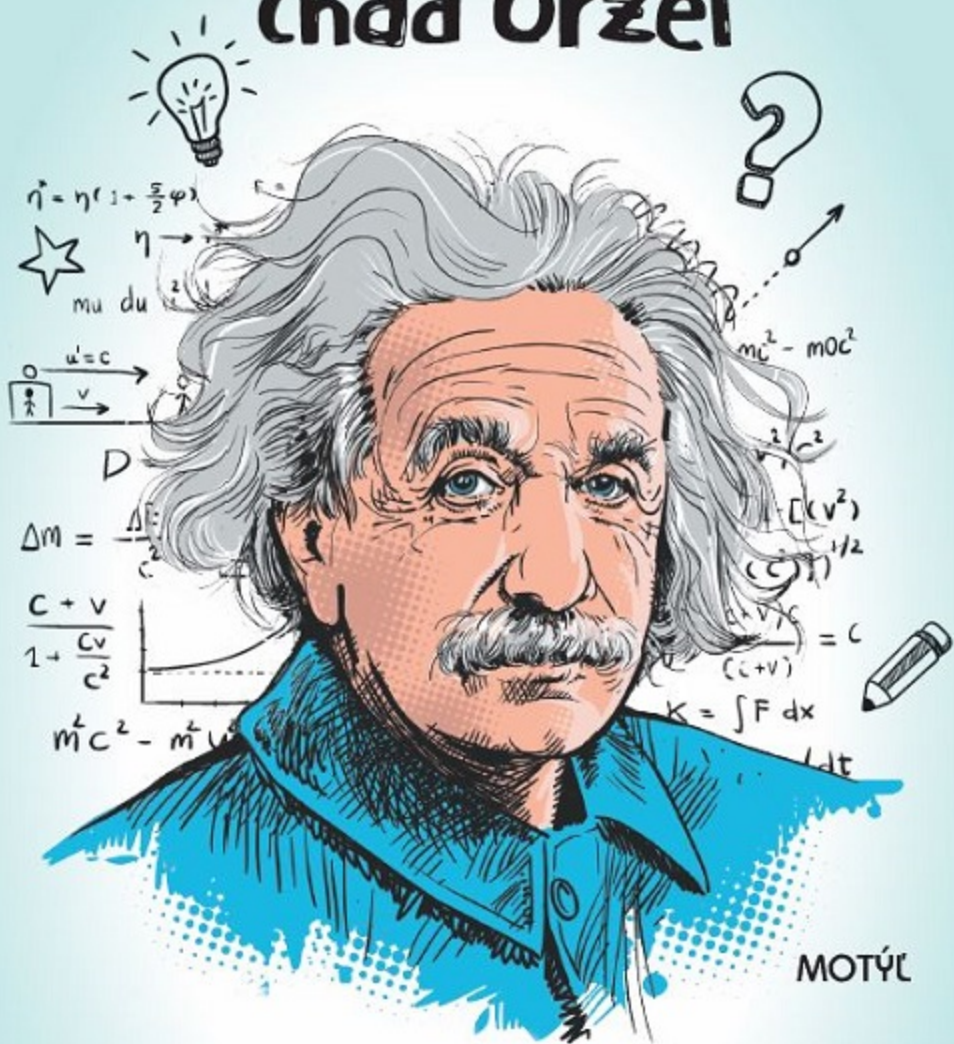


Chad Orzel



MOTÝL

Raňajky s Einsteinom

FYZIKA KAŽDODENNÉHO ŽIVOTA

Raňajky s EinSteinOm

Raňajky s EinSteinOm

FYZIKA KAŽDODENNÉHO ŽIVOTA

chad Orzel



VYDAVATELSTVO MOTÝČ

BREAKFAST WITH EINSTEIN

Copyright © 2018 by Chad Orzel

Published by arrangement with Folio Literary Management, LLC.

All rights reserved.

Translation © Michal Zidor 2019

Design © Motýľ design 2019

Cover photo © Naci Yavuz/Anna Tochennikova/VectorPot/9'63

Creation/Shutterstock

Slovak edition © Vydavateľstvo Motýľ 2019

ISBN: 978-80-8164-192-3

*Venujem Davidovi, svojmu obľúbenému drobčekovi.
Zo všetkých drobčekov, ktorých poznám, mám najradšej teba.*

Reakcie čitateľov

„Prečo nás žiarovky neupražia smrtiacou radiáciou? Prečo nemôžete prestrčiť ruku cez pevnú stenu? Prečo nie je každý kúsok kovu magnetom? Mnohé vedecké knihy sa sústreďujú na najnovšie bláznivé vesmírne objavy, Orzel nám však ukazuje, že aj bežný svet okolo nás je naozaj divný.“

– **George Musser, editor a prispievateľ do časopisu *Scientific American* a autor knihy *Spooky Action at a Distance***

„Bežný človek si predstavuje kvantovú mechaniku ako jednu z najabstraktnejších oblastí vedy, ktorá je nepochopiteľná pre každého okrem expertov. Chad Orzel však v knihe *Raňajky s Einsteinom* veľmi výstižne znázorňuje, že široká škála každodenných aktivít – od varenia vody na čaj na rozpálenom sporáku až po fotenie a natáčanie na elektronických kamerách a telefónoch – závisí od kvantových zákonov. Orzel šikovne vysvetľuje tieto dôležité princípy opisom toho, ako kvantové mechanizmy ovplyvňujú jeho typickú rannú rutinu. Táto kniha je nutnosťou pre každého, koho fascinuje kvantová mechanika a jej vysvetlenia sveta.“

– **Paul Halpern, autor knihy *Quantum Labyrinth: How Richard Feynman and John Wheeler Revolutionized Time and Reality***

„William Blake uvidel svet v zrnku piesku. Chad Orzel vidí vesmír v hrianke. Orzel je majstrom v opisovaní abstraktných myšlienok, ako sú relativita a kvantová mechanika,

jednoduchým spôsobom, pričom svoje vysvetlenia dopĺňa vedeckými faktami. Táto zábavná, pútavá a nesmierne poučná kniha je skvelým dôkazom, že všetko je fascinujúce, keď sa na to pozrieme zblízka. V každom prípade navždy zmenila môj pohľad na raňajky.“

– **Amanda Gefterová, autorka knihy**
Trespassing on Einstein's Lawn

„Kniha *Raňajky s Einsteinom* je jasným a pútavým úvodom do divov kvantovej mechaniky. Ukazuje nám, že tieto princípy nás vždy obklopujú a prejavujú sa pravidelne v každodennom živote. Chad Orzel je dokonalým sprievodcom vo svete atómov a fotónov a dáva nám najavo, že ani naše ranné rituály by neboli možné bez zázrakov modernej fyziky.“

– **James Kakalios, profesor fyziky na Minnesotskej univerzite a autor kníh** *The Physics of Superheroes*
a The Physics of Everyday Things

„Orzel nás zaujme každodennými prežitkami a potom zistíme, že nás sprevádza viac než sto rokmi fyzikálnych objavov. Čitateľ lepšie pochopí každodenné prežitky a navyše zistí, ako samotní fyzici vnímajú svet.“

– **David Saltzberg, profesor fyziky a astronómie na Kalifornskej univerzite v Los Angeles**

„Nová kniha Chada Orzela je majstrovským príbehom o tom, akými nespočetnými spôsobmi fyzika tvaruje náš život.“

– **Sabine Hossenfelderová, prírodovedkyňa a autorka knihy** *Lost in Math*

OBSAH

ÚVOD	1
1. KAPITOLA	
Východ slnka: základné interakcie	17
2. KAPITOLA	
Ohrievajúce objekty: Planckov zúfalý trik	37
3. KAPITOLA	
Digitálne fotografie: objav patentového úradníka	59
4. KAPITOLA	
Budík: atóm futbalistu	75
5. KAPITOLA	
Internet: riešenie pri hľadaní odpovede	97
6. KAPITOLA	
Čuchové zmysly: chémia vylučovacieho princípu	121
7. KAPITOLA	
Pevné objekty: energia neurčitosti	149
8. KAPITOLA	
Počítačové čipy: internet je pre Schrödingerove mačky...	175

9. KAPITOLA

Magnety: ako vlastne fungujú? 207

10. KAPITOLA

Detektor dymu: únik pána Gamowa..... 229

11. KAPITOLA

Šifrovanie: posledný brilantný omyl 249

Záver 273

Podakovanie 277

O autorovi..... 279

Index 280

ÚVOD

Slnko vychádza krátko pred tým, ako mi zazvoní budík. Vstávam z postele do nového dňa. Keď odchádzam zo spálne, na chodbe je ešte tma. Kontrolka na detektore dymu vrhá slabé svetlo na stenu. V kuchyni postavím vodu na čaj – skontrolujem žiaru na platničke, aby som sa uistil, že som znovu v rozospatosti nepoložil kanvicu na nesprávny varič. Otvorím chladničku a hľadám v nej niečo na raňajky, pričom si dávam pozor, aby som nezhodil žiadne z umeleckých diel prichytených magnetom na dvierkach. Zasuniem dva krajce chleba do hriankovača, trochu ním zatrasiem, keď sa prichytia o mriežku, a medzitým sa opieram o kuchynský pult.

Čaj je stále príliš horúci na pitie, vychutnávam však arómu z pary, ktorá z neho stúpa, kým chladne. Potom zapnem počítač, aby som zistil, čo sa deje vo svete. Sociálne médiá sú plné bežných vecí, ktoré tam pribudli za noc – ranných správ z Európy a Afriky, večerných príbehov z Ázie a Austrálie, digitálnych fotiek detí a mačiek, ktoré zdieľali moji priatelia z celého sveta. E-mailové správy pochádzajú hlavne od študentov, ktorí chcú poradiť s domácou úlohou, nachádzam však aj niekoľko potvrdení a správ o zaslaní kúpených vecí z internetových obchodov.

Keď zjem hrianky a vypijem čaj, vezmem vôdzku a idem so psom na našu rannú prechádzku. Keď sa vrátim, nastane čas zobudiť deti a pripraviť ich do školy. Nastúpia na autobus, potom sa ja sám vyberám do školy, aby som ďalších študentov učil o fyzike, ktorá je všade okolo nich.

Keď ľuďom poviem, že som fyzik, často sa stretnem s otázkami o exotických javoch založených na pestrých a pútavých príkladoch, ktoré sú dôsledkom dlhoročných debát o kvantovej teórii. Ľudia sa ma pýtajú na Schrödingerovu slávnu mačku, živú a mŕtvu zároveň, alebo na kvantové previazanie, ktoré Einstein zo žartu nazval „strašidelné pôsobenie na diaľku“, poprípade či Boh *naozaj* hrá kocky s vesmírom. Tieto témy sú zaujímavé pre laikov i profesionálnych fyzikov, pretože často popierajú náš intuitívny náhľad na fungovanie sveta.

Zatiaľ čo fyzici a autori popularizujúci fyziku mali veľký úspech v začleňovaní abstraktných a zvláštnych myšlienok do populárnej kultúry, z určitého pohľadu sme aj obeťami tohto úspechu. Väčšina ľudí, ktorí počuli o týchto podivných a úchvatných javoch, ich považuje za objavy, ku ktorým sa dá dospieť len pri experimentoch za niekoľko miliárd dolárov, napríklad ako v prípade veľkého hadrónového urýchľovača, alebo v extrémnych astrofyzických prostrediach, napríklad v horizonte udalostí čiernej diery. Neintuitívna povaha podobných javov a metaforický jazyk, ktorý musíme používať, aby sme ich vedeli vysvetliť laikom bez hlbších znalostí matematiky, vedú k presvedčeniu, že kvantová fyzika sa nijako nevzťahuje ku každodennému životu.

Preto vás môže prekvapiť, že nič v opise bežnej rannej rutiny, ktorým sa začal tento úvod, by nebolo možné bez „exotickej“ kvantovej fyziky. Čas meraný našimi budíkmi sa dá sledovať prostredníctvom energetických stavov v atómoch, ktoré existujú preto, lebo elektróny majú vlnovú povahu. Polovodičové čipy v našich počítačoch, vďaka ktorým si posielaťme zábavné fotky a videá s mačkami, sa nedajú pochopiť bez kvantovej superpozície, ktorú využíval Schrödingerov slávny príklad so zombie mačkou. Chémia arómy čaju či stabilita pevnej hmoty brániaca tomu, aby naše raňajky prepadli cez

hmotu stola, sa nedajú vysvetliť bez zvláštnych štatistických vlastností kvantových spinov.

Pri bližšom pohľade sa ukáže, že náš každodenný svet je tvorený „exotickými“ a „abstraktnými“ javmi kvantovej fyziky. Keby ste sa tomu prizreli bližšie, zistíte, že aj najobyčajnejšie aktivity, ktoré tvoria rannú rutinu, majú v podstate kvantovú povahu.

Najprv vám to môže pripadať nepravdepodobné, no keď sa nad tým zamyslíte, musí to byť pravda. Fyzici sa napokon pohybujú v rovnakom každodennom svete ako všetci ostatní. Hoci najkomplexnejšie fyzikálne experimenty využívajú lasery a urýchľovače častíc, aby skúmali svet na oveľa hlbšej úrovni, než akú zažívame bežne v živote, aj najkomplikovanejšie experimenty a pozorovania sa musia začať a skončiť tu v bežnej realite. Navyše sofistikované nástroje používané na tieto experimenty majú základ v normálnom svete: prístroje a techniky využívané na študovanie najabstraktnejších stránok fyziky sa zdokonaľovali v priebehu mnohých rokov na základe drobných objavov, ktoré viedli k čoraz zvláštnejším javom. Objavy vedúce k exotickej a abstraktnej fyzike majú počiatok v neobyčajnom a tajomnom správaní bežných vecí. Keby kvantová fyzika neovplyvňovala každodenný makroskopický svet, nikdy by sme ju nepotrebovali skúmať.



Príbeh tohto skúmania sa začína pozorovaniami a technológiami, ktoré pozná takmer každý, kto si robí raňajky. Celkom prvú kvantovú teóriu – v skutočnosti tú, ktorá do fyziky vniesla slovo „kvantum“ – vyvinul Max Planck a vysvetľoval ňou červenú žiaru okolo horúceho predmetu, napríklad ohrievacieho telesa v elektrickom sporáku alebo hriankovači. Myšlienky kvantovej teórie po prvý raz aplikoval na materiálne predmety Niels Bohr

v modeli atómu vodíka – je to fyzika, ktorú môžete vidieť v akcii vždy, keď použijete fluorescenčné svetlo.

História kvantovej fyziky je aj históriou vedcov, ktorí sa odvážne vydávali do neznáma a dospeli k náhodným objavom. Planck a Bohr predstavili svoje kvantové modely len ako zúfalý trik na vysvetlenie javov, ktoré klasickí fyzici jednoducho nevedeli objasniť. Louis de Broglie navrhol, že elektróny sa môžu správať ako vlny, iba preto, aby sa s nimi pracovalo elegantnejšie v matematickej rovine, pričom vlnová povaha hmoty je kľúčová pre pochopenie a kontrolovanie pohybu elektrického prúdu, ktorý umožňuje fungovanie nesmierne širokej škály moderných prístrojov. Wolfgang Pauli vysvetlil konceptuálny základ chémie jedinou teóriou, keď predstavil svoj vylučovací princíp. Ukázalo sa, že „Pauliho vylučovací princíp“ je kľúčový pre pochopenie problémov, o ktorých Pauli neuvažoval, ako napríklad prečo magnetky držia na chladničkách alebo prečo sa hmotné objekty nezrútia samy do seba.



Albert Einstein bol v tom všetkom kľúčovým hráčom – jeho meno nie je na obale knihy len preto, aby sa lepšie predávala. Einsteina si väčšinou spájame s teóriou relativity, iným (rovnako fascinujúcim) odvetvím modernej fyziky, a keď sa jeho meno vôbec spomenie v spojitosti s kvantovou fyzikou, je to obyčajne kvôli jeho strohým a pohrďavým poznámkam o tejto teórii, ktoré vyslovil v pokročilejšom veku.

V skutočnosti však Einstein zohrával podstatnú úlohu v rozvoji kvantovej fyziky. V roku 1905, keď predstavil teóriu relativity, zároveň použil Planckov kvantový model, ktorým vysvetlil fotoelektrický jav, ktorý je kľúčový pre fungovanie digitálnych kamier, ktoré bežne používame na

zdokumentovanie svojho moderného života. O desaťročie neskôr rozvinul teóriu interakcie medzi svetlom a atómami, ktorá položila základ pre objavenie laserov, ktoré sú podstatou modernej telekomunikácie. Hoci sa neskôr odčlenil od hlavného prúdu kvantovej fyziky, prispel do nej hodnotným objavom: predstavil teóriu kvantového previazania, ktoré používajú mnohí experti pri návrhoch novej generácie kvantových technológií, medzi aké patria nerozlúštiteľné šifrovanie a neuveriteľne výkonné počítače.



V tejto knihe vám chcem ukázať kvantovú povahu každodennej reality na príklade bežného rána, ktoré som opisoval vyššie. V nasledujúcej kapitole sa pozrieme na opísané aktivity a uvidíme, že ranná rutina bežného dňa do veľkej miery závisí od najpodivnejších javov, aké boli kedy objavené. Vysvetlím vám, ako kvantové efekty súvisia s vaším životom, a popri tom sa pozrieme aj na to, podľa čoho ich vedci dokázali objaviť.

Nie je mojím zámerom stiahnuť kvantovú fyziku na zem, aby bola rovnako všedná ako bežné raňajky, skôr by som chcel pozdvihnúť váš obyčajný deň – ukážem vám, koľko úžasu a zázrakov sa dá nájsť v najjednoduchších aktivitách, ktoré robievame dennodenne. Kvantová fyzika je jedným z najväčších intelektuálnych triumfov ľudskej civilizácie. Nesmierne nám rozširuje myslenie a je plná inovatívnych nápadov. Navyše je každý deň všade okolo nás, len musíme vedieť, kde ju hľadať.

1. KAPITOLA

VÝCHOD SLNKA: základné interakcie

Slnko vychádza krátko pred tým, ako mi zazvoní budík. Vstávam z postele do nového dňa...

Začať knihu o kvantovej fyzike každodenných objektov rozprávaním o slnku môže vyzeráť ako podvádzanie. Slnko je napokon obrovská guľa horúcej plazmy, o trochu viac než miliónkrát väčšia ako Zem, ktorá sa vznáša vo vesmíre asi stopäťdesiat miliónov kilometrov od nás. Nie je to každodenný objekt, ako napríklad budík, ktorý môžete vziať do ruky a hodiť ho na druhý koniec izby, keď vás zobudí po príliš krátkom spánku.

Na druhej strane, slnko je najdôležitejším každodenným objektom zo všetkých, aj keď zanedbáme fakt, že deň sa začína až po jeho východe. Bez svetla zo slnka by bol život na našej planéte absolútne vylúčený – rastliny, ktoré potrebujeme pre potravu a kyslík, by nerástli, oceány by zamrzli a tak ďalej. Svetlo a teplo slnka potrebujeme na základnú existenciu.

Slnko je užitočné aj ako určitá „hlavná postava“ v tejto knihe, pretože súvisí s kľúčovými hráčmi kvantovej fyziky,

dvanástimi základnými časticami tvoriacimi bežnú hmotu a so štyrmi základnými interakciami medzi nimi.

Dvanásť základných častíc – tých, ktoré nemôžeme rozložiť na menšie časti – sa delí na dve skupiny; v každej je šesť častíc. Skupina *kvarkov* pozostáva z tzv. strange (podivných) kvarkov, charm (pôvabných) kvarkov, kvarkov typu *up*, *down*, *top* a *bottom*. Skupinu *leptónov* tvoria elektrón, mión, tauón a elektrónové, miónové a tauónové neutrína. Štyrmi základnými interakciami sú gravitačná, elektromagnetická a silná a slabá jadrová interakcia. Tieto častice a interakcie môžete obyčajne nájsť očíslované na pestrofarebnom diagrame visiacom v učebniach fyziky pod spoločným, veľmi všeobecným názvom „Štandardný model fyziky častíc“. Štandardný model v sebe zahŕňa všetko, čo vieme o kvantovej fyzike (a tiež o schopnosti fyzikov vymyslieť pútavý názov). Považuje sa za jeden z najväčších intelektuálnych úspechov ľudskej civilizácie.* Slnko je dokonalým úvodom k štandardnému modelu, pretože na to, aby slnko svietilo, sú potrebné všetky štyri základné interakcie.

Náš príbeh teda začneme slnkom a stručne sa pozrieme na jeho funkcie, aby sme znázornili základnú fyziku, ktorá nám umožňuje robiť všetko ostatné. Postupne si prejdeme všetky základné interakcie počnúc najznámejšou a najlepšie pozorovateľnou silou: gravitáciou.

Gravitácia

Keby ste mali zhotoviť „rebríček víťazov“ základných interakcií štandardného modelu, tri zo štyroch by ste mohli pokojne

* Ucelenejší prehľad o fyzike štandardného modelu nájdete v knihe Roberta Oertera *The Theory of Almost Everything* (Plume, 2006); historický vývoj opisuje podrobne Frank Close v knihe *The Infinity Puzzle* (Basic, 2013).

umiestniť na prvé miesto. Keby ma však nútili rozhodnúť sa pre jediné, priznal by som tú česť gravitácii, pretože gravitácia je v konečnom dôsledku zodpovedná za existenciu hviezd, a tým aj väčšiny atómov, ktoré tvoria naše telo a všetko okolo nás, čo nám zas umožňuje viesť túto nezmyselnú debatu o hodnotení základných síl.

V každodennom živote je gravitácia pravdepodobne najbežnejšou a najhmatateľnejšou zo základných interakcií. S gravitáciou bojujete, keď ráno vstávate z postele, a je to tiež gravitácia, ktorá mi bráni „zavesiť“ loptu do basketbalového koša (okrem gravitácie zrejme aj moja hrozná kondička...). Takmer po celý čas v živote cítime pôsobenie gravitácie, takže keď ju na chvíľu necítime – napríklad v zábavných parkoch pri jazdách s prudkým klesaním –, je to pre nás fascinujúce a vzrušujúce.

Gravitácia je nám veľmi blízka, preto je jednou z najskúmanejších síl v histórii vedy. Ľudia rozmýšľali nad tým, ako a prečo predmety padajú na zem, prinajmenšom od najstarších čias, z ktorých máme záznamy o skúmaniach prírodných javov. Populárne legendy pripisujú vznik fyziky mladému Isaacovi Newtonovi, ktorého uchvátilo jablko padajúce zo stromu (v niektorých verziách na jeho hlavu), následkom čoho sformuloval gravitačný zákon. Napriek tomuto vymyslenému príbehu si však vedci a filozofi už dlho predtým uvedomovali gravitáciu a venovali množstvo času rozmyšľaniu nad tým, ako funguje. Pred Newtonom dokonca Galileo Galilei, Simon Stevin a iní vedci podnikli experimenty a učinili objavy v tejto oblasti – zistili, že všetky predmety padajú na zem bez ohľadu na svoju hmotnosť rovnakou rýchlosťou.

Sám Newton v starobe rozprával príbeh o padajúcom jablku mladším kolegom. Z čias, keď k tomu malo dôjsť (kým Newton pracoval na gravitácii), nie sú o udalosti s jablkom zmienky v žiadnych materiáloch. V tom období však strávil