



Suzie
Sheehyová

**PODSTATA
VŠEHO**

**Dvanáct experimentů,
které změnily svět**

edice **aliter** — svazek **90**

Suzie
Sheehyová

PODSTATA VŠEHO

**Dvanáct experimentů,
které změnily svět**

Dokořán a Argo 2025

Suzie Sheehyová
PODSTATA VŠEHO
Dvanáct experimentů,
které změnily svět

Copyright © Suzie Sheehy 2022
Translation © Tomáš Nosek, 2025

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).
Z anglického originálu *The Matter of Everything:
Twelve Experiments that Changed Our World*
vydaného v roce 2022 nakladatelstvím Bloomsbury Publishing
přeložil Tomáš Nosek.

Odpovědní redaktori Zdeněk a Jan Kárníkovi.
Redakce Marie Černá.

Obálka, sazba a konverze do
elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2025 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,
Holečkova 9, Praha 5,
dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,
jako svou 1 319. publikaci (455. elektronická).

ISBN 978-80-7675-230-6

OBSAH

Úvod	7
Část 1. Kolaps klasické fyziky	17
1 Katodová trubice: rentgenové záření a elektron	19
2 Experiment se zlatou fólií: struktura atomu	41
3 Fotoelektrický jev: světelné kvantum	62
Část 2. Subatomární hmota	93
4 Mlžná komora: kosmické záření a spršky nových částic	95
5 První urychlovače částic: rozštěpení atomu	126
6 Cyklotron: manufaktura radioaktivity	159
7 Synchrotronové záření: dlouho neočekávané světlo	185
Část 3. Standardní model a ještě dál	209
8 Rozmach částicové fyziky: podivné rezonance	211
9 Megadetektory: lov přízračných neutrin	242
10 Lineární urychlovače: objev kvarků	267
11 Tevatron: třetí generace hmoty	292
12 Velký hadronový urychlovač: Higgsův boson a ještě dál	327
13 Budoucí experimenty	359
PODĚKOVÁNÍ	375
POZNÁMKY	377
REJSTŘÍK	403

Úvod

Před několika lety jsem seděla u svého notebooku a na čele mi naskakovaly vrásky z na první pohled jednoduché otázky, kterou mi právě položili čtyři profesori částicové fyziky z Oxfordské univerzity. V paměti mi jejich jména bohužel neutkvěla nejen kvůli nervozitě, ale i proto, že celý přijímací pohovor doktorského studia probíhal přes nestabilní internetové připojení v pokoji jakéhosi motelu v australském vnitrozemí. Zeptali se mě: „Co vás fascinuje na částicové fyzice?“

Byla to od nich samozřejmě záludnost, pohovory na Oxford jsou svou náročností pověstné. Já jsem si v tu chvíli řekla, že bude nejlepší být upřímná. Líčila jsem jim svůj údiv nad tím, jak fyzika zdánlivě dokáže popsat úplně každou věc, od nejmenších subjaderných částic přes atomy, které tvoří naše těla, až po vesmír v tom nejzazším měřítku, a také jak to všechno spolu souvisí.

Částicová fyzika, řekla jsem, je toho všeho základem.

*

Pět let předtím jsem studovala stavební inženýrství na univerzitě v Melbourne. Netušila jsem, že je možné stát se fyzičkou. Ačkoli mě fyzika ve škole bavila, měla jsem za to, že vede jen ke kariéře inženýra. To se ale změnilo hned v prvním ročníku vysokoškolského studia, když mě spolužáci pozvali na každoroční zlatý hřeb aktivit studentského fyzikálního spolku – astrobivak.

Jednoho pátečního odpoledne jsme vyjeli z Melbourne a po dvou hodinách dorazili k takzvané oblasti tmavé oblohy Leon Mow. Hrbolatá polní cesta nás dovedla k budce s plechovou střechou, kde jsme poblíž rozlehlé mýtiny postavili stany, vytáhli dalekohledy a otevřeli si pivo. Jak se postupně zešerilo, teplota klesla a vzduchem k nám doléhal cvrkot cikád. Gumičkou do vlasů jsem přes světlo své baterky připevnila kus červeného celofánu – abych viděla, ale zároveň nenarušovala temnotu noci. Vlezla jsem si do spacáku a ocenila jeho dvojí funkci: jakožto zdroje tepla a ochrany před hmyzem. Nasála jsem důvěrně známou vůni blahovičníků a pak jsem pohlédla vzhůru.

„Támhle jeden letí!“ vykřikl někdo vedle mě, když oblohou prosvištěl meteor. Ten skutečný zázrak „oblasti temné oblohy“ se ukázal, teprve když mé oči přivykly okolní tmě. Naše hovory vystrídal šepot a ten zase úplné ticho. Venuše pomalu zapadla za obzor, aby dala vyniknout i ostatním planetám. Té noci jsem si uvědomila pomalu, ale neustále se měnící povahu noční oblohy. V dalekohledech svých přátel jsem pozorovala nádherné Saturnovy prstence, jež, jakkoli mi byly dříve známé z obrázků, vypadaly tak podivně nově. Spatřila jsem hvězdy formující se v mlhovinách a kulové hvězdokupy, jejichž miliony jiskřících hvězd nás obíhají ve vzdálenostech statisíců světelných let.

Nejúčvatnější pohled byl ovšem na jasný pás hvězd a prachu, na zářivý oblouk naší vlastní galaxie, Mléčné dráhy. Z jižní polokoule se díváme směrem do středu jejího disku, od nějž jsme vzdáleni asi dvě třetiny celého poloměru. Obíháme kolem své vlastní hvězdy, která se sama též pohybuje Mléčnou dráhou. Naše galaxie křížuje vesmírem rychlostí asi 600 kilometrů za sekundu spolu se skupinou dalších galaxií. A mimo ni existují ještě miliardy jí podobných, a také hvězd

a mlhovin, černých děr a kvazarů, hmoty vzniklé přeměnou z energie kdesi a kdysi v nesmírnosti všeho prostoru a času.

V tu chvíli jsem opravdu pochopila, jak jsem nepatrná a jak je můj život vlastně krátký, jak ani nedokážu slovy vyjádřit význam toho všeho, co vidím. Hvězdy a planety nevisí někde *tam nahoře* a já nejsem *tady dole*. Vše je součástí jednoho ohromného fyzikálního systému zvaného vesmír. I já jsem jeho součástí. Ačkoli jsem to už samozřejmě věděla, dosud jsem si své místo v něm takto *neuvědomovala*.

A najednou už mi na ničem jiném nezáleželo. Chtěla jsem se dozvědět více o gravitaci a částicích a temné hmotě a relativitě. O hvězdách a atomech a světle a energii. Hlavně jsem ale chtěla zjistit, jak to spolu všechno souvisí a jak do toho zapadám já. Zajímalo mě, zda skutečně existuje teorie všeho. Così mi v hloubi duše našeptávalo, že právě to je to nejpodstatnější, že právě na tom z perspektivy člověka záleží. Že porozumět tomu všemu je dostatečně ušlechtilý cíl, a pokud se mu jen o kousíček přiblížím, nepromarním všechnen čas, který byl mně, vědomé bytosti, darován. Rozhodla jsem se stát se fyzičkou.

*

Ústředním úkolem fyziky je porozumět, jak se vesmír a vše, co je v něm, chová. Jedním ze způsobů, jak k tomu dospět, je klást si postupně otázky. Jak jsem hlouběji pronikala do tajů fyziky, zdálo se, že zásadní otázkou je: „Co je to hmota a jakým způsobem spolu vzájemně interaguje, aby vytvořila vše kolem včetně nás samých?“ Dalo by se říct, že to byl pokus o nalezení smyslu mé vlastní existence. Namísto studia filozofie jsem se ale vydala trochu oklikou a snažila se pochopit rovnou celý vesmír.

Ačkoli si nad povahou hmoty lidé lámou hlavu už mnoho tisíciletí, teprve v posledních 120 letech naše zvědavost vyústila alespoň v nějaká konkrétní zjištění. Naše chápání nejmenších dílků přírody a sil, které je ovládají, líčí částicová fyzika, jedno z nejužasnějších, nejsložitějších a nejkreativnějších dobrodružství, do jakého jsme se kdy my, lidé, pustili. Máme velice podrobné znalosti o fyzikální podstatě vesmíru i o tom, jak do sebe vše zapadá. Zjistili jsme, že z fyzikálního hlediska má realita daleko bohatší a složitější charakter, než si lidé o několik generací zpět vůbec dokázali představit. Zavrhli jsme představu atomů jakožto nedělitelných stavebních kamenů našeho světa, abychom objevili elementární částice, které v běžně se vyskytující hmotě sice zásadní roli nehrají, nicméně pro matematiku, která naši realitu (tak trochu zázračně) popisuje, se jeví jako nezbytné. V pouhopouhých několika desetiletích jsme tu skládku dali dohromady skoro celou, od výbuchu energie na počátku vesmíru až po ta nejpresnější měření přírody vůbec.

Za těch 120 let se náš pohled na elementární složky přírody od základu změnil – od objevu radioaktivity a elektronu až po atomové jádro a jadernou fyziku, spolu s rozvojem kvantové mechaniky, která popisuje přírodu na těch nejmenších škálách. Někdy ve 20. století se tomu dohromady začalo říkat „fyzika vysokých energií“, jak se vědecká pozornost přesouvala od jader k novým částicím. Dnes se jejich studiu, tedy otázce, jak vznikají, jak se chovají a přeměňují, říká jednoduše částicová fyzika.

Všechny známé částice a síly, kterými na sebe vzájemně působí, klasifikuje takzvaný standardní model částicové fyziky (nebo prostě jen standardní model). Vznikal v průběhu několika desetiletí do zhruba 70. let 20. století za spolupráce mnoha fyziků. Je po všech stránkách ohromným úspěchem,

je matematicky elegantní a až neuvěřitelně přesný, přitom by se jeho zápis vešel na hrnek. Ještě jako studentce mi učarovalo, do jakých podrobností charakterizuje fungování přírody na její nejzákladnější úrovni.

Standardní model tvrdí, že veškerá hmota naší každodenní existence sestává pouze ze tří různých částic. Jsou jimi dva typy kvarků zvané „horní“ (up) a „dolní“ (down), z nichž se skládají protony a neutrony. Ty pak společně s elektrony tvoří atomy, které drží pohromadě díky elektromagnetismu a jaderným silám, silné a slabé. To je vše. To jsme my a všechno, co vidíme kolem nás.¹ Přestože se skládáme jen z kvarků a elektronů, nějakým způsobem jsme také přišli na to, že příroda toho v sobě skrývá *daleko víc*.

Cesta na tento pomyslný vrchol poznání ovšem nevedla jen skrze nějaká zásadní konceptuální a teoretická prozření. Stereotypní představa génia teoretizujícího kdesi v hlubinách svého kabinetu je do značné míry zavádějící. Fyzici v posledních více než sto letech přistupovali k otázkám jako „Co se skrývá uvnitř atomu?“, „Jaká je povaha světla?“ a „Jak se zrodil náš vesmír?“ téměř výhradně prakticky. Hlavním důvodem, proč dnes můžeme říci, že všechny ty věci *známe* a že lze důvěřovat našim teoretickým modelům v jejich schopnostech reprezentovat fyzikální skutečnost, není pěkná matematika, ale pečlivě provedené experimenty.

Naprostá většina z nás se už v dětství setká s myšlenkou, že svět je složen z protonů, neutronů a elektronů. Ale o tom, *jak* se na to přišlo, *jak* lze zkoumat hmotu, síly a vůbec prostě cokoli, se ale mluví jen velmi málo. Proton je milionmilionůkrát menší než zrnko písku, a rozhodně tedy není zjevné, jak by se s hmotou mělo v takových měřítkách vlastně pracovat. V tom spočívá kouzlo experimentální fyziky, která sleduje lidskou zvědavost od zárodků myšlenky přes

faktická fyzikální zařízení až k novým vědomostem. Onen večer při kempování pod temnou oblohou jsem pochopila, že mě fyzika baví víc, když ji prožívám na vlastní kůži, což ve mně vzbudilo touhu stát se experimentální fyzikou.

Zatímco teoretik se může kochat matematickými možnostmi svých modelů, k děsivé hranici jejich zranitelnosti – do světa reality – nás zavedou až experimenty. V tom je rozdíl mezi teorií a experimentem. Zatímco teoretický fyzik musí vzít v úvahu výsledky už dříve provedených experimentů, experimentátorky a experimentátoři to mají o něco složitější. Není to tak, že by jen dokola ověřovali teoretické předpovědi. Kladou si vlastní otázky a navrhuji i konstruuji zařízení, na kterých je lze ověřit.

Sami musí teorii pochopit a vhodně použít, zároveň se jí však nikdy nesmí nechat omezovat. Musí vytrvat ve své vůli neustále nacházet a zkoumat cokoli neočekávaného a neznámého. Musí rozumět mnoha rozličným věcem a jejich praktické dovednosti sahají od elektroniky po chemii, od svařování po správné zacházení s kapalným dusíkem. Nakonec to všechno musí také skloubit dohromady, aby s hmotou, kterou na vlastní oči nikdy nespatří, zvládli správně manipulovat. Fyzikální experimenty jsou extrémně náročné a nezdědka spočívají v metodě pokus-omyl. Chce to mít svéráz a jistou dávku urputné zvědavosti, aby člověk neztratil chuť se s problémy vypořádávat. Přesto se v dějinách najdou tací, kteří to s houževnatostí sobě vlastní dokázali s nadšením.

Během 20. století se experimentální zařízení používaná v částicové fyzice vyvinula ze středně velkých aparatur, které se vejdou do běžné místnosti, až k těm nejkolosalnějším přístrojům, jaké v současnosti vůbec známe. Éra „velké vědy“, která začala někdy po roce 1950, s sebou přinesla projekty, na nichž spolupracují stovky zemí a desítky tisíc vědeckých

pracovníků. Trvají někdy klidně i více než čtvrt století, stojí miliardy dolarů a staví se při nich obrovské podzemní urychlovače částic skládající se z mnoha kilometrů vysoce přesných elektromagnetických součástek. Žádná jednotlivá země dnes nemůže takových úspěchů dosáhnout samostatně.

Podobně dramaticky se proměnil i náš každodenní život. Od roku 1900 trvalo ještě dalších dvacet let, než byla do většiny domácností vůbec zavedena elektřina. Hlavním dopravním prostředkem byli koně a střední délka života ve Spojeném království nebo ve Spojených státech byla kratší než padesát let. Dnes se žije v průměru déle mimo jiné proto, že když člověka něco trápí, nemocníci pomáhá s jeho diagnózou magnetická rezonance, CT a PET skener, a navíc disponujeme řadou léků, vakcín a špičkového vybavení k léčbě. Používáme počítače, spojuje nás celosvětová síť internetu a chytré telefony. To všechno dalo vzniknout zcela novým odvětvím a způsobům lidské činnosti. Dokonce i věci kolem nás, od pneumatik až po drahé kameny ve špercích, jsou designovány, vylepšovány a zdokonalovány pomocí technologií 20. století.

Jen málokdy moderní vynálezy vnímáme v jejich souvislosti s experimentální fyzikou, ačkoliv spolu velmi úzce souvisí. Všechny výše uvedené příklady vycházejí z experimentálních konceptů, jejichž cílem bylo dozvědět se něco víc o hmotě a přírodních silách. Za dvě poslední generace jsme se naučili ovládat jednotlivé atomy a zhotovit výpočetní zařízení tak malá, že je skoro nevidí ani mikroskop, využívat nestabilní povahu hmoty k diagnostice a léčbě nemocí či nahlížet do nitra starověkých pyramid za pomoci vysokoenergetických částic z vesmíru. To vše jen díky možnosti pracovat s hmotou i na úrovni atomů a částic, díky znalostem, které jsou plodem zvědavého výzkumu.

Rozhodla jsem se pro kariéru experimentátorky v oboru fyziky urychlovačů. Specializuji se na návrhy skutečných zařízení, která s hmotou manipulují v právě takových malých měřítkách. Fyzici od urychlovačů neustále přicházejí s novými způsoby tvorby částicových svazků, jež sice primárně slouží subatomární fyzice k získávání dalších poznatků, naše práce ale čím dál častěji přispívá i jiným částem společnosti. Moje studenty, přátele a jiné posluchače stále ještě překvapuje, když jim prozradím, že v nejbližší nemocnici se nějaký ten urychlovač téměř určitě najde, že i jejich chytrý telefon se spoléhá na kvantovou mechaniku a že mohou brouzdat po internetu právě díky částicovým fyzikům. Urychlovače se staví za účelem výzkumu virů, čokolády nebo starověkých svitků. Jaderné a částicové fyzice také vděčíme za většinu podrobných poznatků z geologie a dávné historie naší planety.

Bádání motivované čistou zvědavostí začíná u hranic známého a očekávaného, tyto limity posouvá a vede k nápadům a řešením, které často mění běh dějin. Poznáním nového se tak překlenuje propast mezi tím, o čem člověk ví, že je možné, a tím, co považuje za nemožné. Vskutku převratné inovace se rodí ze zvědavosti. A snad nejmarkantnější příklady tohoto jevu nabízí fyzika, zejména pak fyzika částicová. Jak tedy může tolik aspektů našeho moderního světa ovlivnit série několika fyzikálních experimentů?

Experimentů byly samozřejmě provedeny tisíce a k našemu poznání nějakým způsobem přispěly všechny. V této knize se ale seznámíme s dvanácti, které byly průlomové a vedly k objevům, jež dnes považujeme za zásadní pro chápání našeho světa. Začneme v Anglii a Německu na přelomu 19. a 20. století, kdy jen pár jednotlivců v poměrně malých laboratořích provedlo několik důležitých pozorování, po nichž se zhroutil obraz takzvané klasické fyziky a která

nám napověděla o existenci entit daleko menších, než jsou samotné atomy. Dozvíme se, jak k představám nově se rodící kvantové mechaniky přispělo několik experimentů v Chicagu a jak to fyziky z celé zeměkoule pátrající po stopách nových částic přimělo vznášet se v horkovzdušných balonech nebo se škrábat na vrcholky hor. Mísí se v tom všem radost s frustrací – charakteristický lidský prožitek z praktikování vědy, kombinace, kterou až příliš dobře znám z vlastní zkušenosti. Ohlédnutí do minulosti má ale tu výhodu, že si můžeme uvědomit něco, co první experimentátoři sami nemohli – totiž co všechno z jejich objevů a vynálezů nakonec vzešlo.

Další experimenty nám připomenou závody mezi Spojenými státy, Německem a Velkou Británií o to, kdo jako první sestrojí urychlovač částic a rozštěpí atom. Uvidíme, jak v Kalifornii vznikly první umělé radioaktivní prvky a jak šťastným řízením osudu, cestou aplikovaného výzkumu, vedly třeba až k objevu nového nástroje ke studiu a interpretaci kosmu. Na závěr si povíme příběhy vědeckých týmů a národů, které se spojily při budování experimentů gigantických rozměrů, na jejichž pozadí se odvíjela i moje vlastní profesní dráha – od amerických laboratoří, jako je Brookhavenská národní laboratoř, přes Lineární urychlovač ve Stanfordu a Fermilab až po Evropskou organizaci pro jaderný výzkum, CERN.

Dohromady tyto experimenty zosobňují podstatu vědeckého zkoumání, které vyvěrá z lidské všetečnosti. Za jedno století změnily náš život v téměř všech oborech, od výpočetní techniky po medicínu, od energetiky po komunikační prostředky a od umění po archeologii. Ve fyzice jde v její podstatě vždy o pochopení našeho místa ve vesmíru. To je dojem, který ve mně převládl ve chvíli, kdy jsem poprvé