nelze dělením zmenšit. Protože řecké slovo pro „nedělitelný“ znělo *a-tomos*, nazval Démokritos tento hypotetický stavební prvek veškeré hmoty atom.

Atomy byly příliš malé, než abychom je mohli vnímat našimi smysly, a tak dokázat jejich existenci bylo vždycky obtížné. Na způsob, jak to provést, nakonec přece jen přišel v osmáctém století švýcarský matematik Daniel Bernoulli. Uvědomil si, že když atomy nemůžeme pozorovat přímo, mohli bychom je pozorovat nepřímou. Zejména se domníval, že pokud bude dostatečně velké množství atomů působit společně, mohl by účinek jejich působení být v každodenním světě pozorovatelný. Teď bylo jen třeba najít místo, kde k tomu v přírodě dochází. Bernoulli takové místo objevil – byl jím „plyn“.

Představoval si plyn, například vzduch či páru, jako shluk miliard miliard atomů v neustálém zběsilém pohybu, něco jako roj rozzuřených včel. Tato barvitá představa okamžitě nabízela vysvětlení pro „tlak“ plynu, který působí na stěny nafouknutého balonu nebo tlačí na píst parního stroje. Pokud je uzavřeme do nějaké nádoby, budou atomy plynu neustále bubnovat na stěny podobně jako kroupy na plechovou střechu. Výsledkem jejich společného působení bude kolísavá síla, která bude našim nedokonalým smyslům připadat jako konstantní tlak působící na stěny.

Bernoulliho mikroskopické vysvětlení tlaku však nabízelo více než jen uspokojivý mentální obraz toho, co se děje uvnitř plynu.

---

\* Některé z těchto úvah se již objevily v mé předchozí knize, *Čarodějná pec* (Granit, Praha 2005). Těm, kteří ji již četli, se omlouvám. Na svou obhajobu uvádím, že základní znalost atomu je nezbytná k pochopení následujících kapitol o kvantové teorii, která není v podstatě ničím jiným než teorií světa atomů.



Především vedlo ke konkrétní předpovědi. Pokud plyn stlačíme do poloviny původního objemu, urazí atomy plynu jen poloviční vzdálenost, než narazí na stěny nádoby. Budou se uvnitř nádoby srážet dvakrát tak často a tlak se zdvojnásobí. Pokud objem zmenšíme na třetinu, budou se srážet třikrát častěji a tlak bude trojnásobný. A tak dále.

A přesně takové chování pozoroval anglický vědec Robert Boyle v roce 1660. Potvrzovalo Bernoulliho představu o povaze plynu. A protože Bernoulli si představoval maličké, zrnkům podobné atomy poletující sem a tam, teorie o existenci atomů tím byla podpořena. Navzdory tomuto úspěchu přišel definitivní důkaz až na začátku dvacátého století. Skrýval se pod poněkud záhadným jevem zvaným Brownův pohyb.

Brownův pohyb dostal své jméno po Robertu Brownovi, botanikovi plavícím se roku 1801 s Flindersovou výpravou do Austrálie. Během doby strávené u protinožců pojmenoval a zařadil 4 000 druhů tamějších rostlin a objevil při tom jádro živé buňky. Nejvíce se ale proslavil svým pozorováním zrněk pylu vznášejících se ve vodě z roku 1827. Brownovi, mžourajícímu do okuláru mikroskopu, připadalo, že se zrnka pohybují zvláštním trhavým pohybem, štrádají si to tekutinou sem a tam jako opilci na cestě domů z hospody.

Brown tajemství neukázněných pylových zrněk nikdy nevyřešil. Tento objev čekal až na šestadvacátiletého Alberta Einsteina během možná největší exploze kreativity v historii vědy. Ve svém „záračném roce“ 1905 Einstein nejen svrhl z trůnu Newtona a nahradil newtonovské představy o pohybu těles svou speciální teorií relativity, ale ještě konečně rozlouskl osmdesát let starou záhadu Brownova pohybu.

Podle Einsteina byla důvodem bláznivého tance pylových zrněk skutečnost, že jsou pod neustálou palbou vodních molekul. Představme si ohromný nafukovací balon, větší než člověk, který po poli kutálí velké množství lidí. Pokud každý človíček tlačí svým směrem bez ohledu na ostatní, vždy bude na jedné straně o něco více lidí než na druhé. V důsledku této nerovnováhy se bude balon po poli pohybovat

nepředvídatelně. Stejně tak může za chaotickým pohybem pylového zrnka vězet to, že z jedné strany do něj naráží více molekul vody než z druhé.

Einstein vypracoval matematickou teorii popisující Brownův pohyb. Předpovídala, jak daleko a jak rychle by se mělo průměrné pylové zrnko pohybovat v reakci na neustálé bombardování molekulami vody všude kolem. Všechno závisí na velikosti vodních molekul: čím jsou větší, tím větší je nerovnováha sil působících na pylové zrnko a tím výraznější bude výsledný Brownův pohyb.

Francouzský fyzik Jean Baptist Perrin porovnal svá pozorování ve vodě rozptýlených částic „gumiguty“, lepkavé žluté pryskyřice z kambodžského gumovníku, s předpověďmi Einsteinovy teorie. Dokázal odvodit velikost vodních molekul a tím pádem i atomů, z nichž se skládají. Došel k závěru, že atomy mají průměr jen deset miliardtin metru ( $10^{-8}$ ) – jsou tedy tak malé, že by bylo třeba naskládat jich vedle sebe 10 milionů, aby utvořily jedinou tečku na konci věty.

Atomy jsou ve skutečnosti tak malé, že kdyby se miliardy miliard atomů obsažené v jediném vydechnutí rovnoměrně rozprostřely v zemské atmosféře, každý kousek atmosféry o objemu jediného nadechnutí by musel několik těchto atomů obsahovat. Jinými slovy, každý váš nádech obsahuje alespoň jeden atom, který vydechl Albert Einstein – nebo Julius Caesar, Marilyn Monroe či dokonce poslední Tyrannosaurus Rex procházející se po Zemi!

Atomy zemské biosféry se navíc neustále recyklují. Když nějaký organismus zemře, rozloží se. Atomy, které ho tvořily, se vracejí do půdy i do atmosféry a stávají se součástí rostlin, které později zvířata a lidé zkonzumují. „Atom uhlíku v mém srdečním svalu třeba někdy vžehl v kůži dinosaura,“ píše norský spisovatel Jostein Gaarder v *Sofině světě*.

Brownův pohyb byl nejpádnějším důkazem existence atomů. Nikdo, kdo sledoval v mikroskopu bláznivý taneček neustále bombardovaných pylových zrněk, nemohl pochybovat o tom, že se svět skládá z nepatrných, kulkám podobných částíček. Ale sledovat trhaný pohyb

pylových zrněk – účinek atomů – není totéž jako *vidět* samotné atomy. Na to bylo třeba si počkat do roku 1980, do vynálezu pozoruhodného přístroje zvaného řádkovací tunelový mikroskop (též STM podle anglického Scanning Tunneling Microscope).

Nápad, který stál za zrodem STM, jak se mu dnes říká, byl velmi prostý. Slepý člověk „vidí“ tváře ostatních lidí prostě tak, že po nich přejede prsty a v mysli si vytvoří jejich obraz. Podobně funguje i STM. Rozdíl je v tom, že tentokrát jde o kovový „prst“, maličký hrot sondy, který připomíná dnes už zastaralou gramofonovou jehlu. Když přejedeme jehlou po povrchu materiálu a její pohyb nahoru a dolů načteme do počítače, můžeme sestavit podrobný obraz vlnitého terénu atomů, jeho hor a údolí.\*

Tak prosté to samozřejmě není. Princip vynálezu je sice velmi jednoduchý, jeho realizaci však stály v cestě ohromné praktické překážky. Například bylo nutné nalézt dostatečně jemnou jehlu, která by dokázala „nahmatat“ atomy. Výbor udělující Nobelovu cenu si jistě byl těchto potíží dobře vědom. Gerdu Binnigovi a Heinrichu Rohrerovi, výzkumným pracovníkům IBM, kteří stáli za zrodem STM, přiřkl v roce 1986 Nobelovu cenu za fyziku.

Binnig a Rohrer byli první lidé v historii, kteří doopravdy „viděli“ atom. Jejich obrazy z STM bezesporu patřily k těm nejpozoruhodnějším v historii vědy, spolu s fotografií Země vycházející nad šedou pustinou Měsíce nebo záznamem strmého točitého schodiště dvojité šroubovice DNA. Atomy vypadaly jako miniaturní fotbalové míče, jako pomeranče vyrovnané v řadách v přepravce. Ze všeho nejvíc však připomínaly maličká tvrdá zrnka hmoty, která Démokritos viděl tak

---

\* Samozřejmě hrot nemůže nikdy cítit povrch pod sebou stejně jako lidský prst. Když je ale nabit elektřinou a pohybuje se extrémně blízko nad vodivým povrchem, nepatrný, ale stále měřitelný elektrický proud přeskakuje mezeru mezi špičkou hrotu a povrchem. Tento jev je známý jako „tunelující proud“ a lze ho dobře využít: velikost proudu reaguje mimořádně citlivě na šířku mezery. Pokud posuneme hrot jehly jen o nepatrný kousek blíže k povrchu, proud rapidně vzroste; pokud jehlu o kousíček odtáhneme, prudce se sníží. Velikost tunelujícího proudu proto odhaluje vzdálenost mezi hrotem jehly a povrchem a propůjčuje hrotu umělý hmat.

zřetelně ve své mysli před necelými dvěma a půl tisíci lety. Nikdo zatím nevyslovil vědeckou předpověď, která by byla experimentálně potvrzena po tak dlouhé době.

Ale STM odhalil jen jednu stránku atomu. Jak si uvědomoval už Démokritos, atomy jsou mnohem více než jen maličká zrnka v nekonečném pohybu.

## **Přírodní kostky lega**

Atomy jsou přírodní kostky lega. Mají různé velikosti i tvary, a když je pospojujeme nekonečným počtem způsobů, můžeme vytvořit růži, zlatou cihlu nebo lidskou bytost. Vše je jen otázka různých kombinací.

Americký držitel Nobelovy ceny Richard Feynman prohlásil: „Kdyby při nějaké katastrofě měly být zničeny veškeré vědecké poznatky a pro budoucí generace mohla být zachována jediná věta, které tvrzení by předalo nejvíce informací co nejméně slovy?“ Nezaváhal ani na chvíli: „Všechno se skládá z atomů.“

Nejdůležitějším krokem k důkazu, že atomy jsou přírodní kostky lega, byla identifikace různých druhů atomů. Skutečnost, že atomy jsou příliš malé pro přímé pozorování našimi smysly, však činila takový úkol přinejmenším stejně obrovský jako dokázat, že atomy jsou nepatrná zrnka hmoty v nekonečném pohybu. Jediný způsob, jak identifikovat různé typy atomů, bylo nalézt látky skládající se výlučně z atomů téhož druhu.

V roce 1789 sestavil francouzský šlechtic Antoine Lavoisier seznam látek, o nichž se domníval, že je nelze v žádném případě rozdělit na látky jednodušší. Na jeho seznamu bylo 23 „prvků“. I když se později ukázalo, že některé z nich prvky nejsou, mnohé, včetně zlata, stříbra, železa a rtuti, elementárně skutečně byly. Do čtyřiceti let po Lavoisierově smrti pod gilotinou v roce 1794 se seznam prvků rozrostl téměř k padesátce. Dnes známe 92 v přírodě se vyskytujících prvků, od nejtěžšího vodíku až po nejtěžší uran.

Čím se ale jeden atom liší od druhého? Jak se například atom vodíku liší od atomu uranu? Odpověď by nám mohlo dát jen zkoumání jejich vnitřní struktury. Jenže atomy jsou tak neskutečně malé. Zdálo se nemožné, že by někdo mohl objevit způsob, jak se do nich podívat. A přece se jeden takový člověk našel – Novozélanďan Ernest Rutherford. Přišel na geniální myšlenku: využít atomy k nahlédnutí do jiných atomů.

## Mol v katedrále

Stavbu atomu nám odhalil jev objevený francouzským chemikem Henrim Becquerelem v roce 1896: radioaktivita. Mezi lety 1901 a 1903 našel Rutherford společně s anglickým chemikem Frederickem Soddyem přesvědčivé důkazy, že radioaktivní atom je zkrátka těžký atom, ve kterém to vře přebytečnou energií. Nakonec se této nadbytečné energie nevyhnutelně zbavuje, za vteřinu, za rok či za milion let, a to tak, že ve vysoké rychlosti uvolní nějakou částici. Fyzikové říkají, že se atom rozpadá na atom lehčího prvku.

Jednou z částic rozpadu byla alfa částice, což, jak dokázali Rutherford a mladý německý fyzik Hans Geiger, není nic jiného než atom helia, druhý nejlehčí prvek po vodíku.

V roce 1903 Rutherford změřil rychlost alfa částic uvolňovaných z atomů radioaktivního radia. Byla neuvěřitelných 25 000 kilometrů za sekundu – tedy stotisíckrát vyšší než rychlost moderního tryskového letadla. Rutherford si uvědomil, že tady se mu nabízí perfektní kulka, kterou může vpálit do atomů a zjistit, co se skrývá v jejich nitru.

Myšlenka to byla prostá: ostřelujte atomy alfa částicemi. Pokud narazí na něco tvrdého, co jim bude stát v cestě, odkloní se ze své dráhy. Když vypálíme tisíce a tisíce alfa částic a budeme pozorovat, jak a kam se odrážejí, dostaneme podrobný obrázek nitra atomu.

Rutherfordův experiment provedli v roce 1909 Geiger a mladý novozélandský fyzik Ernest Marsden. Při svém rozptylovém experimentu s alfa částicemi použili malý vzorek radia, z něhož vyletovaly alfa

částice jako mikroskopický ohňostroj. Vzorek umístili za olověnou clonu s tenkou štěrbinou, takže na vzdálenější straně vždy vyletoval uzoučký svazek alfa částic. Šlo vlastně o nejmenší samopal na světě, pálicí mikroskopickými střelami.

Do palební linie umístili Geiger a Marsden zlatou fólii o tloušťce pouhých několik tisíc atomů. Byla natolik tenká, aby jí všechny alfa částice z miniaturního samopalu prošly. Zároveň však byla dostatečně silná na to, aby se některé částice při průchodu fólií ocitly dostatečně blízko atomům zlata, a mírně se tak odchýlily od své dráhy.

V době Geigerova a Marsdenova experimentu už byla jedna částice atomu známa. V roce 1895 objevil britský fyzik J. J. Thomson elektron. Ukázalo se, že právě tyto směšně malé částice (každá z nich je asi dvoutisíckrát menší než atom vodíku) jsou nepolapitelnými částicemi elektřiny. Vytržené z atomů proudí spolu s miliardami dalších měděným drátem a tvoří elektrický proud.

Elektron tak byl první známou subatomární částicí. Nesl záporný elektrický náboj. Nikdo přesně neví, co vlastně elektrický náboj je, ví se jen, že se vyskytuje ve dvou formách: jako záporný a kladný. Obvyčejná hmota, která se skládá z atomů, nemá žádný úhrnný elektrický náboj. V běžných atomech je tedy záporný náboj elektronů vždy dokonale vyvážen kladným nábojem něčeho jiného. Pro elektrický náboj je charakteristické, že opačné náboje se přitahují, stejné odpuzují. V důsledku toho musí existovat přitažlivá síla mezi záporně nabitými elektrony atomu a čímsi kladně nabitým. Tato přitažlivost drží celý atom pohromadě.

Zanedlouho po objevení elektronu použil Thomson tyto informace k sestavení prvního vědeckého obrazu atomu. Představoval si ho jako velké množství maličkých elektronů, uvízlých jako „rozinky ve švestkovém pudinku“ v kouli rovnoměrně rozptýleného kladného elektrického náboje. Geiger a Marsden očekávali, že se jim při jejich rozptylovém experimentu s částicemi alfa podaří tento Thomsonův model potvrdit.

Ale byli zklamáni.

Jev, který měl na svědomí zánik „puďinkového“ modelu, se sice neodehrával často, ale stál za to. Jedna z každých 8 000 alfa částic vypálených miniaturním samopalem se od zlaté fólie odrazila zpátky!

Podle Thomsonova puďinkového modelu se atom skládal ze spousty maličkých elektronů, zasazených do koule s rovnoměrně rozptýleným kladným nábojem. Alfa částice, které Geiger a Marsden páliili do této poměrně řídke kaše, byly naopak nezadržitelné subatomární rychlíky, každý zhruba o váze 8 000 elektronů. Pravděpodobnost, že se tak těžká částice prudce odchýlí od své dráhy, je zhruba stejná, jako že skutečný rychlík vykolejí po nárazu do dětského kočárku pro panenky. Rutherford to shrnul takto: „Bylo to skoro stejně neuvěřitelné, jako kdybyste vypálili bezmála čtyřicetimetřovou střelu proti papírovému ubrousku a ona se vám vrátila zpátky a zasáhla vás!“

Geigerův a Marsdenův překvapivý výsledek mohl znamenat jedině: atom nebude ani zdaleka tak řídka substance. Něco dobře ukrytého uvnitř dokázalo zastavit rozjetý subatomární rychlík a poslat ho nazpátek. To něco mohla být jedině maličká pecka kladného náboje v klidném centru atomu, odpuzující kladný náboj přilétající alfa částice. Protože tato pecka ustojí úder masivní alfa částice, aniž by se ocitla na onom světě, musí být také masivní. Vlastně v ní musí být soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu.

Rutherford objevil atomové jádro.

Nyní se rýsoval obrázek atomu, který od Thomsonova puďinkového modelu ani odlišnější být nemohl. Byla to miniaturní sluneční soustava, v níž jsou záporně nabitě elektrony přitahovány ke kladně nabitěmu jádru a obíhají kolem něj jako planety kolem Slunce. Jádro muselo mít přinejmenším stejnou hmotnost jako alfa částice – a pravděpodobně mnohem vyšší –, jinak by ho srážka s ní katapultovala z atomu ven. Muselo obsahovat více než 99,9 procent hmotnosti celého atomu.\*

---

\* Nakonec fyzikové objeví, že jádro obsahuje dva druhy částic: kladně nabitě protony a neutrální, tj. nenabitě neutrony. Počet protonů v jádru je vždy v rovnováze s počtem elektronů obíhajících kolem jádra. Rozdíl mezi atomy spočívá v počtu protonů v jádrech (a tudíž i v počtu elektronů na oběžné dráze). Vodík má například jeden proton v jádře, zatímco uran úctyhodných devadesát dva.

Jádro bylo nesmírně malé. Jen pokud by příroda natěsnila ohromný kladný náboj do velmi malého objemu, mohlo by jádro vyvinout odpudivou sílu tak výraznou, že by donutila alfa částici udělat čelem vzad. Na Rutherfordově modelu atomu nejvíce zaráží děsivá prázdnota. Dramatik Tom Stoppard to ve své hře *Hapgoodová* popsal velmi trefně: „Zatni ruku v pěst a představ si, že kdyby byla tvá pěst velká jako nukleon atomu, byl by atom velký jako katedrála svatého Pavla, a kdyby to byl náhodou atom vodíku, pak by se jeho elektron třepotal prázdnotou katedrálou jako mol, hned u kopule, hned zas u oltáře...“ Zdánlivě tak pevný, nám důvěrně známý svět není ve skutečnosti o mnoho hmotnější než pouhý přízrak. Hmotu, ať už jde o křeslo, člověka nebo hvězdu, tvoří téměř výhradně prázdňný prostor. Veškerá hmota atomu je soustředěna v jeho neuvěřitelně malém jádru – stotícikrát menším než celý atom.

Jinými slovy, hmota je distribuována nesmírně řídko. Kdyby bylo možné vymáčknot z ní všechno prázdňný prostor, nezabírala by skoro žádné místo. A vlastně to možné je. Sice zřejmě neexistuje snadný způsob, jak vtěsnat celé lidstvo do jediné kostky cukru, ale existuje způsob, jak stěsnat hmotu masivní hvězdy do co nejmenšího možného objemu. Příčinou je nesmírně silná gravitace, důsledkem je neutronová hvězda. Ta dokáže pojmout ohromnou hmotnost tělesa o velikosti Slunce do objemu ne většího než Mount Everest.\*\*

## Neuvěřitelný atom

Rutherfordův obraz atomu coby miniaturní sluneční soustavy s maličkými elektrony poletujícími kolem hustého atomového jádra jako planety kolem Slunce byl triumfem experimentální vědy. Bohužel tu byl jeden drobný problém: tento model byl naprosto neslučitelný s veškerou dosud známou fyzikou!

---

\* Český překlad Jaroslav Kořán (in: T. Stoppard, *Hapgoodová*, DILIA, Praha 1989, s. 119).

\*\* Viz kapitola „Neurčitost a meze poznání“.



Podle Maxwellovy teorie elektromagnetismu popisující všechny elektrické a magnetické jevy platí, že kdykoli kladně nabitá částice zrychlí, změní rychlost nebo směr pohybu, vydává elektromagnetické vlny – světlo. Elektron je nabitá částice. Když obíhá kolem jádra, mění směr neustále. Měl by tedy jako maličký maják neustále vysílat do prostoru světelné vlny. Háček je v tom, že pro každý atom by to znamenalo katastrofu. Energie vyzářená v podobě světla musí koneckonců vždycky odněkud pocházet a zde by jejím zdrojem nemohlo být nic jiného než sám elektron. Elektron, neustále ochuzovaný o energii, by se ve spirále neustále přibližoval středu atomu. Podle výpočtů by musel narazit do jádra atomu během jediné stomiliontiny sekundy. Atomy by tak podle všech pravidel vůbec neměly existovat.

A přece existují. My i svět okolo nás jsme toho dostatečným důkazem. Atomy nejví nejmenší tendenci vypařit se během stomiliontiny sekundy, přežívají bez úhony od nejranějších počátků vesmíru už skoro 14 miliard let. Rutherfordův model atomu musí mít nějaký zásadní nedostatek. Ukázalo se, že to, co v něm chybí, je revolučně nový druh fyziky: kvantová teorie.

