

edice **aliter**

Frank  
**Wilczek**

Nositel Nobelovy ceny



**DESET KLÍČŮ  
K REALITĚ**

**Fundamenty světa**



edice **aliter** — svazek **88**

Frank  
**Wilczek**

**DESET KLÍČŮ  
K REALITĚ**  
**Fundamenty světa**

Dokořán a Argo 2024

**Frank Wilczek**  
**DESET KLÍČŮ K REALITĚ**  
**Fundamenty světa**

---

Copyright © 2021 by Frank Wilczek.

All rights reserved.

Translation © Jiří Podolský, 2024

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

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).

Z anglického originálu *Fundamentals*:

*Ten Keys to Reality*

přeložil Jiří Podolský.

Odpovědný redaktor Jan Kárník. Redakce Marie Černá.

Obálka a sazba Martin Radimecký.

Konverze do elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2024 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 1 303. publikaci (443. elektronická).

ISBN 978-80-7675-214-6

Pro Betsy:

### ZJEVENÍ

Spousty organizovaných věcí víří kolem,  
pestré vzory struktur, tvořící naše životy.  
Zrození, učení se, láska a nevyžádané stáří –  
námi nezasloužené dary, námi nestanovené meze.  
Prostor tiše narůstá, jsa mimo naše chápání.  
Nebeská tělesa, řídce v něm roztroušená,  
září poslušna dokonalým zákonům.  
Nemluví jazykem, jenž zní u našich kolébek.  
Čas je změna, vnucovaná nestranným soudcem.  
V dávných věcech spatřujeme jeho úžasný rozsah,  
i když o jeho síle svědčí jen drobné přesné hodiny.  
Čas nás dávno předešel a dlouho nás i přežije.  
Když v mysli své zas znova tvořím světy,  
ze všeho nejbliže i nejdráž navždy jsi mi ty.



## **OBSAH**

---

Předmluva: Znovuzrození	9
Úvod	17
<b>I. CO TU JE</b>	
1. Je tu spousta místa	27
2. Je tu spousta času	55
3. Je tu jen pár ingrediencí	73
4. Je tu jen pár zákonů	103
5. Je tu spousta hmoty a energie	134
<b>II. POČÁTKY A KONCE</b>	
6. Dějiny vesmíru jsou otevřená kniha	151
7. Složitost se vynořuje	166
8. Je tu spousta neviděného	174
9. Záhady zůstávají	192
10. Komplementarita rozšiřuje mysl	210
Doslov: Dlouhá cesta domů	227
<b>PODĚKOVÁNÍ</b>	233
<b>DODATEK</b>	235
<b>REJSTŘÍK</b>	245



# Předmluva: Znovuzrození

---

## I

Tato kniha je o fundamentálních poznatcích, které si můžeme odnést ze studia fyzikálního světa. Setkal jsem se s mnoha lidmi, kteří se zajímají o svět a touží se dozvědět, co o něm říká moderní fyzika. Mohou to být právníci, lékaři, umělci, studenti, učitelé, rodiče nebo prostě jen zvědaví lidé. Mají inteligenci, ale ne znalosti. Zde jsem se pokusil co nejjednodušším způsobem zprostředkovat hlavní sdělení moderní fyziky, aniž bych přitom slevoval z přesnosti. Při psaní knihy jsem měl neustále na paměti své zvědavé přátele a jejich otázky.

Ona základní poučení obsahují dle mého soudu mnohem více nežli jen holá fakta o tom, jak fyzikální svět funguje. Tato fakta jsou mocná a zároveň i obdivuhodně krásná, to jistě. Ale způsob myšlení, který nám umožnil je objevit, je stejně velkým úspěchem. A je také důležité zamyslet se nad tím, co tyto fundamentální poznatky říkají o tom, jak my lidé zapadáme do obrazu celého vesmíru.

## II

Za své fundamenty jsem zvolil deset obecných principů. Každý z nich tvoří téma jedné kapitoly. V každé kapitole dané téma vysvětlím a zdokumentuji z různých úhlů pohledu a pak se pokusím učinit pár kompetentních odhadů o jeho

budoucím vývoji. Činit tyto odhady bylo pro mne velmi zábavné a doufám, že pro čtenáře bude vzrušující je číst. Mají předat další zásadní poselství, totiž že naše chápání fyzikálního světa se neustále vyvíjí a mění. Je to živý proces.

Dal jsem si záležet na tom, abych oddělil spekulace od faktů, a u faktů uvádím podstatu vědeckých pozorování a experimentů, které je potvrzují. Neboť možná nejzásadnějším sdělením ze všech je, že mnoha aspektům fyzikálního světa dnes *opravdu rozumíme*, a to do velké hloubky. Jak to vyjádřil Albert Einstein: „Skutečnost, že [vesmír] je pochopitelný, je opravdový zázrak.“ I to byl těžce vydobytý objev.

Právě pro její překvapivost je nutné pochopitelnost fyzikálního vesmíru prokazovat, nikoliv jenom předpokládat. Nejpersvědčivějším důkazem je, že naše porozumění světu, ač stále neúplné, nám již umožnilo dělat velké a úžasné věci.

Ve svém vědeckém výzkumu se snažím zaplňovat mezery v chápání vesmíru a navrhopvat nové experimenty, které by posunuly hranice našich možností. Při psaní této knihy jsem prožíval radost, když jsem od svého bádání mohl poodstoupit, zamyslet se a s úžasem pohlédnout na některé fascinující výsledky, k nimž dospěly generace mnoha vědců a inženýrů spolupracujících napříč časem a prostorem.

### III

*Fundamenty světa* mají také nabídnout alternativu k tradičnímu náboženskému fundamentalismu. Moje kniha se zabývá stejnými zásadními otázkami o podstatě světa, neřeší je však na základě starých textů nebo tradic, ale s odkazem na fyzikální realitu.

Mnozí z mých vědeckých hrdinů – Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton, Michael Faraday, James Clerk

Maxwell – byli zbožní a oddaní křesťané. (V tom byli typickými představiteli své doby a svého okolí.) Byli přesvědčeni, že se mohou přiblížit Bohu a uctít ho studiem Jeho díla. Einstein, ačkoli nebyl věřící v obvyklém smyslu, zastával podobný postoj. Často se na Boha odvolával (říkával mu „ten Starý“), jak to učinil i v jednom ze svých nejslavnějších citátů: „Pán je rafinovaný, nikoli však zlomyslný.“

Duch jejich vědeckého úsilí, a zde i mého, překračuje konkrétní dogmata, ať už náboženská nebo protináboženská. Rád to vyjadřuji následujícím způsobem: Při zkoumání toho, jak funguje svět, zkoumáme, jak funguje Bůh, a tím *poznáváme, co Bůh je*. V tomto smyslu můžeme hledání a poznávání světa chápat jako formu božského uctívání, a naše objevy chápat jako zjevování pravdy.

#### IV

Psaní knihy pozměnilo moje vnímání světa. *Fundamenty světa* původně začaly jako výklad, ale přerostly v zamyšlení nad světem a lidmi. Jak jsem o obsahu knihy přemýšlel, nečekaně se mi zjevila dvě zastřešující témata. Jejich evidentnost i hloubka mě vskutku ohromily.

Prvním z těchto témat je hojnost všeho. Svět je velký. Stačí jen za jasné noci pohlédnout nahoru na oblohu, abyste viděli, že „tam venku“ je opravdu spousta prostoru. Když po důkladnějším vědeckém studiu tuto velikost vyjádříme čísly, naše mysl je doslova ohromena. Velikost prostoru je však pouze jedním z aspektů hojnosti přírody. A není to ten, který je pro naši lidskou zkušenost nejdůležitější.

Především, jak prohlásil Richard Feynman, také „dole je spousta místa“. Každé naše lidské tělo obsahuje mnohem více atomů, nežli je hvězd v celém viditelném vesmíru. A náš

mozek obsahuje zhruba tolik neuronů, kolik je hvězd v naší Galaxii. Vesmír uvnitř nás je důstojným doplňkem vesmíru mimo nás.

Co platí pro prostor, platí také pro čas. Vesmírný čas je obrovský. Vůči množství času sahajícího k počátečnímu velkému třesku jsou lidské životy nicotné. A přesto, jak uvidíme, celý lidský život obsahuje mnohem více okamžiků vědomí, než kolik obsahují vesmírné dějiny lidských životů. Jsme tedy obdařeni i hojností vlastního vnitřního času.

Fyzikální svět je rovněž bohatý na dosud nevyužité zdroje pro naše tvoření a vnímání. Věda odhaluje, že blízký svět obsahuje v již známých a dobře dostupných formách mnohem více energie a využitelného materiálu, než lidé v současnosti využívají. Toto poznání nás posiluje a mělo by povzbudit naše ambice.

Bezprostřední smyslové vnímání nám přináší jen několik útržků reality, kterou odhaluje vědecké zkoumání. Vezměme si například zrak. Naše vidění je zdaleka nejširší a nejdůležitější bránou do vnějšího světa. Tolik toho však zůstává neviděno! Dalekohledy a mikroskopy odhalují obrovské pokladnice informací zakódovaných v přicházejícím světle, které se k nám běžně dostává, ale tyto informace zůstávají našima očima nepovšimnuty. Náš zrak je navíc omezen na jedinou oktávu – pouze na viditelné světlo – z nekonečné klávesnice elektromagnetického záření, která sahá od rádiových vln přes mikrovlny až po infračervené záření na jedné straně a od ultrafialového záření až po rentgenové a gama záření na druhé straně spektra. A v rámci této jediné vizuální oktávy je naše barevné vidění navíc rozmazané. Zatímco naše smysly nedokážou vnímat mnohé z aspektů reality, mysl nám umožňuje překonávat naše přirozené fyzické meze. Rozevírání bran našeho vnímání je velkým a stále probíhajícím dobrodružstvím.

## V

Druhým fascinujícím tématem je, že abychom správně nahlédli fyzikální vesmír, musíme se „znovu narodit“.

Když jsem připravoval text této knihy, narodil se mi vnuk Luke. Během psaní jsem měl možnost sledovat několik prvních měsíců jeho života. Viděl jsem, jak s široce otevřenými očima studuje své vlastní ruce a začíná si uvědomovat, že je ovládá. Viděl jsem, s jakou radostí se naučil natahovat ruce a uchopovat předměty ve vnějším světě. Sledoval jsem, jak s těmito předměty experimentuje, jak je pouští a znova hledá a stále dokola to opakuje (a opakuje...), jako by si nebyl zcela jistý výsledkem. Když je ale našel, radostně se smál.

Na těchto a mnoha dalších případech jsem viděl, že Luke si vytváří svůj model světa. Přistupoval k němu s neochvějnou zvědavostí a jen s malými předsudky. Díky interakci se světem se naučil věci, které téměř všichni dospělí lidé považují za samozřejmé. Například že svět se dělí na já a ne-já, že myšlenky mohou ovládat pohyby „já“, ale nikoli „ne-já“, a že se můžeme dívat na objekty, aniž bychom změnili jejich vlastnosti.

Děti jsou jako malí vědci, kteří provádějí pokusy a vyvozují z nich závěry. Ale pokusy, které dělají, jsou podle měřítek moderní vědy hodně hrubé. Miminka pracují bez dalekohledů, mikroskopů, spektroskopů, magnetometrů, urychlovačů částic, atomových hodin nebo jiných přístrojů, které dnes jako fyzici běžně používáme k sestavení našich nejvěrnějších a nejpresnějších modelů světa. Zkušenosti dětí jsou omezeny na malý rozsah teplot. Jsou ponořeni do atmosféry s velmi specifickým chemickým složením a tlakem. Zemská gravitace je (i všechno v jejich okolí) táhne směrem dolů, zatímco zemský povrch je podepírá... a tak dále.

Děti si vytvářejí model světa, který odpovídá tomu, co zažívají *v rámci svého vnímání a svého prostředí*. Z praktického hlediska je to zcela správný plán. Abychom se vyrovnali s každodenním světem, je efektivní a rozumné, jsme-li dětmi, brát si ponaučení z každodenního světa.

Moderní věda však odhaluje fyzikální svět, který se velmi liší od modelu, který si vytváříme jako děti. Otevřeme-li se znovu reálnému světu, zvědaví a bez předsudků – když se rozhodneme znovu se narodit – začneme světu rozumět jinak.

Některé věci se musíme nově naučit. Svět je sestaven z několika fundamentálních stavebních kamenů, které se řídí přesnými, ale zvláštními a dosud ne zcela známými pravidly.

Některým věcem se naopak musíme odnaučit.

Kvantová mechanika odhaluje, že něco malého nelze pozorovat, aniž bychom to svým pozorováním nezměnili. Každý člověk dostává z vnějšího světa unikátní zprávy. Představte si, že vy a váš kamarád sedíte společně ve velmi tmavé místnosti s tlumeným světlem. Postupně světlo čím dál více utlumujete, třeba tím, že ho zakrýváte vrstvami látky. Nakonec vy i váš kamarád uvidíte jenom občasné záblesky fotonů. Záblesky však uvidíte v různých časech. Světlo se rozpadlo na jednotlivá kvanta a tato kvanta nelze sdílet. Na této zcela fundamentální úrovni oba zažíváme oddělené světy.

Psychofyzika odhaluje, že většinu činností neřídí naše vlastní vědomí, ale jen o nich zpracovává zprávy, jež přicházejí z nevědomých jednotek, které konají práci. Pomocí techniky známé jako transkraniální magnetická stimulace (TMS) je dnes možné dle uvážení experimentátora stimulovat levá nebo pravá motorická centra v mozku subjektu. Správně modelovaný signál TMS do pravého motorického

centra způsobí cuknutí levého zápěstí, zatímco správně modelovaný signál TMS do levého motorického centra způsobí cuknutí pravého zápěstí. Alvaro Pascual-Leone tuto techniku důmyslně použil v jednoduchém experimentu, který však má hluboké důsledky. Požádal pokusné osoby, aby se po obdržení pokynu rozhodly, zda chtějí cuknout pravým anebo levým zápěstím. Poté byly instruovány, aby po obdržení dalšího pokynu svůj záměr provedly. Pokusné osoby byly umístěny do mozkového skeneru, takže experimentátor mohl monitorovat jejich motorická centra připravující signály k cuknutí. Pokud se rozhodly cuknout pravým zápěstím, byla aktivní jejich levá motorická oblast, pokud se rozhodly cuknout levým zápěstím, byla aktivní jejich pravá motorická oblast. Tímto způsobem bylo možné předvídat, jaká volba byla učiněna ještě předtím, než došlo k jakémukoli pohybu rukou.

A nyní přichází objevný zvrat v poznání. Pascual-Leone občas použil TMS signál, který byl v rozporu s původní volbou subjektu (a jak se ukázalo, převážil ji). Subjekt pak provedl cuknutí, které mu TMS vnutila, a nikoli to, které si původně zvolil. Pozoruhodné je, jak subjekty vysvětlovaly, co se při tom dělo. *Neuváděli*, že by je ovládla nějaká vnější síla. Spíše říkali: „Změnil jsem svůj názor.“

Podrobná vědecká studia odhalují, že naše tělo a náš mozek – tedy fyzická platforma našeho „já“ – jsou navzdory veškeré intuici složeny ze stejného materiálu jako „ne-já“ a zdá se, že jsou s ním přirozeně propojeny.

V uspěchanosti, při níž se rychle snažíme dát věcem smysl, se jako kojenci naučíme špatně chápat svět i sami sebe. Proto se na cestě k hlubšímu porozumění světu toho musíme hodně odnaučit, stejně jako se toho musíme hodně naučit.

## VI

Onen proces znovuzrození může být dezorientující. Ale stejně jako jízda na horské dráze může být také vzrušující. A přináší i dar: Těm, kdo se znovu narodili vědeckým způsobem, se svět jeví svěží, jasný a úžasně bohatý. Doslova prožívají vizi Williama Blakea:

Svět v zrníčku písku rozeznat  
a nebe v divoké květině,  
bezmezný prostor do vlastních dlaní brát  
a věčnost prožít si v hodině.

(přeložil Zdeněk Hron)

# Úvod

---

## I

Vesmír je podivné místo.

Pro novorozence představuje svět jenom změt matoucích dojmů. Při jeho třídění se dítě brzy naučí rozlišovat mezi zprávami, které pocházejí z jeho vnitřního světa, a těmi, které přicházejí ze světa vnějšího. Vnitřní svět obsahuje pocity, jako je hlad, bolest, pohoda a ospalost, ale i říši snů. Uvnitř se nacházejí také privátní myšlenky, například ty, které ovládají pohled, uchopení ruky a brzy i řeč.

Vnější svět je složitá intelektuální konstrukce. Dítě věnuje jeho vytváření většinu svého času. Učí se rozpoznávat stabilní vzorce ve svém vnímání, které na rozdíl od vlastního těla nereagují přímo a spolehlivě na subjektivní myšlenky. Tyto vzory dítě uspořádává do objektů. A učí se, že ony objekty se chovají do jisté míry předvídatelným způsobem.

Nakonec náš novorozenec, který je nyní už dítětem, rozpozná některé z objektů jako bytosti, jež jsou mu podobné a se kterými může komunikovat. Po rozsáhlé výměně informací s těmito bytostmi se přesvědčí, že i ony prožívají svůj vnitřní a vnější svět a že – což je opravdu pozoruhodné – všechny sdílejí mnoho společných objektů. A že se tyto objekty dokonce řídí stejnými pravidly.

## II

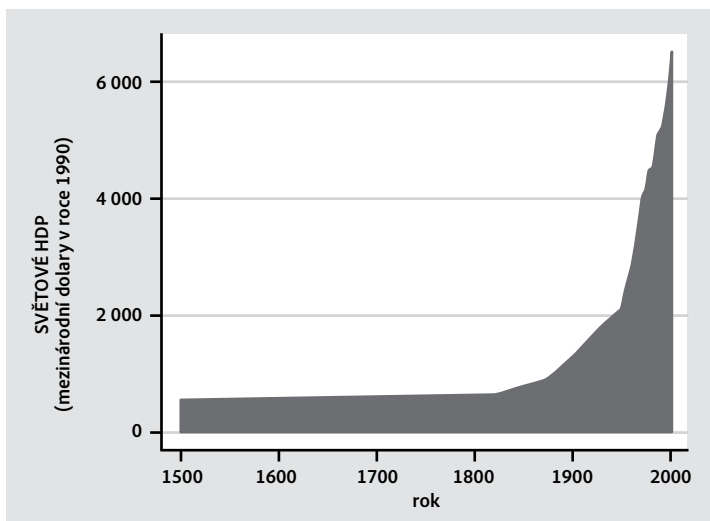
Pochopení toho, jak ovládat společný vnější svět – jinými slovy fyzikální svět – je samozřejmě zásadní praktický problém s mnoha různými aspekty. Například aby dítě prosperovalo ve společnosti lovců a sběračů, muselo se naučit, kde najít vodu. Které rostliny a zvířata jsou vhodné k jídlu a jak je najít, chovat nebo lovit. Jak připravit a uvařit jídlo, a mnoho dalších činností a dovedností.

Ve složitějších společnostech se objevily další problémy, například jak vyrábět specializované nástroje, jak stavět trvalé stavby a jak sledovat čas. Úspěšná řešení problémů, jež přináší fyzický svět, se objevují, sdílejí a hromadí po celé generace. Pro každou společnost se stávají její „technologí“.

Také nevědecké společnosti často dokážou vyvinout bohaté a složité technologie. Některé z nich umožnily a stále umožňují lidem přežít a prosperovat i v obtížných podmínkách, jako je Arktida nebo poušť Kalahari. Jiné umožnily stavbu velkých měst a impozantních památek, jako jsou egyptské či mezoamerické pyramidy.

Přesto byl vývoj technologií po většinu lidské historie před vznikem vědecké metody nahodilý. Úspěšné techniky byly objeveny víceméně náhodou. Jakmile se na ně přišlo, byly předávány v podobě specifických postupů, rituálů a tradic. Netvořily žádný logický systém, ani neexistovala systematická snaha o jejich zdokonalování.

Technologie založené pouze na „empirických pravidlech“ umožňovaly lidem přežít, rozmnožovat se a často i užívat si volného času a dosáhnout spokojeného života. Většině lidí, ve většině kultur a po většinu historie, to stačilo. Lidé neměli možnost zjistit, co jim chybí, nebo že to, co jim chybí, by pro ně mohlo být důležité.



Nyní však už víme, že jim toho chybělo hodně. Tento graf, který ukazuje vývoj lidské produktivity v čase, mluví sám za sebe a vypovídá o mnohém.

### III

Moderní přístup k chápání světa vznikl v Evropě v 17. století. Jeho předzvěsti se objevily už dříve a také jinde. Ale až celá plejáda přelomových objevů, známá jako *vědecká revoluce*, nám poskytuje inspirativní příklad toho, čeho může dosáhnout lidská mysl, když se kreativně zabývá fyzikálním světem. Metody a postoje, jež k těmto objevům vedly, poskytly jasné vzory pro budoucí zkoumání. Tímto mohutným impulzem začala věda, jak ji dnes známe. Od té doby se už nikdy neohlédla zpět.

Sedmnácté století přineslo mohutný teoretický a technologický pokrok na mnoha frontách, jako byla konstrukce

mechanických strojů a lodí, optických přístrojů (včetně mikroskopů a dalekohledů), hodin a kalendářů. Přímým důsledkem toho bylo, že lidé získali větší moc, mohli vidět více věcí a spolehlivěji řídit své záležitosti. Co však činí onu vědeckou revoluci jedinečnou a plně si zasluhující své označení, je něco méně hmatatelného. Je to zásadní změna pohledu na svět, jež lidstvu přinesla nové ambice a nové sebevědomí.

Keplerova, Galileova a Newtonova metoda kombinuje pokorné hledání a respektování faktů, tedy učení se z přírody, se systematickou kuráží, kdy to, co jste se naučili, asertivně používáte všude, kde to jen jde. A to i v situacích, jež přesahují vaše původní pozorování a důkazy. Když to funguje, pak jste objevili něco užitečného; když ne, pak jste se něco důležitého naučili. Tento postoj nazývám radikálním konzervatismem. Dle mého soudu to je zásadní inovace vědecké revoluce.

Radikální konzervatismus je konzervativní, neboť po nás chce, abychom se učili z přírody a respektovali fakta – to je klíčový aspekt vědecké metody. Je však také radikální, neboť prosazuje, co jsme se naučili, v celé své šíři a hodnotě poznání. To je pro fungování vědy neméně podstatné. Poskytuje to vědě její ostří.

## IV

Tento nový pohled na svět byl inspirován především vývojem oboru, který už v 17. století byl starobylý a dobře rozvinutý: nebeskou mechanikou. Popisem toho, jak se objekty na obloze zdánlivě pohybují.

Již dávno před počátkem psané historie lidé rozpoznávali zákonitosti, jako je střídání noci a dne, cyklus ročních období,

fáze Měsíce a uspořádané otáčení hvězd na nebeské klenbě. S rozvojem zemědělství se stalo klíčovým sledovat roční období, aby bylo možné sázet a sklízet v nevhodnější dobu. Další silnou, i když pomýlenou, motivací pro přesná pozorování byla víra, že lidský život je přímo spojen s vesmírnými rytmy: s astrologií. V každém případě lidé z různých důvodů – včetně prosté zvědavosti – pečlivě studovali oblohu.

Ukázalo se, že naprostá většina hvězd se pohybuje poměrně jednoduchým a snadno předvídatelným způsobem. Dnes jejich zdánlivý pohyb po obloze interpretujeme jako důsledek otáčení Země kolem své vlastní osy. „Pevné hvězdy“ jsou tak daleko, že poměrně malé změny vzdálenosti vůči nám, ať už způsobené jejich vlastním pohybem anebo pohybem Země kolem Slunce, jsou pouhým okem nerozeznatelné. Ale několik výjimečných objektů – Slunce, Měsíc a několik „poutníků“, včetně pouhým okem viditelných planet Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn – se touto jednoduchou zákonitostí neřídí.

Starověcí astronomové po mnoho generací zaznamenávali polohy těchto zvláštních nebeských objektů a nakonec se naučili poměrně přesně předpovídat jejich změny. Tento úkol vyžadoval výpočty v geometrii a trigonometrii podle složitých, ale zcela přesných receptů. Ptolemaios (asi 100–170 n. l.) shrnul tento materiál do matematického textu, který se stal známým jako *Almagest*. (*Magest* je řecký superlativ, který znamená „největší“. Má stejný kořen jako „majestátní“. *Al* je prostě arabský výraz pro určitý člen, jako je anglické „the“.)

Ptolemaiova syntéza byla velkolepým počinem, ale měla dva nedostatky. Jedním z nich byla její složitost a s tím související nepřehlednost. Zejména návody, které používala k výpočtu pohybů planet, obsahovaly mnoho apriorních čísel, která

byla určena čistě jen porovnáním výpočtů s provedenými pozorováními, aniž by je spojovaly hlubší principy. Koperník (1473–1543) si všiml, že hodnoty některých z těchto čísel spolu souvisejí, a to překvapivě jednoduchým způsobem. Tyto jinak záhadné, „náhodné“ číselné vztahy bylo možné vysvětlit geometricky, pokud byl učiněn předpoklad, že Země spolu s Venuší, Marsem, Jupiterem a Saturnem obíhají kolem Slunce (avšak Měsíc nadále obíhá kolem Země).

Druhý nedostatek Ptolemaiovy syntézy tehdejšího poznání byl přímočařejší: prostě nebyla přesná. Tycho Brahe (1546–1601) v předtuše dnešní „velké vědy“ navrhl složité přístroje a utratil spoustu peněz za stavbu observatoře, která umožnila mnohem přesnější pozorování poloh planet. Nová pozorování jednoznačně ukázala odchylky od Ptolemaiových předpovědí.

Johannes Kepler (1571–1630) se rozhodl vytvořit elegantní a přesný geometrický model pohybu planet. Rozpracoval Koperníkovy myšlenky a provedl další důležité technické změny Ptolemaiova modelu. Konkrétně připustil, aby se dráhy planet kolem Slunce odchylovaly od ideálních kružnic, a nahradil je elipsami, v jejichž ohnisku je Slunce. Rovněž umožnil, aby se rychlost, s jakou planety obíhají, měnila v závislosti na jejich vzdálenosti od Slunce tak, aby za stejný čas opsaly stejnou plochu vůči ohnisku. Po těchto reformách byl systém podstatně jednodušší a také mnohem lépe fungoval.

Mezitím zde na zemském povrchu Galileo Galilei (1564 až 1642) pečlivě zkoumal jednoduché druhy pohybu, například kutálení koulí po nakloněné rovině nebo kmitání kyvadla. Tyto pokorné a skromné studie, při nichž se polohy a časy těles vyjadřují čísly, se mohou zdát žalostně nedostatečné pro řešení zásadních otázek fungování světa. Většinu

Galileových akademických současníků, kteří se zabývali velkými filozofickými problémy, se jistě zdály triviální. Galileo však usiloval o jiný druh porozumění světu. Chtěl *něčemu* porozumět přesně, a nikoli *všemu* jen vágně. Hledal – a také našel – konkrétní matematické vzorce, které plně popisovaly jeho skromná a správná pozorování.

Isaac Newton (1643–1727) spojil Keplerovu geometrii pohybu planet a Galileův dynamický popis pohybů na Zemi. Ukázal, že jak Keplerovu teorii planetárních pohybů, tak Galileovu teorii speciálních pozemských pohybů lze nejlépe chápat jako zvláštní případy obecných zákonů. Univerzálních zákonů, jež platí pro všechna tělesa všude a vždy. Newtonova teorie, kterou dnes nazýváme klasická mechanika, šla pak od triumfu k triumfu. Vysvětlila přílivy a odlivy na Zemi, předpovídala dráhy komet a umožnila nové technické úspěchy.

Newtonova práce zcela přesvědčivě ukázala, že i velké otázky lze řešit na základě podrobného pochopení jednoduchých případů. Newton tuto metodu nazýval *analýzou* a *syntézou*. Je to archetyp vědeckého radikálního konzervatismu.

Zde je, co o této metodě řekl sám Newton:

Stejně jako v matematice, tak i v přírodní filozofii by mělo zkoumání obtížných věcí metodou analýzy vždy předcházet metodě syntézy. Tato analýza spočívá v provádění pokusů a pozorování a ve vyvozování obecných závěrů z nich pomocí indukce. [...] Tímto způsobem můžeme analýzou postupovat od složenin k jejich ingrediencím a od pohybů k silám, které je vyvolávají; a obecně pak od následků k jejich příčinám a od konkrétních příčin k příčinám obecnějším, až argumentace skončí u toho nejobecnějšího. Taková je metoda analýzy. A syntéza pak spočívá v tom, že se objevené a zjištěné příčiny považují za principy a pomocí nich se vysvětlují jevy, které jim předcházejí, čímž poskytují vysvětlení věcí.

## V

Než Newtona opustíme, zdá se vhodné přidat ještě jeden jeho citát, který odráží hlubokou spřízněnost s jeho předchůdci Galileem a Keplerem i s námi všemi, kteří jdeme v jejich stopách:

Vysvětlit celou přírodu je příliš obtížný úkol pro jednoho člověka či dokonce pro jednu epochu. Je mnohem lepší udělat cosi malého s jistotou a zbytek přenechat jiným, kteří přijdou po vás.

A novější citát Johna R. Pierce, průkopníka moderní informatiky, krásně vystihuje kontrast mezi moderním pojetím vědeckého poznání a všemi ostatními přístupy:

Požadujeme, aby naše teorie i v detailu souzněly s velmi širokou škálou jevů, které se snaží vysvětlit. A trváme na tom, aby nám poskytovaly užitečné vodítko spíše nežli pouhé odůvodnění.

Jak si byl Pierce velmi dobře vědom, tento vysoký standard je vykoupen bolestivou cenou. Vyžaduje ztrátu nevinnosti. „Už nikdy nebudeme rozumět přírodě tak dobře jako řečtí filozofové. [...] Víme toho příliš mnoho.“ Myslím si, že tato cena příliš vysoká není. V každém případě už není cesty zpět.

**I.**  
**Co tu je**

---



# Je tu spousta místa

---

## Spousta venku a také spousta uvnitř

---

Když řekneme, že něco je velké – ať už jde o viditelný vesmír anebo lidský mozek – musíme se hned ptát: ve srovnání s čím? Přírozeným referenčním bodem je každodenní lidský život. To je kontext našeho primárního modelu světa, který si vytváříme jako děti. Skutečný rozsah fyzického světa, jak jej odhaluje přírodověda, objevíme, až když si dovolíme se znovu narodit.

Podle měřítek každodenního života je svět „tam venku“ skutečně gigantický. Tuto *vnější hojnost prostoru* intuitivně vnímáme, když se za jasné noci podíváme na hvězdnou oblohu. I bez hlubší analýzy sami cítíme, že vesmírné vzdálenosti jsou mnohem větší nežli naše lidská těla a větší nežli jakákoli vzdálenost, kterou bychom kdy mohli urazit. Vědecké poznatky tento pocit bezmezného rozlehlosti nejen podporují, ale ještě výrazně rozšiřují.

Enormní velikost vesmíru může v lidech vyvolávat pocit ohromení. Francouzský matematik, fyzik a náboženský filozof Blaise Pascal (1623–1662) se takto cítil a trápilo ho to. Napsal: „Vesmír mě zachytává a pohlcuje jako pouhé smítko.“

Pocity jako ten Pascalův – ve smyslu „jsem *velmi* malý a ve vesmíru vůbec nic neznamenám“ – jsou častým tématem literatury, filozofie i teologie. Objevují se v mnoha

modlitbách a žalmech. Takové pocity jsou přirozenou reakcí na pocit lidské bezvýznamnosti ve vztahu k vesmíru, pokud ji poměříme naší fyzickou velikostí.

Dobrou zprávou ale je, že samotná rozměrová velikost není všechno. Naše *vnitřní bohatost* je subtilnější a přinejmenším stejně zásadní. Uvědomíme si to, podíváme-li se na věci z opačného konce, totiž zdola nahoru. Dole v nás je opravdu spousta místa. Ve všech ohledech, na kterých opravdu záleží, jsme nesmírně velcí.

Na základní škole nás učí, že fundamentální strukturou hmoty jsou atomy a molekuly. Z hlediska těchto elementárních jednotek je lidské tělo obrovské. Počet atomů v jednom lidském těle je zhruba  $10^{28}$ , což je 1 následovaná 28 nulami: 10 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

Je to číslo daleko za hranicí toho, co si vůbec dokážeme představit. Můžeme ho pojmenovat – deset kvadriliard – a po jistém poučení a tréninku se s ním dokonce lze naučit počítat. Daleko však přesahuje běžnou intuici, jež vychází z naší každodenní zkušenosti, ve které nikdy nemáme příležitost počítat s tak vysokými čísly. Představit si tolik jednotlivých bodů prostě přesahuje kapacitu našeho mozku.

Počet hvězd viditelných pouhým okem za jasné, bezměsíčné noci je i v nejlepším případě jen pár tisíc. Naproti tomu deset kvadriliard, což je počet atomů v nás, je asi milionkrát více, nežli je počet hvězd v celém viditelném vesmíru. V tomto zcela konkrétním smyslu v nás doslova přebývá celý vesmír.

Walt Whitman (1819–1892), americký básník velikého ducha, tuto naši vnitřní velikost instinktivně vytyčil. V jedenapadesáté části své básně „Zpěv o mně“ napsal: „Jsem veliký, je toho ve mně spousta.“ Tato Whitmanova radostná oslava hojnosti v nás má stejný základ v objektivní realitě

jako Pascalova obava i závist ve vztahu k vesmíru. Mnohem lépe odpovídá naší aktuální situaci.

Svět je veliký, ale my vůbec nejsme malí. Správnější je říci, že je v něm spousta místa, ať už se vydáme směrem nahoru anebo dolů. Člověk by neměl závidět vesmíru, že je obrovský. I my jsme velcí. Jsme dost velcí na to, abychom celý vnější vesmír pojali do své mysli. Sám Pascal se tím utěšoval, když po svém nářku, že „vesmír mě zachytává a pohlcuje jako pouhé smítko“, napsal útěšná slova: „Ale myšlenkou ho zachytávám já.“

Hojnost vesmírného prostoru – jeho obrovská vnější i vnitřní rozlehlost – je hlavním tématem této kapitoly. Podíváme se nyní podrobněji na tvrdá fakta o něm a pak se odvážíme vydat o něco dál.

## **Vnější rozlehlost: Co o ní víme a jak jsme na to přišli**

---

### **Předehra: Geometrie a realita**

Odborné vědecké debaty týkající se rozměrů vesmíru vycházejí z našich základních znalostí o fyzikálním prostoru a o způsobech měření vzdálenosti, tedy z nauky o geometrii. Začneme tedy vztahem mezi geometrií a realitou.

Přímá každodenní zkušenost nás učí, že předměty se mohou pohybovat z místa na místo, aniž by se při tom změnily jejich vlastnosti. To nás vede k představě „prostoru“ jako jakési neviditelné nádoby, do níž příroda ukládá předměty.

Praktické aplikace v geodézii, architektuře a navigaci vedly naše předky k měření vzdáleností a úhlů mezi blízkými

objekty. Díky této práci objevili zákonitosti, které platí v eukleidovské geometrii.

I když se praktické aplikace stávaly stále rozsáhlejšími a náročnějšími, tento geometrický rámec stále dobře fungoval a přetrval. Eukleidova geometrie byla tak úspěšná a její logická struktura tak majestátní, že se kritické testy její platnosti jako popisu fyzikální reality prováděly jenom zřídka. Až na počátku 19. století Carl Friedrich Gauss (1777–1855), jeden z největších matematiků všech dob, usoudil, že by stálo za to realitu zkontrolovat. Změřil úhly v trojúhelníku tvořeném třemi vzdálenými, na horách umístěnými stanicemi v Německu a zjistil, že v rámci nejistoty měření dávají dohromady  $180^\circ$ , přesně jak předpovídá Eukleides. I dnešní satelitní globální poziční systém GPS je založen na eukleidovské geometrii. Denně provádí miliony podobných experimentů jako kdysi Gauss, ale v mnohem větším měřítku a s neporovnatelně větší přesností. Podívejme se krátce na princip jeho fungování.

Polohu pomocí GPS zjistíte tak, že se napojíte na vysílání speciálních umělých družic obíhajících vysoko nad Zemí, které vědí, kde přesně se nacházejí. (Ještě se vrátíme k tomu, *jak* to vědí.) V současné době je těchto satelitů, strategicky rozmístěných kolem celé zeměkoule, více než třicet. Jejich rádiové signály nevysílají mluvenou řeč ani hudbu. Místo toho neustále vysílají jednoduchá oznámení o tom, kde se nacházejí, a to v digitálním formátu, který je srozumitelný počítačům. Tato hlášení obsahují i „časová razítka“, která říkají, kdy byla odeslána. Každá družice má za tímto účelem na palubě vynikající atomové hodiny. Ty garantují, že časová razítka jsou velmi přesná. Potom:

1. Příjímač vaší GPS jednotky zachytí některé ze satelitních signálů. Váš přístroj, který má přístup také k signálům

z rozsáhlé sítě přesných pozemních hodin, z těchto údajů vypočítá, jak dlouho trvalo, než jednotlivé signály ze satelitů dorazily. Protože se tyto signály šíří známou rychlostí – rychlostí světla – lze doby letu signálů použít k určení vzdálenosti zachycených satelitů.

2. Na základě těchto vzdáleností, aktuální polohy satelitů a eukleidovské geometrie určí počítač jedinečnou polohu GPS přístroje – tedy vás – pomocí geodetické triangulace.
3. Počítač tento výsledek oznámí a vy se dozvíte, kde se nacházíte.

Plně implementovaný systém GPS přidává mnoho dalších chytrých vylepšení, ale toto je jeho hlavní myšlenka. Celý systém se nápadně podobá „myšlenkovému experimentu“ Alberta Einsteina ohledně vztažných soustav v jeho originálním článku o speciální teorii relativity. Už v roce 1905 v něm uvažoval o využití světelných paprsků a doby letu signálů k mapování prostorových poloh. Einsteinovi se tato myšlenka moc líbila, protože k mapování prostoru využívá techniku zakotvenou přímo ve fundamentálních fyzikálních zákonech – opírá se o neměnnou a univerzální rychlost světla. Moderní technologie nyní našla způsob, jak jeho krásné myšlenkové experimenty zrealizovat.

Jako cvičení prostorové představivosti se můžete sami pokusit rozmyslet, zda znalost vaší vzdálenosti ke čtyřem satelitům – každý ve známé poloze – poskytuje více než dostatek informací k jednoznačné rekonstrukci vaší polohy.

(Tady je nápověda: Body v konkrétní vzdálenosti od každé družice leží na kouli se středem v této družici. Vezmeme-li dvě koule se středy na dvou různých družicích, buď se budou protínat v kruhu, nebo vůbec. Protože vaše poloha leží někde v průsečíku, měly by se protínat! Nyní uvažte,

že tuto kružnici protne třetí koule odpovídající poloze třetího satelitu. Obecně se budou protínat ve dvou bodech. Nakonec sféra čtvrtého satelitu jednoznačně vybere jeden z těchto dvou bodů.)

Vraťme se ale nyní k otázce, jak satelity GPS vědí, *kde se nacházejí*. Technické detaily věc trochu komplikují, ale základní myšlenka je prostá: Družice znají své výchozí pozice a také průběžně sledují svůj vlastní pohyb. Spojením těchto dvou informací dokážou vypočítat, kde se právě nacházejí.

Řečeno podrobněji: Satelity sledují svůj pohyb pomocí vestavěných gyroskopů a akcelerometrů, jako jsou ty ve vašem mobilním telefonu. Z pozorované odezvy těchto přístrojů může počítač družice pomocí fyzikálních zákonů newtonovské mechaniky odečíst zrychlení družice. Na základě těchto údajů pak vypočítá, o kolik se družice pohnula. Už Newton kdysi vymyslel výpočetní kalkulus k řešení takovýchto problémů pomocí derivací a integrálů.

Projdete-li všechny tyto kroky, zjistíte, že inženýři, kteří navrhli globální poziční systém, vycházeli z mnoha předpokladů, které nejsou na první pohled zřejmé. Systém vychází z Einsteinovy myšlenky, že rychlost světla je konstantní. Pro přesné měření času používá atomové hodiny, jejichž konstrukce a fungování se opírá o pokročilé principy kvantové teorie. K výpočtu aktuální polohy satelitů používá metody klasické mechaniky. Provádí také korekce, předpovězené obecnou teorií relativity, totiž že rychlost hodin mírně závisí i na jejich výšce nad Zemí. V blízkosti povrchu Země, kde je její gravitační pole silnější, hodiny běží pomaleji nežli na družici.

Vzhledem k tomu, že satelitní globální poziční systém se kromě pravidel eukleidovské geometrie opírá i o mnoho těchto dodatečných fyzikálních předpokladů, nelze tvrdit, že nám poskytuje čistý a jasný test této geometrie. Úspěch

systemu GPS tedy není čistým testem jediného principu. Je to složitá soustava, jejíž konstrukce se opírá o propojenou síť různých předpokladů.

Kterýkoli z nich může být chybný anebo, řečeno diplomatičtěji, jenom přibližně pravdivý. Pokud by některý z předpokladů, které inženýři považují za „přibližně pravdivé“, byl výrazně chybný, GPS by poskytoval nekonzistentní, chybné výsledky. Například z triangulací prováděné pomocí různých sad družic by byly odvozeny různé polohy. Opakované používání může odhalit skryté slabiny systému.

Naopak ale fakt, že GPS funguje správně, posiluje naši důvěru ve *všechny* v něm implementované základní předpoklady, a to včetně předpokladu, že eukleidovská geometrie s dobrou přesností popisuje realitu prostorové geometrie v pozemských měřítkách. A GPS zatím funguje zcela bezchybně.

Řečeno obecně: věda buduje. Její nejpokročilejší, nejriskantnější a nejdobrodružnější experimenty a technologie se opírají o spletitou síť fundamentálních teorií. Kdykoli se tyto pokročilé aplikace osvědčí, zvýší naši důvěru v onu „podpůrnou“ síť. Skutečnost, že základní poznatky tvoří sofistikovanou, spletitou a vzájemně se podpírající síť myšlenek, bude stále se opakujícím tématem následujících částí knihy.

Než tuto přehru uzavřu, musím doplnit jednu důležitou výhradu. Jakmile začneme uvažovat o prostoru v gigantických kosmických měřítkách, což se právě chystáme učinit, nebo ho začneme měřit s mimořádnou přesností, třeba v blízkosti černých děr, přestane eukleidovská geometrie odpovídat realitě. Albert Einstein ve své speciální a obecné teorii relativity (zformulované v roce 1905, respektive 1915) teoreticky odhalil její nedostatky, a dokonce navrhl, jak její meze překonat. Od té doby byly jeho teoretické myšlenky potvrzeny bezpočtem experimentů.

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy Deset klíčů k realitě.  
Pokud se Vám ukázka líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.