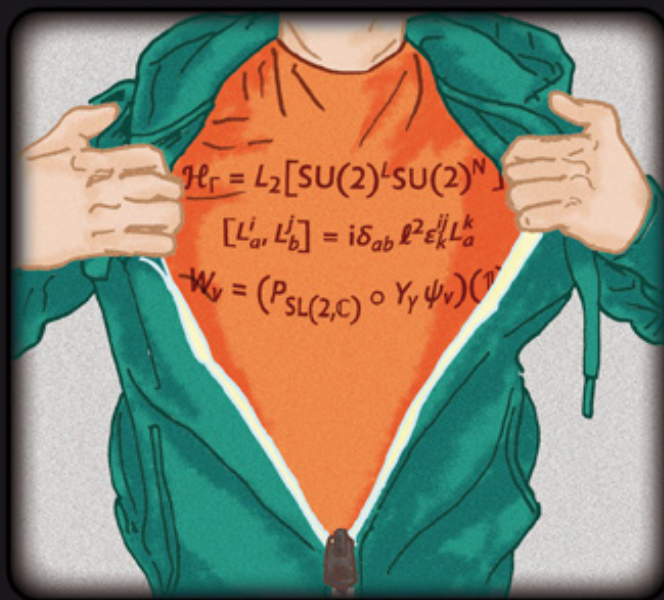


Carlo **Rovelli**

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 kniha *Sedm krátkých přednášek z fyziky*, jež se k mému nesmírnému překvapení stala mezinárodním bestsellerem 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 rozpouštějí 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.

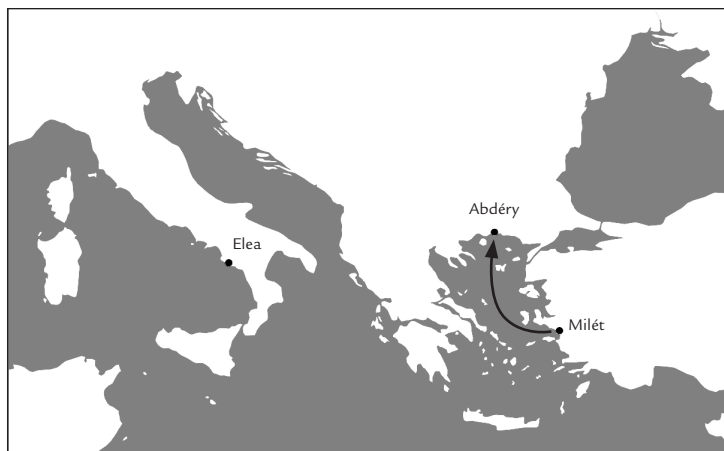
1. Zrnka

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 Hádů 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 imponující, 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, bezmezní pralátky, kterou nazve *apeiron*. Že zvířata a rostliny se vyvíjejí a přizpůsobují změnám prostředí a že lidé se museli vyvinout z ostatních živočichů.

Tímto způsobem postupně vznikala základní mluvnice umožňující pochopit svět. V podstatě ji používáme dodnes.

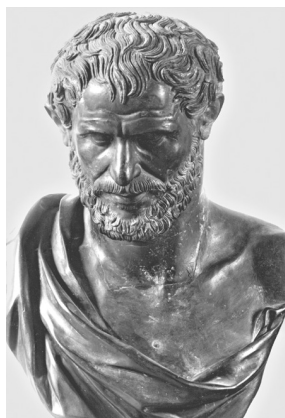
Milét ležel na spojnicí vycházející řecké civilizace a dávných říší Mezopotámie a Egypta. Byl živen jejich znalostmi, avšak obdařen i typicky řeckou svobodou a politickou otevřeností. V sociálním prostoru bez paláců panovníka a mocné kasty kněží mohli jednotliví občané diskutovat o svém osudu na otevřených agorách. Právě zde lidé poprvé v dějinách kolektivně rozhodovali o svých vlastních zákonech. Zde se scházel první parlament v historii lidstva – *Panionium*, místo setkání zástupců Iónského svazku. A zde poprvé lidé zapochybovali o tom, že jenom bohové jsou schopni porozumět záhadám světa. Vzájemnými diskusemi lze dosáhnout nejlepších rozhodnutí týkajících se společnosti. Vzájemnými diskusemi lze porozumět světu. To je ohromné a úžasné dědictví Milétu, kolébky filozofie, přírodních věd i zeměpisného a historického bádání. Bez přehánění můžeme říci, že veškerá vědecká a filozofická tradice, středomořská a pak i moderní, tkví svými kořeny ve spekulacích milétských myslitelů v šestém století před naším letopočtem.¹

Oslnivý Milét záhy poté dospěl ke svému katastrofickému konci. Rozpínavost perské říše a neúspěšné povstání proti Peršanům dovedlo město v roce 494 př. n. l. k strašlivé zkáze. Velké množství jeho občanů bylo uvrženo do otroctví. V Athénách napsal básník Frynichos tragédii *Dobytí Milétu Peršany*, jež tak hluboce pohnula city Athéňanů, že dílo už nesmělo být znova uvedeno, neboť vyvolávalo přílišné rozrušení a děs. O dvacet let později však Řekové perskou hrozbu porazili, Milét byl znovuzrozen a osídlen a opět se stal centrem obchodu a idejí. Opět vyzařoval myšlenky i ducha.

Muž, kterým jsme tuto kapitolu uvedli, musel být oním duchem prodchnut, když se dle tradice roku 450 vydal na plavbu z Milétu do Abdér. Jmenoval se Leukippos. O jeho životě toho víme jen málo.² Napsal knihu nazvanou *Velká kosmologie* neboli *Velké uspořádání světa*. Po příjezdu do Abdér založil vědeckou a filozofickou školu, k níž se záhy připojil mladý žák Demokritos. Jeho dlouhá stopa se pak bude vinout myšlením lidstva po všechny věky.

Oba myslitelé spolu vybudovali majestátní katedrálu antického atomismu. Leukippos byl učitel. Demokritos jeho velký žák, který napsal tucty děl ze všech oblastí vědění a následně byl hluboce uctíván v antice, kdy mnozí znali jeho dílo. Seneca ho nazval „nejbystřejším z dávných mudrců“.³ A Cicero se ptal: „Je snad někdo, koho bychom s ním mohli srovnat co do velikosti, nejen pro jeho génia, ale i pro jeho ducha?“⁴

Co vlastně Leukippos a Demokritos objevili? Miléťané pochopili, že světu lze porozumět pomocí rozumu. Dospěli k přesvědčení, že velkou rozmanitost přírodních jevů lze připsat něčemu jednoduchému, a pokusili se přijít na



Obr. 1.2: Demokritos z Abdér.

to, co by to mohlo být. Pojali představu, že existuje určitý druh elementární substance, z níž je vše vytvořeno. Anaximenes z milétské školy si představoval, že ona substance se může zhušťovat a zředovat, čímž by se transformovala z jednoho elementu do jiného, jež dohromady skládají svět. Byl to první zárodek fyziky, ještě hrubý a primitivní, ale byla to cesta vedoucí správným směrem. Abychom uchopili skrytý řád světa, bylo nutné přijít s velkou myšlenkou, velkolepou vizí. Leukippos a Demokritos s takovou myšlenkou přišli.

Myšlenka Demokritova systému je velmi jednoduchá: celý vesmír sestává z bezmezného prostoru, ve kterém se pohybuje bezpočet atomů. Prostor nemá žádné hranice. Není v něm ani nahoře, ani dole. Nemá střed ani hranice. Atomy nemají žádné vlastnosti vyjma specifického tvaru. Nemají žádnou váhu, žádnou barvu, žádnou chuť. „Podle zvyku sladká chuť, podle zvyku kyselá chuť, podle zvyku barva; ve skutečnosti však jen atomy a prázdno.“⁴⁵

Atomy jsou nedělitelné. Jsou to elementární zrnka reality, která už nelze dál rozdělit, a všechno je z nich poskládáno. Volně se pohybují prostorem a navzájem se srážejí. Přitahují se i odstrkují, dokážou se spolu přichytit. Podobné atomy se navzájem přitahují a spojují.

Takové je předivo světa. Taková je realita. Vše ostatní je jenom vedlejší produkt kombinování atomů, které je náhodné a nahodilé. Nekonečná rozmanitost substancí, z níž je utvořen svět, vzniká výhradně kombinováním základních atomů.

Když se atomy skládají dohromady, záleží pouze na jediné věci, na jediné vlastnosti existující na elementární úrovni, totiž na tvaru a vzájemném uspořádání atomů. Tak jako různou kombinací písmen abecedy lze získat komedie či tragédie, humorné příběhy či epické básně,

tak se i elementární atomy kombinují, aby vytvořily svět v jeho nekonečné rozmanitosti. Tato metafora pochází od samotného Demokrita.⁶

V nekonečném tanci atomů není žádný účel, žádný cíl. My, a stejně tak i celý zbytek přírody, jsme jen jedním z mnoha produktů tohoto nikdy nekončícího kolotání. Tedy jsme produktem, jenž je náhodnou kombinací. Příroda pokračuje ve svém experimentování s formami a strukturami. A my, stejně jako zvířata, jsme produktem výběru, který je nahodilý a náhodný a probíhá po celé eony času. Naš vlastní život je kombinace atomů, naše myšlenky jsou utvářeny subtilními atomy, naše sny jsou produktem atomů, naše touhy a emoce jsou zapsány v jazyce poskládaném z kombinace atomů. Světlo, které vidíme, je proud atomů, jež nám přinášejí obrazy. Oceány jsou utvořeny z atomů, a stejně tak i naše města a hvězdy na nebi. Je to fascinující vize: neomezená, neuvěřitelně jednoduchá a neuvěřitelně mocná. Jedna z těch, na nichž bude později založeno poznání naší civilizace.

Na tomto principu Demokritos sepsal tucty knih, jež formulovaly rozsáhlý systém, který se zabýval otázkami fyziky, filozofie, etiky, politiky a kosmologie. Psal o podstatě jazyka, o náboženství, o původu lidské společnosti a spoustě dalších věcí. (Úvod jeho *Malé kosmologie* je impresionální: „V této knize pojednávám o všech věcech.“) Všechny tyto knihy jsou dnes ztraceny. O myšlenkách v nich obsažených víme jen skrze poznámky a odkazy v dílech jiných antických autorů a díky jejich shrnutím Demokritových idejí.⁷ Celkově se z nich vynořuje obraz vroucího humanisty, racionalisty a materialisty.⁸ Demokritos kombinuje nadšené studium přírody, osvícené naturalistickou průzračností, v němž jsou všechny pozůstatky systému mytických představ odstraněny, s velkou pozorností věnovanou

lidstvu a hlubokým etickým otázkám života. Předjímá tak o zhruba dva tisíce let ty nejlepší aspekty osvícenství 18. století. Demokritův etický ideál spočívá v čistotě a vyrovnanosti mysli, jíž je dosaženo skrze zdrženlivost a rovnováhu, důvěrou v rozum a nepodléhání vášním.

Platón spolu s Aristotelem Demokritovy myšlenky dobře znali. A bojovali proti nim. Důvodem bylo, že dávali přednost jiným myšlenkám. Některé z nich se pak na několik století staly překážkou a brzdou poznání. Oba trvali na tom, že Demokritovo naturalistické vysvětlení světa musí být zavrženo, protože sami upřednostnili pohled na podstatu světa z hlediska pojmů cíl a smysl. Věřili totiž, že vše, co se děje, má nějaký účel. Tento způsob myšlení se posléze ukázal být velmi zavádějící, jde-li o pochopení toho, jak funguje příroda. Domnívali se, že přírodu máme nazírat v termínech dobra a zla, čímž došlo ke zmatení lidských záležitostí s těmi, které se k nám osobně nevztahují.

Aristoteles rozsáhle pojednává o Demokritových idejích, a činí tak s respektem. Platón Demokrita nikde necituje, ale dnešní znalci mají za to, že to byl záměr, nikoli neznalost jeho díla. Kritické hodnocení Demokritových myšlenek lze implicitně najít v několika Platónových textech, například v jeho kritice „fyziků“. V pasáži dialogu *Faidón* artikuluje Platón slovy Sokratovými výtky vůči všem „fyzikům“, jež pak budou mezi filozofy dlouho rezonovat. Stěžuje si, že když „fyzikové“ vysvětlili, že Země je kulatá, musel se proti tomu ohradit, protože chtěl vědět, proč je pro Zemi „dobré“, aby byla kulatá. K čemu by jí byla kulatost platná. Platónův Sokrates líčí, jak ho fyzika zprvu nadchla, ale pak z ní byl rozčarován:

Čekal jsem, že mi nejprve řekne, zda Země je buď plochá, nebo kulatá, ale potom mi též bude vysvětlen

důvod, proč nutně má tento tvar: vycházej z principu nejlepšího mi dokáže, že pro Zemi je nejlepší věcí, že má právě takovýto tvar. A kdyby mi řekl, že Země je ve středu světa, pak by mi měl ukázat, jak prospěšné pro Zemi je být zrovna uprostřed.⁹

Jak úplně mimo je zde sám velký Platón!

Má dělitelnost nějaké meze?

Největší fyzik druhé poloviny 20. století Richard Feynman napsal na úvod svých nádherných přednášek z fyziky tato slova:

Kdyby v nějakém kataklyzmatu mělo zaniknout veškeré vědecké poznání a dalším generacím by mohla být předána jen jedna jediná věta, které tvrzení by obsahovalo nejvíce informací v co nejmenším počtu slov? Jsem přesvědčený, že je to atomová hypotéza (či atomový fakt, chcete-li to tak nazývat), totiž že *všechny věci jsou složeny z atomů – nepatrných částic, které se neustále pohybují, navzájem se přitahují, jsou-li od sebe trochu vzdálené, ale odpuzují se, když jsou těsně u sebe*. V této jediné větě, jak uvidíte, se skrývá nesmírné množství informací o světě. Jen je třeba užít trochu představivosti a uvažování.¹⁰

Aniž Demokritos znal cokoli z moderní fyziky, dospěl ke správné představě, že vše je vytvořeno z nedělitelných částic. Jak se mu to mohlo podařit?

Jeho argumenty vycházely z pozorování. Správně si například představoval, že opotřebování kola anebo sušení prádla na šňůře by mohlo být způsobeno pomalým oddělováním částic dřeva či vody. Používal ale i filozofické

argumenty. Soustředíme se na ně, protože jejich tvůrčí potenciál sahá až ke dnešní kvantové gravitaci.

Demokritos si povšiml, že hmota nemůže být dokonale spojitá, neboť v předpokladu dokonalé spojitosti tkví určitý rozpor. Demokritovy úvahy známe, protože nám o nich podává zprávu Aristoteles.¹¹ Představme si, říká Demokritos, že hmota je dělitelná donekonečna, to znamená, že ji lze nekonečněkrát rozdělit. Představme si tedy, že jsme nekonečněkrát rozdělili kousek hmoty. Co by z ní zbylo?

Mohly by z ní zbýt malé částice konečných rozměrů? Nikoli, neboť v takovém případě by původní kousek hmoty ještě nebyl rozdělen nekonečněkrát. Mohou tedy zbýt pouze body, jež nemají žádný rozměr. Zkusme ale nyní tyto body poskládat dohromady a vytvořit z nich kus hmoty. Dáme-li dohromady dva bezrozměrné body, nemůžeme z nich vytvořit věc, která by měla rozměr. Ani když dáme dohromady tři body, anebo čtyři. Dokonce platí, že i když dáme dohromady libovolný počet bezrozměrných bodů, nikdy nevznikne rozměrná věc, protože skládané body samy žádný rozměr nemají. Nemůžeme si tudíž myslet, že hmota je vytvořena z bezrozměrných bodů, neboť bez ohledu na to, kolik se nám jich podaří dát dohromady, nikdy nedostaneme něco, co by mělo nenulový rozměr. Demokritos z toho činí logický závěr, že jedinou možností je, že každý kousek hmoty je vytvořen z *konečného* počtu diskrétních bodů, které jsou nedělitelné, přičemž každý z nich má *konečný* rozměr: z atomů.

Kořeny tohoto rafinovaného způsobu uvažování jsou hlubší a sahají do doby před Demokritem. Lze je dosledovat do oblasti Cilento v jižní Itálii, do města, jež se dnes jmenuje Velia. V pátém století před naším letopočtem to byla kvetoucí řecká kolonie zvaná Elea. Žil zde

Parmenides, filozof, který vzal vážně – snad až příliš do slova – milétský racionalismus a ideu, že rozumové úvahy nám mohou odhalit, kterak by věci mohly být jiné, než se nám jeví. Parmenides prozkoumal cestu k pravdě vedoucí jen skrze čistý rozum. Cestu, jež ho dovedla k tvrzení, že všechny pozorované jevy jsou iluzorní. Otevřel tím směr uvažování o světě, který se bude čím dál více přiklánět k metafyzice a bude se vzdalovat od toho, co později budeme nazývat „přírodní vědy“. Jeho žák Zenon, rovněž z Eleje, dovedl jeho jemné logické argumenty až do extrému, aby podpořil Parmenidův fundamentalistický racionalismus, který radikálním způsobem odmítá věrohodnost pozorovaných jevů. Mezi ony argumenty patří slavná série paradoxů známých jako „Zenonovy aporie“. Jejich účelem bylo ukázat iluzornost všech jevů pomocí argumentů, že náš obvyklý a v běžném životě používaný koncept pohybu je absurdní.¹²

Nejslavnější Zenonův paradox má podobu krátkého příběhu: želva vyzve Achilla na běžecký souboj a dostane desetimetrový náskok. Podaří se Achillovi želvu dohnat? Zenon tvrdí, že rigorózní logika neúprosně tvrdí, že Achillovi se to nikdy nemůže podařit. Aby želvu dohnal, musí překonat oněch deset metrů, a to mu zabere určitou dobu. Během této doby však želva popoleze vpřed o pár centimetrů. Achilles na překonání těchto pár dodatečných centimetrů potřebuje také trochu času, ale želva během té doby zase o něco popoleze, a tak dále až donekonečna. Achilles tudíž k dohnání želvy *potřebuje nekonečný počet časových úseků. A nekonečný počet časových úseků*, tvrdí Zenon, znamená *nekonečné množství času*. Z toho dle striktní logiky plyne, že Achilles bude potřebovat nekonečně dlouhou dobu, aby želvu dohnal. Či přesněji, že my nikdy neuvídíme, že by ji dohnal. Ale protože my ve

skutečnosti vidíme, kterak rychlý Achilles dožene a předežene tolik želv, kolik se mu zamane, plyne z toho, že to, co vidíme, je iracionální, a tudíž iluzorní.

Buďme upřímní: uvedený sled argumentů nás stěží dokáže přesvědčit. Ale kde přesně vězí chyba úvah? Jednou z odpovědí je, že se Zenon mylí, protože není pravda, že kumulací nekonečného počtu věcí vždy skončíme u nekonečné věci. Představte si třeba kousek struny. Přestříhněte ho napůl, a pak znovu napůl, a znovu, nekonečněkrát. Ve výsledku dostaneme nekonečné množství malých kousků struny. Jejich součet je ale konečný, neboť poskládány dohromady mohou dát jenom délku původní struny. Nekonečný počet strun tudíž může dohromady poskládat konečnou strunu. A podobně i nekonečný počet čím dál kratších časových úseků může dát dohromady *konečný* čas. Takže antický hrdina, přestože musí překonat nekonečný počet prostorových vzdáleností, které jsou čím dál menší, bude potřebovat pouze *konečný* čas, aby želvu dohnal.

Zdá se tedy, že paradox je objasněn. Řešení spočívá v představě spojitého kontinua – nekonečně malé časové úseky mohou existovat a jejich nekonečný počet může dát dohromady konečný časový úsek. Tuto možnost jako první intuitivně pochopil Aristoteles. Následně byla rozvedena antickou i moderní matematikou.*

* Řečeno odbornou terminologií, jedná se o příklad konvergentní nekonečné řady. V případě struny je to nekonečná řada $1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + \dots$, jejíž součet je 1. Konvergentní nekonečné řady nebyly v Zenonově době ještě známy. Pochopil je až několik století poté Archimedes a použil je k výpočtu ploch. Velmi je využíval Newton, ale koncepční vytríbenosti těchto matematických objektů bylo dosaženo až v 19. století zásluhou Bolzana a Weierstrasse. Ale už Aristoteles si uvědomil, že by to mohla být možná odpověď Zenonovi. Aristotelovské rozlišení aktuálního nekonečna od potenciálního nekonečna v sobě již obsahuje klíčovou myšlenku, rozdíl mezi neexistencí meze dělitelnosti a tím, že něco již bylo nekonečněkrát rozděleno.

Je to však správné řešení v *reálném* světě? Opravdu existují libovolně krátké struny? Opravdu můžeme rozdělit kousek struny *libovolněkrát*? Existují nekonečně krátké časové úseky? Přesně to je problém, se kterým se musí vypořádat kvantová gravitace.

Traduje se, že Zenon potkal Leukippa a stal se jeho učitelem. Leukippos tedy znal Zenonovy logické hádanky. Rozhodl se je však vyřešit *odlišným* způsobem. Řešení možná spočívá v tom, navrhuje Leukippos, že nic libovolně malého neexistuje. Že dělitelnost věcí má svou dolní mez.

Vesmír je zrnitý, nikoli spojitý. S nekonečně malými body bychom nikdy nedokázali sestrojít cokoli, co má rozměr – jako ve výše zmíněném Demokritově argumentu, jak o něm referuje Aristoteles. Konečná délka struny tudíž musí být utvořena z *konečného* počtu konečných objektů, jež mají *konečný* rozměr. Strunu *není* možné rozpůlit *tolikrát, kolikrát bychom chtěli*. Hmota není spojitá, ale je utvořena z jednotlivých „atomů“, jež mají konečný rozměr.

Ať už je tento abstraktní argument správný, či nikoli, jeho závěr v sobě obsahuje – jak dnes víme – velký díl pravdy. Hmota opravdu má atomární strukturu. Jestliže rozdělím kapku vody napůl, dostanu dvě kapičky vody. Každou z těchto dvou kapiček mohu znova rozpůlit, a tak dále. Nemohu ale tak pokračovat donekonečna. V jisté chvíli mi zbude jen jedna jediná molekula a jsem u konce. Neexistuje žádná kapička vody menší nežli jediná molekula vody.

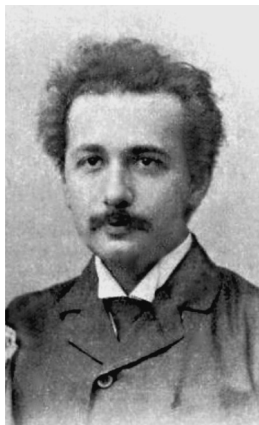
Jak tohle dnes víme? Svědectví o zmíněném faktu se hromadila dlouhá staletí, a většinou přicházela z chemie. Chemické látky vznikají kombinací několika základních prvků a jsou dány jejich (váhovými) podíly, jež jsou celočíselné. Chemici přišli s tím, že všechny substance si

lze dobře představit tak, že jsou složeny z molekul, které jsou tvořeny pevnou kombinací atomů. Například voda neboli H_2O je složena ze dvou dílů vodíku a jednoho dílu kyslíku.

Bylo to však pouhé vodítko, ukazující cestu správným směrem. Ještě na začátku minulého století mnoho vědců a fyziků nepovažovalo atomovou hypotézu za věrohodnou. Patřil mezi ně i slavný fyzik a filozof Ernst Mach, jehož představy o prostoru měly ohromný vliv na Einsteina. Po skončení přednášky Ludwiga Boltzmannna v Císařské akademii věd ve Vídni Mach veřejně prohlásil: „Nevěřím, že atomy existují!“ Bylo to v roce 1897. Mnozí, podobně jako Mach, chápali chemické vzorce jen jako užitečnou zkratku shrnující zákonitosti chemických reakcí – nikoli jako svědectví o tom, že opravdu existují molekuly vody, z nichž každá je složena ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku. Atomy nemůžete vidět, říkali. Atomy nikdy neuvídíte, říkali. A pak, ptali se, jak velký by atom měl být? Demokritos neuměl velikost svých atomů změřit...

Ale kdosi jiný to dokázal. Definitivní důkaz „atomové hypotézy“ musel čekat až do roku 1905. Našel ho pětadvacetiletý rebel, jenž vystudoval fyziku, ale nemohl najít místo coby vědec, a tak si vydělával na živobytí jako zaměstnanec patentového úřadu v Bernu. O tomto mladém muži budeme v této knize ještě hodně mluvit. A o jeho třech člancích, které poslal do nejprestižnějšího fyzikálního časopisu oné doby, *Annalen der Physik*. První z těchto článků obsahuje definitivní důkaz existence atomů a současně stanovuje jejich rozměry. Řeší tedy problém, který zformulovali Leukippos s Demokritem třiadvacet století předtím.

Jméno tohoto pětadvacetiletého mladíka zní Albert Einstein.



Obr. 1.3: Albert Einstein.

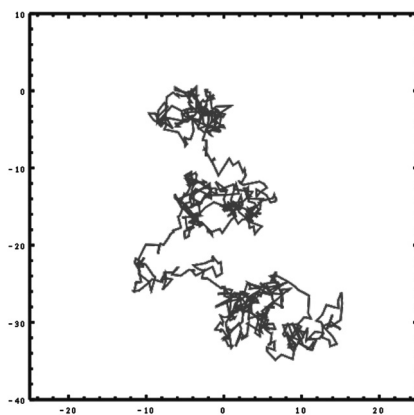
Jak toho dosáhl? Jeho myšlenka je až překvapivě jednoduchá. Už od dob Demokritových na ni mohl přijít kdokoli, kdyby měl Einsteinův postřeh a dostatečnou matematickou erudici, aby zvládl ne zrovna lehký výpočet. Podstata úvahy je následující: jestliže pozorně sledujeme velice malé částičky, třeba zrnko prachu anebo pylu v nehybném vzduchu anebo tekutině, spatříme, jak poskakují a tancují. Trhaně se pohybují ná-

hodným způsobem různými směry, takže se postupně pomalu vzdalují ze svého původního místa. Tento druh pohybu částic v tekutině se nazývá Brownův pohyb, podle biologa Roberta Browna, který jev v 19. století detailně popsal. Typická dráha částice, jež tímto způsobem „tancuje“, je vidět na obrázku 1.4. Jako kdyby malá částička tu a tam náhodně dostávala nárazy z různých stran. Ve skutečnosti se nejedná o žádné „jako kdyby“. Opravdu na ni cosi stále naráží. Poskakuje, neboť na ni narážejí jednotlivé molekuly vzduchu, a to náhodně z různých stran.

Tím se dostáváme k nejdůležitějšímu bodu úvahy. Vzduch obsahuje ohromné množství molekul. Na částičku pylu průměrně naráží stejný počet molekul zleva i zprava. Kdyby byly molekuly vzduchu nekonečně malé a byl by jich nekonečný počet, efekt nárazů zleva by se v každém okamžiku plně kompenzoval nárazy zprava, takže by se částička vůbec nepohnula. Ale konečný rozměr molekul - tedy skutečnost, že jich je *konečný*, a nikoli nekonečný počet - způsobuje *fluktuace* (to je zde klíčové slovo). To znamená, že náhodné srážky z opačných stran

se navzájem nekompensují *přesně*, vyvažují se pouze *v průměru*. Představte si na chvíli, že by molekul bylo velice málo a že by byly hodně velké: částice pylu by zjevně dostávala náraz jen tu a tam: teď zprava, za chvíli třeba zleva... Mezi oběma nárazy by se pohnula o znatelnou vzdálenost, nežli by dalším nárazem změnila svůj směr, tak jako fotbalový míč poletující mezi chlapci na hřišti, kteří do něj kopou. Čím jsou naopak molekuly menší, tím kratší je interval mezi srážkami a tím lépe se navzájem kompenzují nárazy z různých stran. Částice pylu se bude hýbat méně.

S pomocí trochy matematiky lze opravdu odvodit vztah, podle kterého lze zpětně z pozorovaného Brownova pohybu částic spočítat rozměr molekul. Jak jsem se zmínil, právě to provedl Einstein, když mu bylo dvacet pět let. Z pozorování „driftu“ částic v tekutině, tedy z toho, jakým způsobem se vzdalují ze své výchozí pozice, spočítal rozměr Demokritových atomů, elementárních zrněk, ze kterých je složena hmota. Po 2 300 letech tím podal důkaz správnosti Demokritova proniknutí do podstaty věcí: hmota je zrnitá.



Obr. 1.4: Typický Brownův pohyb.

O přírodě aneb podstata věcí

Úžasně dílo Lucretiovo nezahyne,
až do dne, kdy zanikne sám svět.

Ovidius¹³

Často přemýšlím o tom, že ztráta Demokritova díla ve vsí jeho úplnosti* je největší intelektuální tragédií, ke které došlo po kolapsu dávné civilizace. Jen se podívejte na seznam jeho děl uvedený v poznámce pod čarou. Stěží se lze ubránit smutku, představíme-li si, o co všechno jsme byli ochuzeni z ohromné antické reflexe světa.

Zachovalo se nám všechno od Aristotela a skrze něj pak západní myšlení zrekonstruovalo samo sebe. Od Demokrita nic. Možná, že kdyby se naopak dochovala všechna Demokritova díla a žádné Aristotelovo, intelektuální historie naší civilizace by byla lepší...

Avšak monoteismus, jenž po mnoho staletí dominoval, nepřipustil, aby Demokritův naturalismus přežil. Dávné antické školy, jako ty v Athénách a Alexandrii, byly zavřeny a ruku v ruce s tím šlo ničení veškerých textů, které

* Zde je seznam všech Demokritových spisů, jak jejich názvy uvádí Diogenes Laertios: *Velká kosmologie; Malá kosmologie; Kosmografie; O planetách; O přírodě; O lidské povaze; O inteligenci; O smyslech; O duši; O vůních; O barvě; O rozličných pohybech atomů; O změnách tvarů; Příčiny nebeských jevů; Příčiny atmosférických jevů; O ohni a věcech v ohni; Příčiny akustických jevů; Ohledně magnetu; Příčiny semen, rostlin a ovoce; O zvířatech; Popis oblohy; Geografie; Popis nebeské bány; O geometrii; Geometrická realita; O tečnách ke kružnici a sféře; Čísla; O iracionálních čárách a tělesech; Projekce; Astronomie; Astronomické tabulky; O paprscích světla; O zrcadlových obrazech; O rytmu a harmonii; O poezii; O kráse písní; O eufonii a kakofonii; Ohledně Homéra neboli o správné epické dikci; Lékařská věda; O zemědělství; O slovech; O jménech; O hodnotách neboli o ctnostech; O dispozicích, jež charakterizují moudrost; O malování; Pojednání o taktice; Plavba po oceánu; O historii; Myslenky Chaldejců; Myslenky Frygů; O posvátných spisech Babylonu; O posvátných spisech Meroe; O horečkách a kašli plynoucích z nemoci; O aporiích; Právní otázky; Pythagoras; O logice neboli kritérium myšlení; Potvrzování; Etická témata; O blahu. To vše je dnes nenávratně ztraceno...*

nevyhovovaly křesťanským představám. Bylo to důkladné, rozsáhlé a systematické ničení, především v dobách brutální represe pohanů následující po ediktech císaře Theodosia, jenž v roce 391 vyhlásil, že křesťanství je povinné a jediné povolené náboženství říše. Platón s Aristotelem, pohané věřící v nesmrtelnost duše a v existenci prvotního hybatele, mohli být vítězným křesťanstvím tolerováni. Demokritos nikoli.

Katastrofu však přežil text, který se nám celý dochoval. Skrze něj se něco dozvídáme o starodávném atomismu, a především o duchu tehdejší vědy. Jedná se o nádhernou báseň *De rerum natura* (*O přírodě* nebo *O podstatě věcí*) od latinského básníka Lucretia.

Lucretius byl stoupenec filozofie Epikura, žáka Demokritova žáka. Epikuros se zajímal více o etické nežli o vědecké otázky a jeho myšlenky nejsou v tomto ohledu tak hluboké jako Demokritovy. Demokritův atomismus občas chápal a vykládal poněkud povrchně. Jeho představa přírody a světa byla ale v podstatě shodná s tou, jakou měl velký filozof z Abdér. Lucretius přetavil do veršů Epikurovy myšlenky a Demokritův atomismus, čímž pro nás zachránil část oné hluboké filozofie před intelektuální katastrofou doby temna. Lucretius píše o atomech, moři, obloze, o přírodě. V průzračných verších vyjadřuje filozofické otázky, vědecké myšlenky, rafinované argumenty.

... Vysvětlím, jakými silami příroda řídí cesty
Slunce a putování Měsíce, takže nebudeme předpo-
kládat, že by jejich roční běh mezi nebem a zemí byl
dán jejich svobodnou vůlí... nebo že by jim k obíhání
dopomáhal nějaký božský plán...¹⁴

Krása básně spočívá v pocitu údivu pramenícího ze všeobsahující atomistické vize světa – fascinujícího pocitu hluboké jednoty věcí odvozeného z poznání, že my všichni jsme utvořeni ze stejné substance jako hvězdy a moře:

... my všichni jsme zrozeni z téhož nebeského semene. Všichni máme stejného otce, z něhož země, naše matka, která nás živí, získává čisté kapky deště. Díky nim plodí zářivou pšenici i svěží stromy, i lidskou rasu, i zvířecí druhy. To ona nabízí potravu vyživující všechna těla, aby vedla sladký život a plodila potomky...¹⁵

Báseň je prozářena poklidem a vyrovnaností, jež vyvěrá z pochopení, že neexistují žádní vrtošiví bohové, kteří by po nás žádali plnění obtížných úkolů a kteří by nás treskali. Již úchvatné úvodní verše věnované Venuši, oslnivému symbolu tvořivé síly přírody, jsou plné energické a čiré radosti:

Před Tebou větry prchají a s příchodem Tvým mraky opouštějí nebe. Pro Tebe oceán tiší svou hladinu, nebe se zklidňuje a žhne rozptýlenou září.¹⁶

Najdeme zde niterné přijetí života, jehož jsme nedílnou součástí:

Cožpak nevidíš, že příroda volá jen po dvou věcech, po těle prostém bolesti a mysli prosté obav i strachu, tedy po potěše z příjemných pocitů?¹⁷

A je tu i klidné přijetí nevyhnutelné smrti, jež ukončuje všechno neštěstí a z níž není třeba mít obavy. Pro Lucretia

je náboženská víra nevědomostí. Rozum je pochodeň přinášející světlo poznání.

Lucretiův text, který byl celá staletí zapomenut, znovu objevil v lednu roku 1417 humanista Poggio Bracciolini v knihovně jednoho německého kláštera. Poggio byl tajemníkem mnoha papežů a vášnivým hledačem antických spisů, inspirován věhlasnými objevy, jež učinil Francesco Petrarca. Jím znovuobjevené texty Quintilianovy změnil styl, jímž se učilo na evropských fakultách právo. Jeho objev pojednání o architektuře od Vitruvia proměnil způsob, kterým se pak navrhovaly a stavěly honosné budovy. Jeho triumfem však bylo znovuobjevení Lucretia. Původní kodex nalezený Poggiem se sice ztratil, ale kopie (známá jako Codex Laurenziano 35.30), kterou pořídil jeho přítel Niccolò Niccoli, je dodnes uchována ve vší úplnosti ve florentské knihovně Biblioteca Laurenziana.

Intelektuální půda byla již dobře připravena pro cosi úplně nového, když Poggio předal tuto Lucretiovu knihu lidstvu zpět. Už od Dantovy generace bylo možné zřetelně zaslechnout zcela jiné akcenty:

Tvé oči pronásledovaly mé srdce,
aby v něm probudily skryté myšlenky.
Pohled' nyní, jak zoufalý a šílený jsem
láskou, jež cupuje můj život na kusy.¹⁸

Avšak objev zapomenutého díla *De rerum natura* měl naprosto zásadní vliv na italskou a evropskou renesanci.¹⁹ Jeho ozvěny rezonují, přímo či nepřímou, stránkami mnoha autorů, od Galilea²⁰ po Keplera²¹, od Bacona po Machiavelliho. I v Shakespearově díle, století po Poggiovi, se atomy zjevují rozkošným způsobem:

MERKUCIO Královna Mab tě přišla navštívit.
Porodní bába elfů je, ne větší
nežli achát na prstenu konšela,
vykouzlena malým shlukem atomů,
po nosech spáčů projíždí se ráda...²²

Montaignovy *Eseje* obsahují přinejmenším stovku citací z Lucretia. Příímý vliv Lucretiův sahá k Newtonovi, Daltonovi, Spinozovi, Darwinovi – až k Einsteinovi. Samotnou Einsteinovu myšlenku, totiž že existence atomů se projevuje v Brownově pohybu nepatrných částíček rozptýlených v tekutině, lze zpětně dosledovat k Lucretiovi. Zde je příslušná pasáž, ve které Lucretius podává „živoucí důkaz“ reálnosti atomů:

Tento proces lze ilustrovat obrazem, který máme neustále před našima vlastníma očima. Sledujme, co se stane, jsou-li paprsky slunce vpuštěny dovnitř budovy a osvíjí jeho stinné kouty. V paprsku světla spatříme ohromné množství nepatrných částíček, jež se všemi směry hemží v prázdňém prostoru, jako by byly v neustálém vzájemném souboji, bok po boku se vrhají do bitvy, aniž by si na chvíli odpočaly, a v rychlém sledu se střetávají a zase oddělují. Z toho můžete získat představu, jaké to je pro atomy být bez ustání zmítán v bezmezném prázdnotě. Do jisté míry může malá věc sloužit jako ilustrace a nedokonalý obraz velkých věcí. Kromě toho je tu ještě další důvod, proč byste měli věnovat pozornost těmto částíčkám, jež tančí ve slunečním paprsku: jejich tanec je skutečnou známkou vnitřních pohybů hmoty, jež jsou skryté našim zrakům. Tam byste spatřili spoustu částic, jež podléhají neviditelným nárazům, mění směr svého letu a znova se navracejí

do svých drah, tudy i jinudy, všemi směry. Musíte pochopit, že všechny berou svůj nepokoj z atomů. Původ tkví v atomech, jež se samy pohybují. Proto jsou i ony malé složené částičky, které jsou jen trochu vzdáleny od působení atomů, uváděny v pohyb nárazy jejich neviditelných dopadů a samy pak bombardují o něco větší tělesa. Pohyby tedy od atomů narůstají a postupně se vynořují na úroveň zachytitelnou našimi smysly, takže ony částičky, jejichž pohyb spatřujeme ve slunečním paprsku, pramení z nárazů, jež pro nás zůstávají neviditelné.²³

Einstein tento Lucretiův „živoucí důkaz“, vymyšlený snad už Demokritem, přivedl znovu k životu a posílil tím, že ho převedl do jasných matematických pojmů, což mu umožnilo počítat velikost atomů.

Katolická církev se pokusila Lucretia zastavit: Florentský synod v prosinci 1516 zakázal čtení Lucretia ve školách. V roce 1551 tridentský koncil jeho dílo zakázal úplně. Ale bylo už příliš pozdě. Veliká vize světa, jež byla vymazána středověkým křesťanským fundamentalismem, už opět začala rašit po Evropě, která znova otevřela své oči. Evropě však byl nabídnut nejen Lucretiův racionalismus, ateismus a materialismus. Nebylo to jen osvícené a poklidné meditování o nádhře světa. Bylo to mnohem víc: šlo o srozumitelně artikulovanou a komplexní strukturu přemýšlení o realitě, o zcela nový způsob myšlení, radikálně odlišný od duševního postoje panujícího celá staletí středověku.²⁴

Středověký kosmos, tak překrásně vystižený Dantem, byl interpretován na principu hierarchické organizace vesmíru, odrážející hierarchickou organizaci tehdejší evropské společnosti. Sférická kosmická struktura se Zemí

spočívající uprostřed všeho; Země a nebe oddělené nepřekročitelnou bariérou; účelové a metaforické vysvětlení přírodních jevů. Strach z Boha, strach ze smrti; jen nepatrná pozornost věnovaná přírodě; představa, že strukturu světa určují formy před věcmi; představa, že zdrojem poznání může být pouze minulost, zjevení a tradice...

Nic z toho nenajdeme u Demokrita, jak o tom básní Lucretius. Žádný strach z bohů; žádný konec světa ani jeho účel; žádná kosmická hierarchie; žádné rozlišení na Zemi a nebesa. Naopak u něj najdeme hlubokou lásku k přírodě, klidné pohroužení se do ní. Uznání, že jsme její nedílnou součástí; že muži, ženy, zvířata, rostliny i mraky jsou organické předivo velkolepého celku věcí, bez předem dané hierarchie. V Demokritových báječných slovech nacházíme pocit hlubokého univerzalizmu: „Pro moudrého člověka je celá země otevřena, neboť vlastní krajinou poctivé duše je veškerý vesmír.“²⁵

A je zde též ambice přemýšlet o světě pomocí jednoduchých pojmů. Snaha zkoumat a schopnost pochopit tajemství přírody. Poznat více, než znali naši rodiče. A výjimečné koncepční nástroje, jež pak dále rozvinou Galileo, Kepler a Newton: myšlenka volného přímočarého pohybu prázdňným prostorem; představa elementárních těles a jejich interakcí, z nichž je poskládán náš svět; idea prostoru coby „nádoby“ světa.

A také prostá myšlenka o konečné dělitelnosti věcí. O zrnité podstatě světa. Idea, jež odstraní nekonečno rozkládající se mezi našimi prsty. Tato myšlenka tkví v srdci atomové hypotézy, avšak znovu a s mnohem větší silou se přihlásí ke slovu v kvantové mechanice. A dnes se její velká moc zjevuje znovu – jako úhelný kámen kvantové gravitace.

Prvním z těch, kdo poskládá dohromady části mozaiky, jež se začala vynořovat z renesančního naturalismu – kdo

zopakuje Demokritovu vizi a nesmírně posílenou ji postaví do samého středu moderní myšlení – bude Angličan, největší vědec všech dob a hlavní protagonista následující kapitoly.

2. Klasikové

Isaac a malý měsíc

Jestliže jsem v předchozí kapitole prohlásil, že Platón a Aristoteles vývoj vědy pouze poškodili, nyní bych rád tento dojem napravil. Aristotelova studia přírody – například botaniky a zoologie – jsou výjimečná vědecká díla založená na pečlivých pozorováních reálného světa. Koncepční vytríbenost, pozornost věnovaná plné rozmanitosti přírody, působivá inteligence a otevřená mysl tohoto velkého filozofa z něj učinily autoritu na mnoho staletí. První systematická fyzika, kterou známe, pochází od Aristotela, a vůbec to není špatná fyzika.

Aristoteles ji předkládá v knize pojmenované přesně: *Fyzika*. Kniha neodvozuje svůj název z vědní disciplíny. Naopak, tato vědní disciplína byla pojmenována podle Aristotelovy knihy. Podle Aristotela funguje fyzika takto. Nejprve je nutno rozlišit od sebe nebe a Zemi. Na nebi je vše vytvořeno z krystalicky čisté substance, která se kruhovitě pohybuje a věčně se otáčí kolem Země ve velkých soustředných kruzích, přičemž Země sama je kulatá a spočívá ve středu všehomíra. Na Zemi je nutné rozlišit vynucené pohyby od pohybů přirozených. Vynucený pohyb je vyvolán působícím tlakem, a když toto působení ustane, ustane i pohyb. Přirozený pohyb je vertikální – míří nahoru a dolů – a závisí jak na konkrétní substanci, tak na