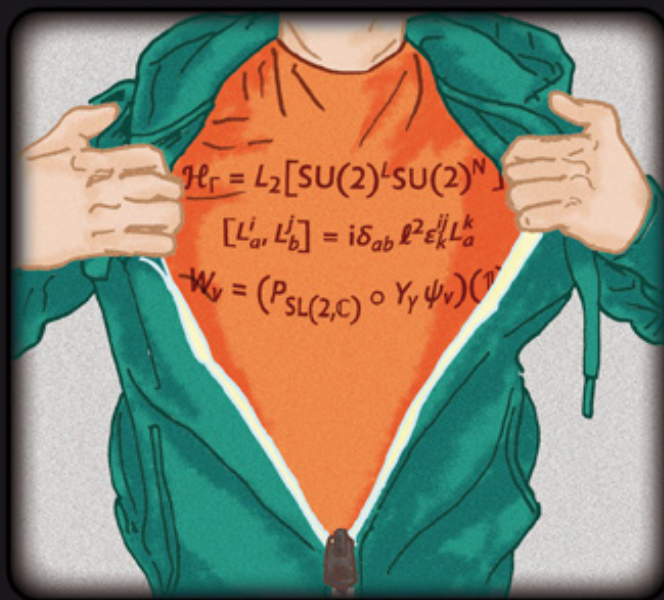


Carlo **Rovelli**

Realita není, čím se zdá

Cesta ke kvantové gravitaci



edice aliter – svazek 67

Carlo **Rovelli**

Realita není, čím se zdá

Cesta ke kvantové gravitaci

Přeložil Jiří Podolský

Nakladatelství Dokořán a Argo
Praha 2018

Carlo Rovelli

Realita není, čím se zdá

Cesta ke kvantové gravitaci

Copyright © 2014, Raffaello Cortina Editore

Translation © Jiří Podolský, 2018

Picture credits: Obr. 7.4: Se svolením Grega Egana; 8.2: Copyright

Archiv Georgese Lemaître, Lovaň; 9.4: se svolením A. Ashtekara,

I. Agulla a W. Nelsona; 10.2: © John Baez.

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 anglické předlohy *Reality Is Not What It Seems. The Journey to Quantum Gravity* přeložil Jiří Podolský.

Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Obálka, sazba a konverze do elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2018 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5, dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 987. publikaci (301. elektronická).

ISBN 978-80-7363-931-0

Obsah

Poznámka autora	7
Předmluva: Procházka po mořském břehu	11
Část I Kořeny	17
1. Zrnka	18
2. Klasikové	41
Část II Počátek revoluce	61
3. Albert	61
4. Kvantá	100
Část III Kvantový prostor a relační čas	131
5. Prostorčas je kvantován	132
6. Kvantá prostoru	144
7. Čas neexistuje	156
Část IV Za prostorem a časem	177
8. Za velkým třeskem	177
9. Empirická potvrzení?	184
10. Kvantové černé díry	196
11. Konec nekonečna	202
12. Informace	209
13. Mysterium	227
Komentovaná literatura	235
Poznámky	239
Redakční poznámka	245
Rejstřík	247

Během celé mé profesní kariéry mě přátelé a další zvědaví lidé žádali, abych jim popsal, co se právě odehrává ve výzkumu kvantové gravitace. Jak lze studovat nové představy o prostoru a čase? Znova a znova vyjadřovali přání, abych napsal populárně-naučnou knihu o tomto výzkumu. Zatímco knih o kosmologii nebo teorii strun je mnoho, kniha popisující studium kvantové podstaty prostoru a času, zejména smyčkovou kvantovou gravitaci, ještě neexistuje. Dlouho jsem váhal, neboť jsem se chtěl plně soustředit na vědecké bádání. Ale před pár lety, když jsem dokončil svou odbornou knihu věnovanou tomuto tématu, jsem získal pocit, že společné úsilí mnoha vědců posunulo téma do fáze, kdy už je dostatečně zralé na popularizační knihu. Krajina, kterou zkoumáme, je okouzlující. Proč ji tedy nadále tajit před ostatními?

Projekt jsem však i nadále odkládal, protože jsem knihu ještě nedokázal „spatřit“ ve svém nitru. Jak vysvětlit svět bez prostoru a času? Až jedné noci roku 2012, během dlouhé osamělé jízdy z Itálie do Francie, jsem si uvědomil, že jediný možný způsob, jak srozumitelným způsobem vysvětlit právě probíhající změnu v pohledu na podstatu prostoru a času, je vyprávět příběh od samého počátku: začít Demokritem a od něj projít celou cestu až ke kvantům prostoru. Koneckonců, tak tomuto příběhu sám rozumím. Během jízdy jsem začal celou knihu

v duchu rozmýšlet a vzrušovalo mě to čím dál víc, až jsem v zádech uslyšel sirénu policejního vozu, jež mě vrátila do reality: jel jsem mnohem rychleji, než bylo povoleno. Italský policista se mě zdvořile zeptal, jestli jsem se náhodou nezbláznil, když jsem se řítil takovou rychlostí. Vysvětlil jsem mu, že jsem zrovna zachytil myšlenku, která mi tak dlouho unikala. Policista mě propustil bez pokuty a popřál mi s knihou hodně štěstí. Nyní ji tedy držíte v ruce.

Knihla poprvé vyšla v italštině počátkem roku 2014. Krátce nato jsem napsal několik článků o základní fyzice pro italské noviny. Prestižní italské nakladatelství Adelphi mě požádalo, abych rozšířenou verzi těchto eseů přepsal do podoby útlé knížky. Tak vznikla knihla *Sedm krátkých přednášek z fyziky*, jež se k mému nesmírnému překvapení stala mezinárodním bestselerem a otevřela báječný komunikační kanál mezi mnou a tolika skvělými čtenáři po celém světě. *Sedm přednášek* tedy bylo napsáno až po této knize a do určité míry jsou syntézou některých témat, která najdete zde. Pokud jste *Sedm krátkých přednášek z fyziky* četli a toužíte poznat víc, chcete se vydat se hlouběji do podivného světa, jež knížka načrtla, právě tady to můžete najít.

I když shrnutí dnešní fyziky zde podávám ze zvláštní perspektivy, jak se mi osobně jeví, obsahuje převážně nekontroverzní a všeobecně přijímaná fakta. Naproti tomu část, která popisuje soudobý výzkum v kvantové gravitaci, je mým vlastním a ryze osobním pohledem na stav věcí, jež jsou v neustálém vývoji. Je to oblast na samé hranici poznání, mezi tím, co už víme, a tím, čemu ještě nerozumíme. Názorové shody zde ještě nebylo dosaženo. Někteří z mých kolegů fyziků budou s tím, co zde píšu, souhlasit. Jiní nikoli. Tohle zjevně platí pro každý popis dosud probíhajícího výzkumu na hranicích našeho

poznání, ale rád bych ho tu sdělil jasně a zcela otevřeně. Toto není kniha o jistotách: je to kniha o dobrodružství našeho pátrání po neznámu.

Jako celek je to cestovní průvodce, který popisuje jednu z nejúžasnějších cest, jaké kdy lidstvo podniklo: cestu ven z našeho omezeného a provinciálního pohledu na realitu směrem ke stále širšímu chápání struktury existujících věcí. Magickou cestu vedoucí od našeho všednodenního pohledu na věci, zdaleka ještě nedokončenou.

Marseille, 4. května 2016

Procházka po mořském břehu

Jsme posedlí sami sebou. Studujeme svou vlastní historii, svou psychologii, svou filozofii, své bohy. Valná část našich znalostí se točí jen kolem lidí, jako bychom byli tou nejdůležitější věcí ve vesmíru. Myslím, že fyziku miluji právě proto, že nám otevírá okno, kterým můžeme vidět dál. Mám díky tomu pocit čerstvého vzduchu vanoucího dovnitř našeho vlastního domu.

To, co za oním oknem spatřujeme, nás neustále překvapuje. O vesmíru jsme se toho už dozvěděli spoustu. Během staletí jsme si postupně uvědomovali, jak mnoho chybných představ jsme o něm kdysi měli. Mysleli jsme si, že Země je plochá a že nehybně spočívá ve středu světa. Že vesmír je malý a neměnný. Věřili jsme, že člověk je unikátní tvor bez příbuzenských vztahů s ostatními živočichy. Dozvěděli jsme se o existenci kvarků, černých děr, částic světla, o vlnách prostoru a výjimečných molekulárních strukturách uvnitř každičké buňky našich těl. Lidská rasa je jako dítě, které dospívá a s úžasem zjišťuje, že svět netvoří jen jeho pokojíček a hřiště, ale že je rozsáhlý a jsou v něm tisíce věcí, jež čekají na objevení, a nespočet myšlenek, které se hodně liší od těch, které mělo dítě na počátku. Vesmír je mnohočetný a bezbřehý a my stále narážíme na jeho dosud neznámé aspekty. Čím více se o světě dovídáme, tím více žasneme nad jeho různorodostí, krásou a jednoduchostí.

Ale čím více toho odhalujeme, tím více si uvědomujeme, že toho, co ještě nevíme, je daleko víc nežli toho, co už známe. Čím mohutnější jsou naše teleskopy, tím podivnější a neočekávanější jsou nebesa, na která hledíme. Čím podrobněji se zahledíme do nepatrného kousku hmoty, tím více základních struktur v něm odhalíme. Dnes vidíme skoro až k velkému třesku, mohutné explozi, z níž se před 14 miliardami let zrodily všechny galaxie – ale začali jsme už spatřovat i náznaky čehosi před velkým třeskem. Poznali jsme, že prostor je zakřivený, ale už teď předvídáme, že tentýž prostor je utkán z vibrujících kvantových zrněk.

Naše znalosti elementární gramatiky světa stále rostou. Pokusíme-li se dát dohromady, co jsme se o fyzikálním světě dozvěděli v průběhu 20. století, dostaneme obraz, jenž vypadá hodně odlišně od toho, o jakém nás učili na základní škole. Fundamentální struktura světa se vynořuje z roje kvantových událostí, v němž neexistuje čas ani prostor. Kvantová pole utvářejí prostor, čas, hmotu a světlo, předávají informace od jedné události ke druhé. Realita je sítí spletenou ze zrnitých událostí; dynamika, jež je propojuje, má pravděpodobnostní charakter; mezi různými událostmi se prostor, čas, hmota i energie rozpuštějí do pouhého oblaku pravděpodobností.

Tento podivný nový svět se nám dnes postupně vynořuje před očima zásluhou studia kvantové gravitace, hlavní otevřené otázky, jež stojí před fundamentální fyzikou. Problém spočívá v tom, jak koherentně spojit dohromady poznatky dvou velkých objevů 20. století: obecné relativity a kvantové teorie. Tato kniha je věnována kvantové gravitaci a prazvláštnímu světu, který před námi její výzkum postupně odhaluje.

Kniha je přímým přenosem z probíhajícího bádání: co se právě učíme, co už víme, a o čem si myslíme, že

začínáme chápat z elementární podstaty věcí. Počíná u dávného zrodu některých klíčových myšlenek, které dodnes používáme, abychom uspořádali naše chápání světa. Pak popisuje dva nejvýznamnější objevy 20. století – Einsteinovu obecnou relativitu a kvantovou mechaniku. Mou snahou je soustředit se zde na jádro jejich fyzikálního obsahu. Poté načrtneme obraz světa, jak se před námi vynořuje ze studia kvantové gravitace, přičemž vezmeme v potaz i nejnovější nápovědy, jež nám příroda nabízí, například potvrzení standardního kosmologického modelu satelitem Planck a dosavadní marnou snahou pozorovat v CERNu supersymetrické částice, v jejichž existenci mnozí tolik doufali. Prodiskutuje i důsledky těchto představ: zrnitou strukturu prostoru, vymizení času na malých škálách, fyziku velkého třesku, původ tepla černých děr. Dostaneme se také k roli informace ve fundamentální fyzice.

Ve slavném mýtu, který se váže k Platónově sedmé knize *Ústavy*, jsou někteří lidé upoutáni řetězy v temné jeskyni a vidí pouhé stíny, jež na stěnu vrhá oheň planoucí za nimi. Domnívají se, že tyto stíny jsou realita. Jeden z nich se osvobodí, opustí jeskyni a objeví sluneční světlo a rozlehlý svět. Zpočátku ho oslňující světlo, na něž nebyl zvyklý, omračuje a mate. Ale nakonec prohlédne a vrátí se zpět ke svým přátelům, aby jim pln vzrušení vyprávěl, co spatřil. Těžko mu mohou uvěřit.

My všichni se nacházíme v hlubinách jeskyně, spoutáni řetězy vlastní nevědomosti, našimi předsudky. Chabé smysly nám odhalují pouhé stíny. Pokusíme-li se pohlédnout dále, jsme zmateni: na takový svět nejsme zvyklí. Ale snažíme se. Tomuto úsilí říkáme věda. Vědecké myšlení zkoumá a překresluje náš svět, postupně nám dává jeho lepší a lepší obraz, učí nás přemýšlet čím dál efektivnějším způsobem. Věda je neustálé zkoumání různých způsobů

myšlení. Její síla spočívá ve vizionářské schopnosti překonávat předsudečné představy, odhalovat nové aspekty reality a vytvářet nové a efektivnější obrazy světa. Toto dobrodružství zahrnuje veškeré naše dosavadní poznání, ale v jeho srdci tkví neustálá změna. Svět je bez hranic a hraje všemi barvami; chceme se do něj vydat a spatřit ho. Jsme pohrouženi do jeho mysteria a do jeho krásy, a za obzorem se nachází další dosud neprozkoumané teritorium. Z neúplnosti a nespolehlivosti našeho poznání, z nejistoty, balancující nad hlubokou propastí našich neznalostí, ale neplyne, že by náš život postrádal smysl. Činí ho naopak zajímavým a cenným.

Tuto knihu jsem napsal, abych shrnul, v čem podle mne spočívá krása tohoto dobrodružství poznání. Při psaní jsem měl na mysli konkrétního čtenáře: někoho, kdo o dnešní fyzice ví málo anebo vůbec nic, ale touží se dozvědět, co o elementární osnově světa víme, i to, čemu zatím nerozumíme a kterým směrem pátráme. A také jsem ji napsal, abych se pokusil sdělit dechberoucí krásu onoho panoramatu reality, které lze spatřit z této perspektivy.

Napsal jsem ji také pro své kolegy, spřátelené souputníky rozesté po celém světě, a rovněž pro mladé ženy a muže obdařené vášní k vědě, dychtící vydat se poprvé na onu cestu spolu s námi. Pokusil jsem se zde načrtnout obecný pohled na strukturu světa, ozářenou dvojitým světlem relativity a kvantové fyziky, i poukázat na možnosti, jak je navzájem skloubit. A není to jenom kniha prozrazující naše tajemství; formuluje též příslušný pohled na svět z hlediska výzkumu, kde abstraktní odborná terminologie může zakrývat podstatu věcí nahlíženou ze širší perspektivy. Věda se skládá z experimentů, hypotéz, rovnic, výpočtů a dlouhých diskusí. To však jsou pouhé prostředky, podobající se hudebním nástrojům. V hudbě

přece nakonec jde o hudbu samu o sobě, a ve vědě nakonec jde o pochopení světa, jež nám věda poskytuje. Abychom pochopili význam objevu, že Země obíhá kolem Slunce, nemusíme se prodírat Koperníkovými složitými výpočty. Abychom pochopili význam objevu, že všechny živé bytosti na naší planetě mají stejné předky, nemusíme se prodírat složitými argumenty Darwinových knih. Věda je četba světa z postupně se rozšiřujícího úhlu ohledu.

Tato kniha je zprávou o současném stavu našeho vědeckého pátrání po novém obrazu světa, jak ho v tuto chvíli osobně chápu. Je odpovědí, kterou bych dal kolegovi či příteli, kdyby se mě při procházce po mořském břehu za dlouhého letního podvečera zeptal: „Takže, jaká je podle tebe skutečná povaha věcí?“

Naše kniha začíná v Milétu, před šestadvaceti staletími. Proč začít knihu o kvantové gravitaci tak dávnými událostmi, lidmi a myšlenkami? Doufám, že čtenář dychtící po kvantech prostoru mi to odpustí. Je totiž snazší porozumět myšlence, jestliže se vrátíme ke kořenům, z nichž vyrostla, a k důležitým idejím, jež se zrodily před více než dvěma tisíci šesti sty lety a které se ukázaly být velmi účinné pro pochopení světa. Jestliže se krátce vrátíme k jejich zrodu, spatříme vše jasněji a následné kroky pro nás budou snazší a přirozené.

A pak je tu ještě něco. Určité problémy, jež byly zformulovány už v antické době, zůstávají i nadále zásadní pro naše dnešní chápání světa. Některé z nejnovějších představ o struktuře prostoru používají pojmy a přístupy, jež byly zavedeny již tenkrát. Výkladem těchto dávných myšlenek položím na stůl otázky, které budou pro kvantovou gravitaci zásadní. To nám umožní, abychom při studiu kvantové gravitace dokázali rozlišit mezi představami, jež sahají až k samým kořenům vědeckého myšlení, přestože nám nepříjdou známé, a těmi, které jsou radikálně nové. Souvislost mezi problémy, jež formulovali už antičtí myslitelé, a řešeními, která našel Einstein a kvantová gravitace, je až překvapivě hluboká, jak brzy uvidíme.

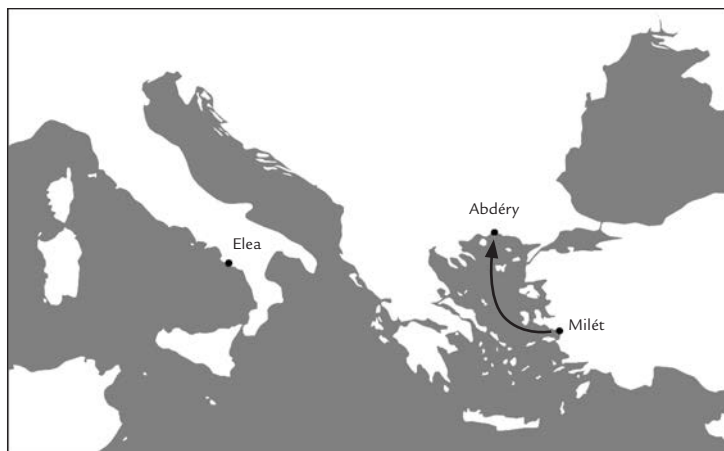
1. Zrnka

Uvádí se, že roku 450 před naším letopočtem se na loď plující z Milétu do Abdéry nalodil jistý muž. Ukázalo se, že v dějinách poznání to byla naprosto zásadní cesta.

Muž nejspíš prchal před politickým neklidem, když se aristokracie silou dostala zpět k moci. Milét byl prosperující a kvetoucí řecké město, snad hlavní město řeckého světa před zlatým věkem Athén a Sparty. Bylo to rušné obchodní centrum, dominující síti téměř stovky kolonií a obchodních stanovišť, jež se rozkládala od Černého moře po Egypt.

Do Milétu přicházely karavany z Mezopotámie a připlouvaly lodě z celého Středozemního moře. S nimi proudily také myšlenky.

Během předchozího století se v Milétu odehrála revoluce v myšlení, jež se pak ukázala být pro lidstvo zcela



Obr. 1.1: Cesta, kterou podnikl zakladatel atomistické školy Leukippos z Milétu kolem roku 450 př. n. l.

zásadní. Skupina myslitelů přeformulovala způsob, jakým mají být kladeny otázky o světě, i to, jak mají být hledány odpovědi na ně. Největší z těchto učenců byl Anaximandros.

Od nepaměti, či přinejmenším od dob, kdy po sobě lidstvo zanechalo psané texty, jež se dochovaly, si lidé kladli otázku, jak vznikl svět, z čeho je složen, jak je uspořádán a proč se odehrávají přírodní jevy. Po tisíciletí na ně dávali odpovědi, které se navzájem velmi podobají: odpovědi našli ve fascinujících příbězích odkazujících na duchy, božstva, smyšlená a mytologická stvoření a další podobné věci. Od klínopisných tabulek po dávné čínské texty. Od hieroglyfických zápisů v pyramidách po mýty Siouxů. Od nejstarších indických textů po Bibli. Od afrických příběhů po příběhy australských domorodců. Všechny vyprávějí barvitě, ale v principu dosti monotónní děj – o Opeřených hadech a Velkých kravách anebo o popudlivých, svárlivých či laskavých božstvech, jež stvořila svět svým dechem nad propastmi, vyslovením „Fiat lux“ či vynořením se z kamenného vejce.

Ale pak v Milétu na počátku pátého století před naším letopočtem Thales, jeho žák Anaximandros, Hekataios a jejich škola objevili jiný způsob hledání odpovědí. Tato bezprecedentní revoluce v myšlení stojí u počátku zcela nového způsobu poznání a chápání světa. Signalizuje úsvit vědeckého myšlení.

Miléťané pochopili, že namísto hledání odpovědí ve fantaziích, dávných mýtech či náboženství lze chytrou kombinací pozorování a racionálních úvah – především jasně prováděnou aplikací kritického myšlení – postupně vylepšovat náš pohled na svět a odhalit nové aspekty reality, které jsou našemu běžnému každodennímu vnímání skryty. Že lze objevit cosi nového.

Snad největším objevem byl při tom odlišný způsob uvažování, kdy žák již nemusel plně respektovat a sdílet názory svého učitele, ale byla mu dopřána svoboda na těchto idejích budovat svůj vlastní myšlenkový svět a bez obav zavrhnout či kritizovat ony části poznání, jež se daly vylepšit. Byla to novátorská střední cesta, vedoucí uprostřed mezi naprostou oddaností příslušné škole a úplným zavržením jejich myšlenek. To bylo klíčové pro další vývoj filozofického a vědeckého myšlení: od onoho okamžiku počaly lidské znalosti světa závratným tempem růst, využívající minulými znalostmi, ale současně osvobozené díky možnosti věci kritizovat. To umožnilo naše poznání a chápání neustále vylepšovat. Úvodní slova Hekataiovy knihy o dějinách, oslnivý *incipit* díla, jdou přímo k jádru onoho kritického myšlení, včetně vědomí vlastní omylnosti: „Napsal jsem věci, jež se mi zdají pravdivé, neboť pojednání Řeků se zdají být plná rozporů a směšných věcí.“

Podle legendy sestoupil Herakles do podsvětí Hádu z mysu Tenaron. Hekataios místo osobně navštívil a zjistil skutečný stav věcí, totiž že se tam žádný vchod do podzemí ani jiný vstup do říše zemřelých nenachází. Legendu tudíž označil za falešnou. Jeho čin předznamenal úsvit nové éry.

Tento nový přístup k poznání působil rychle a efektivně. Je impozantní, že během pár let Anaximandros pochopil, že Země pluje v nebeském prostoru a že nebe pokračuje i pod Zemí. Že dešťová voda pochází z vypařené vody pozemské. Že mnohost materiálů tvořících věci musí být vysvětlitelná pomocí jedině, jednotné a prosté substance, bezmezně pralátky, kterou nazve *apeiron*. Že zvířata a rostliny se vyvíjejí a přizpůsobují změnám prostředí a že lidé se museli vyvinout z ostatních živočichů.