

SVET

P●DĽA

FYZIKY

JIM

AL-KHALILI

SVET PODĽA FYZIKY

SVET
PODĽA
FYZIKY

JIM AL-KHALILI

PRELOŽIL RÓBERT HREBÍČEK

IKAR

Jim Al-Khalili
The World According to Physics

Published by Princeton University Press
Copyright © 2020 Jim Al-Khalili
Cover design by Chris Ferrante
Autor Photo Credit: Sebastian Nevols
Translation © 2022 by Róbert Hrebíček
Slovak edition © 2022 by IKAR, a.s.

Všetky práva sú vyhradené.
Nijaká časť tejto knihy sa nesmie reprodukovať, ukladať do informačných systémov ani prenášať v akejkoľvek podobe či akýmkoľvek spôsobom – elektronicky, mechanicky, fotokopírovaním, nahrávaním alebo inak – bez predchádzajúceho písomného súhlasu vlastníka autorských práv.

Z anglického originálu *The World According to Physics*
(Princeton University Press, New Jersey 2020)
preložil Róbert Hrebíček.
Odborná spolupráca doc. RNDr. Marián Fecko, PhD.
Redigovala Lenka Kleimanová.
Korigovala Katarína Šoganová.
Technická redaktorka Helena Oleňová.
Vydalo vydavateľstvo IKAR, a.s., Bratislava
v roku 2022 ako svoju 1 984. publikáciu v elektronickej podobe.
Prvé vydanie.
Sadzba a zalomenie do strán Veronika Jelenová.

ISBN 978-80-551-8675-7

OBSAH

	Predslov	1
1	Úžas z pochopenia	11
2	Mierka	33
3	Priestor a čas	61
4	Energia a hmota	91
5	Kvantový svet	119
6	Termodynamika a šíp času	149
7	Zjednotenie	177
8	Budúcnosť fyziky	203
9	Užitočnosť fyziky	249
10	Ako uvažuje fyzik	271
	PodĎakovanie	295
	Odporúčaná literatúra	301
	Register	311

PREDSLOV

Táto kniha je óda na fyziku.

Po prvý raz som sa do nej zalúbil ako tínedžer. Pripúšťam, že sčasti sa to stalo preto, lebo som si uvedomil, že som v nej dobrý. Predmet mi pripadal ako zábavná kombinácia riešenia hádaniek a používania zdravého rozumu. Rád som sa hral s rovnicami, manipuloval som s algebrickými symbolmi a dosadzoval som čísla tak, aby odhaľovali tajomstvá prírody. Zároveň som si však uvedomoval, že ak chcem získať uspokojivé odpovede na mnohé dôležité otázky o podstate vesmíru a o zmysle existencie, ktoré mi vírili v dospievajúcej mysli, musím študovať práve fyziku. Túžil som vedieť: Z čoho sa skládame? Odkiaľ pochádzame? Má vesmír začiatok alebo koniec? Má konečnú veľkosť alebo sa rozpína donekonečna? Čo je kvantová mechanika, ktorú mi spomenul otec? Aká je podstata času? Pátranie po odpovediach na tieto otázky ma priviedlo k tomu, že som život strávil

štúdiom fyziky. Odpovede na niektoré otázky už poznám, iné stále hľadám.

Niektorí ľudia sa pri odhaľovaní záhad života obracajú na náboženstvo alebo na nejakú inú ideológiu či na systém presvedčení. Pokiaľ ide o mňa, nepoznám náhradu za pozorné vyslovanie hypotéz, testovanie a vyvodzovanie faktov o svete, teda za základ vedeckej metódy. Pochopenie, z čoho sa skladá svet a ako funguje, ktoré sme nadobudli vďaka vede, predovšetkým vďaka fyzike, podľa mňa nepredstavuje iba jeden z mnohých, rovnako platných spôsobov odhaľovania pravdy o realite. Je to jediný spoľahlivý spôsob, ktorým disponujeme.

Niet pochyb, že mnohí ľudia sa do fyziky nezaľúbili tak ako ja. Od jej štúdia ich možno odradilo presvedčenie (alebo im ho podsunuli iní), že fyzika je ťažký alebo čudácky predmet. Snaha pochopiť nuansy kvantovej mechaniky, pravdaže, môže privodiť bolesť hlavy. No divy vesmíru môže a mal by oceňovať každý a nadobudnutie základného pochopenia nemusí znamenať celoživotné štúdium. V tejto knihe chcem opísať, prečo je fyzika taká úžasná, prečo predstavuje

základnú vedu a prečo je taká podstatná pre pochopenie sveta. Veľkolepý rozsah a záber dnešnej fyziky vyrážajú dych. Vieme, z čoho sa skladá (takmer) všetko, čo vidíme vo svete, a ako to drží pokope. Dokážeme vystopovať vývoj celého vesmíru do zlomkov sekundy po zrode priestoru a času. Vďaka vedomostiam o fyzikálnych prírodných zákonoch sme vyvinuli technológie, ktoré nám menia život, a naďalej ich zdokonaľujeme. Toto všetko je vskutku ohromujúce. Keď píšem tieto riadky, stále si kladiem otázku: Ako je možné, že niekto nemá rád fyziku?

Táto kniha má slúžiť ako úvod k niektorým z najhlbších a najzákladnejších predstáv vo fyzike, no s témami, ktoré preberám, ste sa v škole pravdepodobne nestretli. Niektorým čitateľom publikácia možno posluži ako prvé pozvanie do sveta fyziky. Podnieti ich, aby sa o nej učili viac alebo si ju dokonca zvolili za celoživotnú púť štúdia a objavovania, ako som to urobil ja. Iní, ktorí pri oboznamovaní sa s ňou vykročili nesprávnou nohou, jej možno opäť jemne pootvoria dvere. Mnohých asi uchvátí, ako ďaleko sa ľudstvo dostalo pri pátraní po pochopení.

Aby som vyjadril základné vedomosti o tom, čo nám fyzika hovorí o podstate sveta, vybral som súbor najdôležitejších predstáv v modernej fyzike a pokúsil som sa ukázať, ako sú prepojené. Preskúmame širokú škálu týchto konceptov od fyziky v najväčších vesmírnych mierkach až po fyziku na najmenej kvantovej úrovni, od úsilia fyzikov zjednotiť prírodné zákony až po ich pátranie po najjednoduchších možných fyzikálnych princípoch života, od špekulatívnych hraníc teoretického výskumu až po fyziku, ktorá tvorí základ každodenných zážitkov a techniky. Čitateľom ponúknem aj nové pohľady – predstavy, ktoré sme sa my fyzici naučili prijímať, no ktoré nedostatočne ozrejmuje ľuďom mimo najvnútornejších okruhov odborníkov. Napríklad na subatómovej úrovni oddelené častice navzájom komunikujú okamžite napriek tomu, že ich od seba delí istá vzdialenosť, čo sa prieči zdravému rozumu. Vlastnosť známa ako nelokalita nás možno prinúti v konečnom dôsledku prehodnotiť celé chápanie štruktúry samotného vesmíru. Smutné je, že mnohí nefyzici (ale aj niektorí fyzici) nesprávne chápu alebo interpretujú, čo to naozaj znamená.

Kritika (zvyčajne zo strany teoretických fyzikov) mnohých populárno-vedeckých kníh, ktoré objasňujú základné predstavy vo fyzike, spočíva v tom, že nie vždy pomáhajú laickému čitateľovi pochopiť, čo tieto koncepty vlastne značia. Podľa mňa za to môže fakt, že fyzici, ktorí týmto predstavám naozaj rozumejú, ktorí píšú výskumné štúdie a prichádzajú s novými teóriami, nemusia nevyhnutne vynikať vo vysvetľovaní myšlienok nefyzikom. Na druhej strane tí, ktorí majú väčšie skúsenosti s oboznamovaním verejnosti s výsledkami svojej práce a dosahujú pri tom väčší úspech, nemusia chápať niektoré koncepty dostatočne hlboko, takže sa obmedzujú na jednoduché analógie. Aj keď človek chápe fyziku a dokáže úspešne (aspoň dúfam) komunikovať s nefyzikmi, je preňho výzvou vysvetliť termíny, ako sú kalibračná invariancia, dualita, večná inflácia, holografický princíp, konformná teória poľa, anti-de Sitterov časopriestor alebo energia vákua, spôsobom, ktorý umožní skutočné nahliadnutie do príslušnej oblasti fyziky bez použitia zložitej matematiky. Urobil som, čo bolo v mojich silách, no určite sa nájdú čitatelia, ktorí budú mať pocit,

že som mohol podať vyšší výkon. Isteže, bude to pravda.

Ak sa túžite hlbšie pohrúžiť do akejkoľvek témy, ktorej sa tu dotýkam iba letmo, vedzte, že existuje veľa kníh, ktoré sa na to skvele hodia. Na konci publikácie uvádzam zoznam niektorých zdrojov, ktoré by podľa mňa mohli byť pre vás najprístupnejšie a najpoučnejšie. Mnohé z publikácií v tomto súpise vykresľujú cestu vedeckého pokroku: ako sa fyzika od čias starovekých Grékov počas tisícročí vyvíjala, ako sa robili objavy a ako sa predkladali a odmietali teórie a hypotézy. Diela sa väčšinou zameriavajú na revolúcie, ktoré zvrátili dovtedy zastávané názory na vesmír, a opisujú popredných aktérov historických udalostí. V tejto krátkej knihe sa nebudem obzerať na cestu, ktorú sme už prešli, a nebudem ani priveľmi opisovať to, ako ďaleko ešte musíme kráčať (keďže to neviem a zároveň tuším, že pred sebou máme ešte dlhú púť). V ôsmej kapitole sa však zameriam na to, čo vieme, že nevieme.

Nemienim propagovať nijakú konkrétnu teóriu. Napríklad ak ide o zosúladenie kvantovej

mechaniky so všeobecnou relativitou (svätý grál modernej teoretickej fyziky), nepridávam sa ani k jednému z dvoch hlavných táborov, ktoré si vytýčili tento cieľ. Nie som ani zástancom teórie strún, ani fanúšikom slučkovvej kvantovej gravitácie¹, lebo ani jedna z týchto teórií nespadá do mojej špecializácie. Pri výklade významu kvantovej mechaniky sa neprikláňam ku kodanskej interpretácii a nenadchýna ma ani interpretácia mnohých svetov.² Nezabráni mi to však v tom, aby som si občas o týchto problémoch nezapolemizoval.

Okrem toho sa budem usilovať, aby som sa príveľmi nezaplietol do filozofických či metafyzických úvah. Pravdaže, človek cíti pokušenie, keď preberá niektoré z najhlbších myšlienok v popredí fyziky, či už o podstate priestoru a času, o rozličných interpretáciách kvantovej mechaniky, alebo o význame reality. Nechcem tým povedať, že fyzika nepotrebuje filozofiu. Aby ste ľahšie

¹To, v čom tieto predstavy spočívajú, pravdaže, vysvetlím neskôr.

²Opäť platí, že vysvetlenie poskytnem neskôr.

pochopti, ako filozofia obohacuje môj odbor na najzákladnejšej úrovni, uvediem (a možno vás tým prekvapím), že fyzici sa nezhodujú dokonca ani na tom, či úlohou fyziky je zistiť, aký svet naozaj je, ako tvrdil Albert Einstein – teda spoznať akúsi konečnú pravdu, ktorá čaká na objavenie –, alebo stavať jeho modely a prichádzať s najlepším súčasným pokusom o vyjadrenie toho, čo vieme povedať o realite, ktorú možno nikdy celkom nespoznáme. Pokiaľ riešime tento problém, prikláňam sa na Einsteinovu stranu.

Jednoducho povedané, tvrdím, že fyzika nám poskytuje nástroje potrebné na pochopenie celého vesmíru. Jej štúdium predstavuje pátranie po vysvetleniach, no aby sme sa doň mohli pustiť, najskôr si musíme položiť správne otázky. Čiže urobiť čosi, v čom vynikajú práve filozofi.

Na cestu sa vydáme vo vhodne skromnom rozpolžení. V takom, ktoré – ak si to úprimne priznáme – máme všetci spoločné, ako deti, tak dospelí, s minulými aj s budúcimi generáciami. Čiže v takom, v ktorom nič nevieme.

Ak budeme rozmýšľať o tom, čo ešte nevieme, môžeme uvažovať o tom, ako to môžeme

najlepšie zistiť. Čoraz presnejší obraz o svete, ktorý poznáme a máme radi, sme nadobudli práve vďaka mnohým otázkam, ktoré sme kládli počas ľudských dejín.

Ponúkam vám teda svet podľa fyziky.

1. KAPITOLA

ÚŽAS Z POCHOPENIA

Hoci príbehy vždy budú tvoriť dôležitú súčasť ľudskej kultúry dokonca aj vo vede (naše životy by bez nich boli oveľa chudobnejšie), moderná veda mnohé staré mýty, povery a presvedčenia, ktoré ich sprevádzali, nahradila. Skvelým príkladom, ako sme demystifikovali prístup k chápaniu sveta, sú mýty o stvorení. Od začiatku dejín ľudstvo vymýšľalo príbehy o pôvode sveta a o božstvách, ktoré hrali úlohu pri jeho stvorení (od sumerského boha Ana, boha nebies, cez grécke mýty o Gaii vytvorenej z Chaosu až po mýty z knihy Genezis abrahámskych náboženstiev), a mnohé spoločnosti na celom svete ich stále považujú za doslovné pravdy. Laikom sa môže zdať, že moderné kozmologické teórie o vzniku vesmíru nie sú o nič lepšie ako náboženské mýty, ktoré nahrádzajú. Keď sa pozriete na niektoré špekulatívnejšie predstavy v modernej teoretickej fyzike,

asi budete súhlasiť, že tí, na ktorých dolieha tento pocit, majú pravdu. Vďaka racionálnej analýze a dôkladnému pozorovaniu – náročnému procesu testovania a hromadenia vedeckých dôkazov, nie prijímania príbehov a vysvetlení v slepej viere – dnes môžeme s vysokým stupňom istoty tvrdiť, že o vesmíre už vieme veľa. Okrem toho môžeme sebavedome povedať, že akékoľvek zvyšné záhady netreba pripisovať nadprirodzeniu. Sú to javy, ktoré ešte musíme pochopiť a ktoré hádam jedného dňa naozaj objasníme vďaka rozumu, racionálnemu bádaniu a, áno, aj vďaka fyzike.

Na rozdiel od toho, čo tvrdia niektorí ľudia, vedecká metóda nie je iba nový spôsob nazeraania na svet ani ďalšia kultúrna ideológia či systém presvedčení. Predstavuje spôsob, akým sa učíme o prírode. Robíme to metódou pokusu a omylu, experimentujeme a pozorujeme, sme pripravení na to, že predstavy, ktoré sa ukážu nesprávne či neúplné, nahradíme lepšími. Vidíme vzory v prírode a vnímame krásy v matematických rovniciach, ktoré ich opisujú. Ustavične prehľbujeme svoje pochopenie a približujeme sa k pravde o tom, aký svet naozaj je.

Nemožno poprieť, že vedci mávajú rovnaké sny a predsudky ako iní ľudia a zastávajú názory, ktoré nie sú vždy objektívne. To, čo jedna skupina vedcov nazýva konsenzus, ostatní vnímajú ako dogmu. To, čo jedna generácia považuje za potvrdený fakt, nasledujúca odhalí ako naivné nepochopenie. Rovnako ako v náboženstve, politike či v športe aj vo vede vždy zúrili hádky. Často hrozí, že kým vedecký problém zostáva nevyriešený alebo aspoň otvorený odôvodneným pochybnostiam, z postojov, ktoré zaujíma každá strana sporu, sa môžu stať hlboko zakorenené ideológie. Každý názor môže byť jemne odlišný a zložitý a jeho zástancovia môžu byť neochvejní, ako by boli pri akejkoľvek inej ideologickej diskusii. Tak ako pri postojoch spoločnosti k náboženstvu, politike, ku kultúre, k rasám či k rodu, aj v súvislosti s vedou niekedy potrebujeme príchod novej generácie, aby zo seba striasla okovy minulosti a posunula debatu dopredu.

Veda sa od iných disciplín líši jedným významným rozdielom. Jediné dôkladné pozorovanie či výsledok pokusu môžu spôsobiť, že všeobecne rozšírený vedecký názor alebo dlhodobá teória zastará a nahradí ju nový svetonázor. To znamená, že

teóriám a vysvetleniam prírodných javov, ktoré obstáli v skúške časom, dôverujeme najviac. Práve v súvislosti s nimi cítime najväčšie sebavedomie. Zem obieha okolo Slnka, nie naopak, vesmír sa rozpína, nie je statický, rýchlosť svetla vo vákuu je rovnaká bez ohľadu na to, ako rýchlo sa pohybuje merač, a tak ďalej. Keď ktosi urobí nový a dôležitý vedecký objav, ktorý zmení spôsob, akým nazeráme na svet, nie všetci vedci sa s ním okamžite stotožnia. To je však ich problém. Vedecký pokrok je nezadržateľný, čo je, mimochodom, vždy dobré, lebo poznanie a vzdelanie sú zakaždým lepšie ako nevedomosť. Na začiatku nevieme nič, no pátrame po poznatkoch. Hoci sa počas tohto procesu sporíme, to, čo zistíme, nemôžeme ignorovať. Ak je reč o vedeckom chápaní podstaty sveta, predstava, že neznalosť je požehnanie, je nezmysel. Ako raz povedal autor sci-fi románov Douglas Adams (1952 – 2001): „Kedykoľvek by som úžas z nevedomosti vymenil radšej za úžas z pochopenia.“¹

¹Adams, Douglas N.: *The Salmon of Doubt: Hitchhiking the Galaxy One Last Time* (vyšlo v češtine *Ještě jednou a naposledy stopem po galaxii aneb Losos pochybnosti*, pozn. prekl.), New York: Harmony, 2002. s. 99.

ČO NEVIEME

Pravda je aj to, že ustavične zisťujeme, o koľko viac je toho, čo ešte nevieme. Čoraz väčšie pochopenie vedie k čoraz naliehavšiemu uvedomeniu našej nevzdelanosti. Ako ešte vysvetlím, v istých smeroch to zodpovedá situácii, v ktorej sa dnes ocitá fyzika. Práve prežívame historický okamih, v ktorom mnohí fyzici vidia ak nie krízu v odbore, tak aspoň „hromadenie pary“. Zdá sa, že čosi musí povoliť. Pred niekoľkými desaťročiami si význační fyzici ako Stephen William Hawking (1942 – 2018) položili otázku: Je v dohľade koniec teoretickej fyziky?² Lebo za rohom sa potenciálne skrývala teória všetkého. Tvrdili, že stačí doladiť detaily. Žiaľ, mýlili sa, navyše nie po prvý raz. Fyzici vyjadrili podobné pocity aj koncom 19. storočia. Potom nastala explózia nových objavov (elektrónu, rádioaktivity, röntgenového žiarenia), ktoré fyzika známa v tom čase nedokázala vysvetliť. Tak sa zrodila moderná

²Tak znel titulok článku, ktorý Hawking napísal v roku 1981. Hawking, Stephen W.: Is the end in sight for theoretical physics? In: *Physics Bulletin* 32, č. 1 (1981): 15 – 17.

fyzika. Mnohí fyzici dnes majú pocit, že možno stojíme na prahu ďalšej revolúcie v tejto vede, rovnako významnej, ako bola tá pred sto rokmi, keď sa zrodila relativita a kvantová mechanika. Nechcem tým naznačiť, že objavíme nejaký úplne nový jav ako röntgenové lúče či rádioaktivitu, no na prekonanie súčasného mŕtveho bodu asi budeme potrebovať ďalšieho Einsteina.

Veľký hadrónový urýchľovač ešte nenadviazal na svoj úspech z roku 2012, keď zachytil Higgsov bozón a potvrdil tak existenciu Higgsovho poľa (ktorému sa budem venovať neskôr). Fyzici dúfali, že dnes už budeme poznať ďalšie nové častice, ktoré by pomohli vyriešiť dlhodobé záhady. Okrem toho stále nechápeme podstatu tmavej hmoty, ktorá drží galaxie pokope, ani tmavej energie, ktorá trhá vesmír. Nepoznáme odpovede ani na základné otázky, napríklad prečo je vo vesmíre viac hmoty ako antihmoty, prečo sú vlastnosti kozmu vyladené tak jemne, že môžu existovať hviezdy, planéty a život, alebo či sa pred veľkým treskom udialo niečo, čo viedlo k vzniku vesmíru, ktorý vidíme. Stále jestvuje toľko vecí, ktoré nedokážeme vysvetliť, a predsa je nemožné

nežasnúť nad doterajším úspechom. Hoci sa možno ukáže, že niektoré vedecké teórie spolu súvisia na hlbšej úrovni, než ako sme sa domnievali, a iné sa odhalia ako úplne nesprávne, nik nemôže poprieť, ako ďaleko sme sa už dostali.

Niekedy si vo svetle nových empirických dôkazov uvedomíme, že sme boli na zlej adrese. Inokedy jednoducho skvalitníme predstavu, ktorá síce nebola nesprávna, ale znamenala len hrubú aproximáciu. Potom ju zdokonaľujeme, aby sme získali lepší obraz reality. S niektorými oblasťami fundamentálnej fyziky, čiže fyziky fundamentálnych (základných) interakcií, nie sme celkom spokojní a v hĺbke duše tušíme, že to ešte nie je všetko, ale nateraz sa na ne naďalej spoliehame, lebo sú užitočné. Vhodným príkladom je Newtonov gravitačný zákon. Stále ho honosne nazývame zákon, pretože vedci si kedysi boli takí istí tým, že predstavuje posledné slovo v súvislosti s touto témou, že jeho status povýšili nad postavenie obyčajnej teórie. Pomenovanie sa ujalo napriek tomu, že podľa súčasných vedomostí sebavedomie nebolo namieste. Newtonov zákon nahradila Einsteinova všeobecná teória relativity

(všimnite si, že sa nazýva teória), lebo poskytuje hlbšie a presnejšie vysvetlenie gravitácie. Pri výpočte letových trajektórií vesmírnych misií však naďalej používame Newtonove rovnice. Predpovede newtonovskej mechaniky síce nie sú také presné ako predikcie Einsteinovej relativity, no aj tak dodnes postačujú takmer na všetky ciele.

Ďalším príkladom, na ktorom stále pracujeme, je štandardný model elementárnych častíc. Je to zlúčenie dvoch samostatných matematických teórií nazývaných teória elektroslabých interakcií a kvantová chromodynamika, ktoré spolu opisujú vlastnosti všetkých známych elementárnych častíc a síl pôsobiacich medzi nimi. Niektorí fyzici považujú štandardný model za dočasné riešenie, ktoré nám poslúži do objavenia presnejšej a zjednotenej teórie. Pozoruhodné je, že štandardný model nám vo svojej súčasnej podobe prezrádza všetko, čo potrebujeme vedieť o podstate hmoty: ako a prečo sa elektróny usporadúvajú okolo atómových jadier, ako na seba atómy pôsobia, pričom vznikajú molekuly, ako tieto molekuly do seba zapadajú tak, aby vytvárali všetko okolo nás, ako hmota interaguje so svetlom

(a teda ako možno vysvetliť takmer všetky javy). Jeden aspekt štandardného modelu, kvantová elektrodynamika, na najhlbšej úrovni tvorí základ celej chémie.

Štandardný model nemôže predstavovať konečnú podobu o podstate hmoty, lebo nezahŕňa gravitáciu a nevysvetľuje tmavú hmotu a tmavú energiu, ktoré spolu tvoria väčšinu vesmíru. Odpovede na niektoré otázky prirodzene vedú k ďalším otázkam a vedci pokračujú v pátraní po fyzike za hranicou štandardného modelu v úsilí vyriešiť tieto pretrvávajúce kľúčové problémy.

AKO NAPREDUJEME

Fyzika dosahuje pokrok viac ako ktorákoľvek iná vedná disciplína vďaka ustavičnej interakcii teórie a pokusu. Teórie prežívajú skúšku časom iba dovedy, kým ich predpovede možno overovať experimentmi. Dobrá teória prichádza s novými predpoveďami, ktoré sa dajú testovať v laboratóriu, no ak sú s ňou experimentálne výsledky v konflikte, treba ju upraviť, prípadne celkom zavrhnúť. Naopak, laboratórne pokusy môžu