

The background of the book cover is a dark purple color, overlaid with a complex pattern of overlapping, concentric circles and arcs. These lines are rendered in three colors: yellow, light green, and light purple. The lines are not solid but appear as segments, creating a sense of movement and depth, reminiscent of a particle detector or a quantum field visualization.

CARLO  
ROVELLI

HELGOLAND

PREKVAPUJÚCO  
OBJAVNÝ POHĽAD  
NA KVANTOVÚ TEÓRIU

TATRAN



# HELGOLAND



# HELGOLAND

AKO KVANTOVÁ FYZIKA  
MENÍ NÁŠ SVET

CARLO  
ROVELLI

TATRAN

Z talianskeho originálu Carlo Rovelli: HELGOLAND,  
ktorý vyšiel vo vydavateľstve ADELPHI EDIZIONI, Miláno 2020,  
preložil Martin Kolenič.

Vyšlo vo Vydavateľstve TATRAN, Bratislava 2022  
ako 5345. publikácia.

Vydanie I.

Prebal a väzbu navrhol Peter Zentko  
Zodpovedná redaktorka Zuzana Šulajová  
Jazykové redaktorky Zlata Sršňová, Marta Bábiková  
Technický redaktor Peter Zentko  
Sadzba Sadzba AldoDesign, Bratislava  
Vytlačil FINIDR, s.r.o., Český Těšín.

Questo libro è stato tradotto grazie ad un contributo alla traduzione  
assegnato dal Ministero degli Affari Esteri e della  
Cooperazione Internazionale italiano.

Preklad tejto knihy vyšiel vďaka podpore talianskeho Ministerstva  
zahraničných vecí a medzinárodnej spolupráce.

[www.slovtatran.sk](http://www.slovtatran.sk)

:: knihy pre **hodnotnejší** život

All rights reserved.

Copyright © 2020 ADELPHI EDIZIONI S.P.A MILANO  
Translation © Martin Kolenič 2022  
Slovak edition © Vydavateľstvo TATRAN 2022

ISBN 978-80-222-1342-4

*Venujem Tedovi Newmanovi, ktorý mi pomohol  
pochopiť, že som nerozumel kvantovej teórii.*





# OBSAH

Vrhnúť pohľad do priepasti	11
----------------------------	----

## PRVÁ ČASŤ

---

### I.

1. Absurdná myšlienka mladučkého Wenera Heisenberga: „pozorovateľné“	19
2. Zavádzajúce $\Psi$ Erwina Schrödingera: „pravdepodobnosť“	32
3. Granularita sveta: „kvantové javy“	40

## DRUHÁ ČASŤ

---

### II.

1. Superpozície	51
2. Berieme $\Psi$ vážne: viacero svetov, skryté premenné a fyzické kolapsy	62
3. Akceptovať neurčitost'	70

III.		
	1. Boli časy, keď sa svet zdal byť jednoduchý	75
	2. Vzťahy	77
	3. Vzácny a delikátny kvantový svet	83

IV.		
	1. Previazanosť	90
	2. Tanec v trojici, ktorý spája vzťahy celého sveta	97
	3. Informácie	100

## TRETIA ČASŤ

---

V.		
	1. Alexandr Bogdanov a Vladimir Lenin	113
	2. Naturalizmus bez podstaty	126
	3. Bez podstaty? Nágárdžuna	131

VI.		
	1. Jednoduchá hmota?	144
	2. Čo znamená „význam“?	149
	3. Svet pri pohľade zvnútra	160

VII.		
	Ale je to naozaj možné?	170

	Poďakovanie	179
	Poznámky	180
	Použité obrázky a fotografie	192

## Vrhnúť pohľad do priepasti

Časlav a ja sedíme na piesku len pár krokov od mora. Celé hodiny sme sa rozprávali. Na ostrov Lamma len na skok od Hongkongu sme prišli počas poludňajšej prestávky našej konferencie. Časlav patrí medzi svetoznámych odborníkov v oblasti kvantovej mechaniky. Na konferencii predstavil analýzu komplexného ideálneho experimentu. Bavili sme sa o tom cestou popri džungli na pláž a pokračovali sme aj tu, pri mori. Došli sme takmer k úplnému vzájomnému porozumeniu. Na pláži sme obaja na dlhý čas stíchli. Sledujeme more. „Je to naozaj neuveriteľné...“ šepká Časlav. „Dá sa tomu vôbec uveriť? Akoby skutočnosť vlastne... neexistovala...“

Do tohto bodu nás priviedla kvantová mechanika. Dvadsiate storočie nám dalo neuveriteľné výsledky, súčasné moderné technológie a základ fyziky ako takej, no napriek tomu nás táto doposiaľ najúspešnejšia vedecká

teória pri bližšom pohľade stále naplňa úžasom, zmätkom, nedôverou.

Zažili sme moment, v ktorom gramatika sveta vyzerala jasne: zdalo sa, že podstatou všetkých možných foriem skutočnosti sú iba čiastočky hmoty vedené niekoľkými silami. Ľudstvo sa na chvíľu mohlo nazdávať, že sa mu podarilo sňať z očí závoj máj a zahliadnuť hĺbku skutočnosti. Netrvalo to však dlho: mnohé výpočty nevychádzali – a to až kým sa v lete roku 1925 istý dvadsaťtri-ročný mladík z Nemecka neodobral na pár dní na jeden veterný ostrov v Severnom mori: na Helgoland, posvätný ostrov. Tam, v tichu a samote, mu napadlo, ako vysvetliť všetky nezrovnalosti a ako vybudovať matematickú štruktúru kvantovej mechaniky, známu aj ako „kvantová teória“. Tu sa odohrala azda najväčšia vedecká revolúcia všetkých čias. Tým mladíkom bol Werner Karl Heisenberg. Rozprávanie tejto knihy sa začína pri ňom.

Kvantová teória objasnila základy chémie, fungovanie atómov, pevných látok, plazmy, farbu oblohy, fungovanie neurónov v našom mozgu, dynamiku hviezd, pôvod galaxií a iných tisícov aspektov sveta. Je základom najnovších technológií: od počítačov až po jadrové elektrárne. Inžinieri, astrofyzici, kozmológovia, chemici a biológovia ju používajú každý deň. Podstata tejto teórie sa dostala aj do stredoškolských učebných osnov. Nikdy sa nemýlila. Je bijúcim srdcom dnešnej vedy, a napriek tomu zostáva hlboko tajomná a nenápadne znepokojivá.

Zničila obraz reality zloženej z častíc, ktoré sa pohy-

## HELGOLAND

bujú po definovaných trajektóriách, no neobjasnila spôsob, ako by sme mali nazerať na svet. Jej matematika nepopisuje realitu, nehovorí nám, „čo tam je“. Zdá sa, že vzdialené objekty majú istý druh magického prepojenia. Hmotu nahradili prízračné vlny pravdepodobnosti.

Každý, kto sa pokúsi zamyslieť, čo nám kvantová teória hovorí o skutočnom svete, je zmätený. Einstein ju nikdy nedokázal prežrieť, hoci jej črty predvídal a naviedol na ňu Heisenberga; Richard Feynman, veľký teoretický fyzik druhej polovice dvadsiateho storočia, napísal, že kvantovej mechanike nerozumie nikto.

Práve toto je však veda: skúmanie nových spôsobov myslenia o svete. Je našou vlastnosťou neustále spochybňovať vlastné predstavy. Silou vizionárstva je rebelantské a kritické myslenie, ktoré je schopné meniť svoje vlastné koncepcné základy a prevrátiť svet hore nohami.

Ak nás aj nejaká teória mátie svojou čudesnosťou, otvára pritom nové perspektívy pre pochopenie reality, reality, ktorá je delikátnejšia než zjednodušujúci materializmus častic vo vesmíre, reality, ktorá pozostáva skôr zo vzťahov ako z objektov.

Táto teória nám ukazuje nový spôsob, ako pristupovať k veľkým otázkam sveta – od štruktúry reality k povahe našej skúsenosti, od metafyziky možno až k samotnej podstate vedomia. To všetko je teraz predmetom živej diskusie medzi vedcami a filozofmi a o tom všetkom hovorím na nasledujúcich stranách.

Na ostrove Helgoland, na holom a extrémnom mieste

bičovanom severným vetrom, sňal Werner Heisenberg závoj, ktorý nás delil od pravdy. Za závojom sa však črtá priepasť.

Príbeh tejto knihy začína na ostrove, kde v Heisenbergovi začala klíčiť jeho myšlienka, a postupne sa vďaka objavu kvantovej štruktúry reality presúva k čoraz širšie chápaným otázkam.

*ħħ*

Tieto stránky som napísal v prvom rade pre tých, ktorí nepoznajú kvantovú fyziku a chceli by pochopiť – aspoň do istej miery –, čo to vlastne je a aké má dôsledky. Snažil som sa byť čo najstručnejší a nebazírovať na detailoch, ktoré nie sú vyslovene nevyhnutné na pochopenie podstaty. Snažil som sa tiež čo najjasnejšie vyjadriť teóriu tvoriacu stredobod vedeckej temnoty. Možno namiesto toho, aby som vysvetľoval, ako chápať kvantovú mechaniku, iba vysvetľujem, prečo je také ťažké porozumieť jej.

Táto kniha je však určená aj kolegom vedcom a filozofom, ktorých hlbšie štúdium teórie len viac máte a nie sú schopní pokračovať v dialógu o význame úžasnej fyziky ani dospieť k všeobecnejšej perspektíve. Súčasťou knihy sú však aj početné poznámky pre tých, ktorí už kvantovú mechaniku poznajú. V nich dôkladnejšie vyjadrujem to, čo v texte podávam zrozumiteľnejšou formou.

Hlavným cieľom môjho výskumu v oblasti teoretickej fyziky bolo pochopiť kvantovú povahu priestoru a času

## HELGOLAND

a dať ju do súvisu s Einsteinovými objavmi. Zistil som, že o kvantovej teórii neustále premýšľam, a táto kniha ukazuje, kam až som sa dopracoval. Neignoruje odlišné názory, je však jednoznačne zaujatá: zameriavam sa na perspektívu, ktorú považujem za efektívnu, a verím, že aj najzaujímavejšiu: „vzťahovú“ interpretáciu teórie.

Kým začneme, ešte jedno varovanie. Priepasť toho, čo nepoznáme, je vždy závratne veľká a príťažlivá. Keď však kvantovú mechaniku berieme vážne a zamýšľame sa nad jej dôsledkami, môžeme zakúsiť takmer psychedelický zážitok: žiada sa od nás, aby sme sa nejakým spôsobom vzdali niečoho, čo sa v našom chápaní sveta zdalo pevné a nenapadnuteľné. Žiada sa od nás, aby sme prijali, že realita je úplne iná, než sme si predstavovali, a aby sme do tejto priepasti vrhli pohľad bez obáv z toho, že sa utopíme v nepochopiteľnosti.

Lisabon, Marseille, Verona, London (Ontário)

2019 – 2020





# PRVÁ ČASŤ



# I.

## „POHĽAD DOVNÚTRA ČUDESNEJ KRÁSY“

Kapitola o tom, ako mladý nemecký fyzik došiel k prazvláštnej myšlienke, ktorá však výstižne vykreslila svet, a o veľkom zmätku, aký vyvolala.

### *1. Absurdná myšlienka mladučkého Wenera Heisenberga: „pozorovateľné“*

„Boli asi tri hodiny nadržanom, keď sa predom mnou objavil výsledok mojich výpočtov. Otriasol mnou. Rozrušil ma až tak, že som nevedel zaspať. Vyšiel som preto z domu a pomaly sa prechádzal v temnote. Vyliezol som na skalú s výhľadom na more, na mys ostrova, a čakal som na východ slnka...“<sup>41</sup>

Vždy ma zaujímalo, aké myšlienky a emócie asi vírili v hlave mladého Heisenberga, keď vyliezol na tú skalú s výhľadom na more, na obnaženom veternom ostrove Helgoland v Severnom mori očakával východ slnka a pozoroval vlny po tom, čo sa po prvý raz stretol s jedným z najzáhadnejších tajomstiev prírody, aké kedy ľudstvo zažilo. Heisenberg mal dvadsaťtri rokov.