ÚVOD

Bylo tu toho tolik ke grokování, a přitom tak málo z čeho grokovat.

ROBERT A. HEINLEIN,
Cizinec v cizí zemi[2]

Kdesi ve východoafrické savaně číhá stárnoucí lvice na svou večeři. Dává sice přednost starším a pomalejším obětem, ale mladá zdravá antilopa je pro ni v této chvíli jedinou možností. Ostražité oči antilopy umístěné po stranách hlavy se ideálně hodí k prohlížení okolní krajiny, sledují, nehrozí-li útok některého z predátorů. Oči šelmy naopak upřeně hledí kupředu, umožňují lvici přilepit se na oběť a měřit vzdálenost.

Tentokrát širokoúhlá světla antilopy predátora přehlédla a samec vkročil do útočného pásma lvice. Ta silou zadních nohou ihned vystřelila směrem k vyděšené kořisti. Začal další nekonečně dlouhý závod.

Velká kočka, ačkoli už má svůj věk, je přece jen zdatnější běžec. Vzdálenost mezi šelmou a obětí se nejprve snižuje, ale silné a rychlé nohy lvice se postupně podlamují nedostatkem kyslíku. Díky své přirozené vytrvalosti antilopa záhy zvítězí; v určitou chvíli se prohodí znaménko relativní rychlosti kočky a její kořisti a vzdálenost zase začne narůstat. Ve chvíli, kdy lvice zjistí, že se od ní štěstěna odvrátila, její královská výsost uzná porážku a odplíží se zpět do křovin.

* * *

Před padesáti tisíci lety spatřil unavený lovec vchod do jeskyně, v cestě mu však stál velký balvan. Člověk sice konečně našel bezpečné místo, ale těžkou překážku bylo třeba odstranit. Na rozdíl od opičích předků stojí lovec zpříma. Ve stoje, seč mu síly stačí, tlačí do kamene, není ale úspěšný. Zaujme proto lepší postoj, postaví se z jiného úhlu, jednu nohu položí na zem dále od kamene. Jakmile je jeho tělo takřka ve vodorovné poloze, působí už mnohem větší složka vyvinuté síly ve správném směru. Balvan se pohne.

Vzdálenost? Rychlost? Změna znaménka? Úhel? Síla? Složka? Copak v mozku nevzdělaného lovce, nebo dokonce kočky, proběhly takhle sofistikované výpočty? Vždyť jsou to technické pojmy, se kterými se setká člověk obyčejně až ve školních učebnicích. Kde se naučila kočka odhadnout rychlost své oběti a také – což je ještě důležitější – rychlost relativní? Absolvoval snad lovec kurz fyziky, kde porozuměl pojmu síly? A kurz trigonometrie, s jehož pomocí pak spočítal siny a kosiny složek sil?

Věc se má tak, že všechny složité formy života mají tyto fyzikální pojmy v sobě zabudované instinktivně. Do nervového systému jim je zapojila evoluce.[3] Bez tohoto předprogramovaného fyzikálního softwaru by pokročilejší živočichové vůbec nedokázali přežít. Díky mutacím a přirozenému výběru se stali z nás všech, i zvířat, fyzici. A velký mozek dovolil člověku tyto instinkty rozvinout v pojmy, s nimiž může pracovat i na úrovni vědomí.

Nutná mozková přepojení

Ve skutečnosti jsme všichni *klasičtí*[4] fyzici. Vnitřně cítíme sílu, rychlost i zrychlení. Ve vědeckofantastickém románu *Cizinec v cizí zemi* (1961) vymyslel Robert Heinlein slovo, které vyjadřuje tento typ hlubokého, intuitivního, téměř tělesného chápání jevů: grokovat. Grokuji sílu, rychlost i zrychlení. Grokuji třírozměrný prostor. Grokuji čas i číslo 5 ⁙. Grokovatelné jsou trajektorie kamene či oštěpu. Jenže můj vestavěný, na běžné problémy vyladěný grokr selhává, když se snažím použít ho k představě desetirozměrného prostoročasu, čísla 10^{1000} nebo (a zde se mozek zasekne ještě hůř) k pochopení světa elektronů či Heisenbergova principu neurčitosti.

Na sklonku 20. století došlo k masivnímu selhání intuice: fyzikům začaly náhle plést hlavu naprosto neznámé jevy. Mému dědovi z otcovy strany bylo deset let, když Albert Michelson a Edward Morley zjistili, že není možné zaznamenat orbitální pohyb Země přes hypotetický éter.[5] Lidé objevili elektron, když dědovi bylo něco přes dvacet; měl po třicítce, když Albert Einstein publikoval speciální teorii relativity, a byl ve středním věku, když Heisenberg přišel s principem neurčitosti. Evoluční tlak prostě nemohl dát vzniknout instinktivnímu chápání takovýchto radikálně odlišných světů. Jakási záklopka v našich neuronových sítích, alespoň u některých z nás, se však odjistila, což umožnilo neuvěřitelné přepojení některých spojů v mozku. Výsledkem je, že se můžeme o tyto podivné jevy nejen zajímat, ale také vytvářet matematické abstrakce – nové, silně neintuitivní koncepce – pomocí nichž s novou fyzikou zápasíme a objasňujeme ji.

První přepojení muselo přijít u pojmu rychlosti, a to když se začalo hovořit o vysokých rychlostech, jež se blíží rychlosti prchavého paprsku světla. Do 20. století nedosáhl žádný tvor na Zemi rychlosti vyšší než 150 kilometrů za hodinu – a i dnes se světlo v porovnání s jinými věcmi kolem nás pohybuje natolik zběsile, že pro jiné než vědecké účely se nepohybuje vlastně vůbec: prostě se zdá, že při zapnutí vypínače se prostorem rozprostře okamžitě. První lidé nepotřebovali mít své pevně zapojené mozkové obvody naladěny na ultravysoké rychlosti, jako je rychlost světla.

Nutnost začít pojem rychlosti chápat jinak přišla jako blesk z čistého nebe. Einstein nebyl žádný mutant; než nahradil stará newtonovská zapojení, tápal v temnotě celá desetiletí. Jiným fyzikům té doby muselo ale připadat, že se mezi nimi náhle vynořil nový druh člověka – někdo, kdo neviděl svět v jazyce trojrozměrného prostoru, ale v rámci čtyřrozměrného *prostoročasu*.

Einstein zápolil s vrozeným naprogramováním lidského mozku i další desetiletí – tentokráte už za přímého přihlížení dalších fyziků – a pokoušel se sjednotit speciální teorii relativity s Newtonovou teorií gravitace. Z jeho snažení vzešla obecná teorie relativity, která podstatně změnila tradiční představy o geometrii. Prostoročas se rázem stal něčím ohebným, zakřiveným a zvlněným. Reagoval na existenci hmoty takřka stejně jako gumová látka na tlak. Až do té doby byl prostoročas chápán jako pasivní a jeho geometrické vlastnosti byly neměnné. V obecné teorii relativity se naopak změnil v aktivního hráče: masivní objekty jako planety a hvězdy mohou prostoročas deformovat. To si ale nejde představit jen tak – ne bez spousty dodatečné matematiky.

V roce 1900, pět let před vstupem Einsteina na scénu, se začalo v základech otřásat další, ještě přirozenější paradigma. Zjistilo se totiž, že světlo se skládá z částic zvaných fotony nebo někdy i světelných kvant. Fotonová teorie[6] světla představovala jen předzvěst nadcházející revoluce; potom už mentální gymnastika byla daleko abstraktnější než cokoli, s čím mělo lidstvo jakoukoliv zkušenost. Kvantová mechanika nebyla jen novým přírodním zákonem. Přinesla s sebou změny v pravidlech klasické logiky, tedy v základních pravidlech myšlení, jež každý rozumný člověk využívá k dedukcím. Vypadala prostě šíleně. Šílená nešílená, fyzikům se přesto podařilo přepojit spoje v mozku tak, aby byly v souladu s novou, kvantovou logikou. Vše, co budete potřebovat vědět o kvantové mechanice, vám vysvětlím ve 4. kapitole. Připravte se, že z ní budete mít těžkou hlavu. Každý ji má.

Relativita a kvantová mechanika jsou od počátku nepřátelé. Jejich svazek nebyl sňatkem z lásky – obě teorie se chtě nechtě musely vzít – a podle toho

to také od té chvíle vypadalo. Násilí se promítlo do matematiky, která při každé příležitosti vracela fyzikům na jejich otázky zběsilá nekonečna. Než se kvantová mechanika a speciální teorie relativity mezi sebou usmířily, muselo uběhnout půl století, avšak matematické rozepře byly nakonec urovnány. Richard Feynman, Julian Schwinger, Sin-Itiro Tomonaga a Freeman Dyson[7] počátkem padesátých let položili základy spojení *speciální* teorie relativity a kvantové mechaniky – vznikla tzv. kvantová teorie pole. Usmířit *obecnou* teorii relativity (Einsteinovo sloučení speciální teorie relativity a Newtonovy teorie gravitace) s kvantovou mechanikou se však přes velkou snahu stále nedařilo. Feynman, Steven Weinberg, Bryce DeWitt a John Wheeler se sice snažili „kvantovat" Einsteinovy rovnice gravitace, ale z jejich snahy vzešly pokaždé matematické nesmysly. To však nebylo nic překvapivého. Kvantová mechanika vládne světu velmi malých a lehkých objektů, na druhou stranu gravitace se zdála důležitá jen pro velmi masivní kusy hmoty. Zdálo se normální předpokládat, že v obou teoriích některé (pokaždé jiné) jevy prostě zanedbáváme. Následkem toho v druhé polovině 20. století považovala spousta fyziků honbu za sjednocenou teorií za zbytečnost, vhodnou tak akorát k tomu, aby se na ní mohli vyřádit blázni a filozofové.

Jiní však pokládali takový postoj za dost krátkozraký. Představa dvou neslučitelných – ba přímo protichůdných – teorií přírody jim připadala intelektuálně nepřijatelná. Věřili, že i v určování vlastností nejmenších stavebních kamenů hmoty hraje gravitace takřka jistě velkou roli. Problémem mělo být, že fyzici nepronikli do hmoty dostatečně hluboko. Tato představa se ukázala jako správná: „dole", ve sklepení světa, kde vzdálenosti jsou příliš malé, než aby je bylo možno pozorovat přímo, na sebe nejmenší objekty přírody působí mocnými gravitačními silami.

Fyzikové dnes obecně věří, že v zákonech elementárních částic budou gravitace i kvantová mechanika hrát rovnocennou úlohu. Rozměry základních stavebních kamínků přírody jsou však natolik malé, že by se nikdo neměl divit, pokud si jejich pochopení vyžádá další radikální přepojení v našem mozku. Nové zapojení, ať už bude jakékoli, se již dnes nazývá *kvantová gravitace.* I když kvantové gravitaci nebudeme ještě nějaký čas určitě rozumět do nejmenších podrobností, můžeme již dnes říct, že toto nové paradigma nutně zahrne velice neznámá pojetí prostoru a času. Objektivní realita bodů prostoru a pojem okamžiků času je na ústupu. Tyto koncepce tak následují cestu, která rozbila pojmy současnosti[8], determinismu[9] a další archaismy. Kvantová mechanika popisuje mnohem subjektivnější realitu, než jsme si byli s to kdy představit. Jak uvidíme v 18. kapitole, realita je v mnoha ohledech něco jako trojrozměrná holografická iluze.

Teoretičtí fyzici se snaží v zemi neznámé získat pevnou půdu pod nohama. Stejně jako v minulosti i nyní vynesly myšlenkové experimenty na světlo paradoxy a spory mezi fundamentálními fyzikálními principy. Tato knížka se věnuje intelektuální bitvě odstartované právě jedním takovým myšlenkovým experimentem. V roce 1976 si Stephen Hawking představil, jak do černé díry hází trochu informací – knihu, počítač nebo jen elementární částici. Hawking věřil, že černé díry jsou konečné pasti, a že informační bit by proto měl být nenávratně ztracen a odstřižen od vnějšího světa. Toto zdánlivě nevinné přesvědčení nebylo vůbec nevinné; hrozilo, že podryje a strhne celou stavbu moderní fyziky. Něco bylo sakramentsky v nepořádku; nejzákladnější zákon přírody – zachování informací – byl ve vážném nebezpečí. Kdo dával pozor, věděl, že Hawking se buď mýlí, nebo nefunguje tři století staré srdce moderní fyziky.

V prvních chvílích zajímal tento problém kupodivu jen málokoho. Po téměř dvě desetiletí se spory vedly většinou mimo pozornost zbytku fyzikální obce. Na jedné straně intelektuální barikády stála armáda složená ze skvělého nizozemského fyzika Gerarda 't Hoofta a mě. Na druhé straně byl Stephen Hawking s malou skupinou svých příznivců. Většina teoretických fyziků – zvláště strunových teoretiků – se probudila až počátkem devadesátých let. Začala snaha vypořádat se s nebezpečím, které se skrývalo v Hawkingově tvrzení. Po většinu času fyzici tápali, ale nakonec uspěli.

Válka o černé díry byla jedinečnou vědeckou rozepří – nešlo o žvanění, jakými jsou pseudodebaty nad inteligentním designem nebo globálním oteplováním. Tyto šarlatánské diskuse, namíchané politickými manipulátory k matení naivní veřejnosti, neodrážejí žádné skutečné vědecké argumenty. Naproti tomu rozkol ohledně černých děr se nacházel v samém jádru vědy. Eminentní teoretičtí fyzici se nemohli shodnout, kterým z fyzikálních principů důvěřovat a kterých se vzdát. Mají následovat Hawkinga a jeho konzervativní pohled na prostoročas, nebo 't Hoofta a mě a náš konzervativní pohled na kvantovou mechaniku? Každý úhel pohledu očividně vedl jen k dalším paradoxům a rozporům. Buď prostoročas – jeviště, na kterém se odehrávají zákony přírody – nebyl tím, za co jsme ho měli, nebo byly chybné posvátné principy entropie a informace. Zase nás oklamaly miliony let kognitivní evoluce a pár set let fyzikálních zkušeností. Opět jsme zjistili, že se musíme smířit s nutností nového přepojení naší mysli.

Válka o černé díry je oslavou lidského ducha a jeho pozoruhodné schopnosti objevovat zákony přírody. Líčí svět našim smyslům mnohem vzdálenější než kvantová mechanika a relativita. Kvantová gravitace se zabývá objekty sto miliard miliardkrát menšími než proton. S takto titěrnými věcmi jsme se nikdy přímo

nesetkali a pravděpodobně ani nesetkáme, ale lidský důmysl nám umožnil přijít na jejich existenci – a jak jsme navíc s překvapením zjistili, bránami do takového světa jsou objekty s obrovskými hmotnostmi i rozměry: černé díry.

Válka o černé díry je též kronikou objevů. Holografický princip je jedním z těch nejméně intuitivních abstrakcí celé fyziky. Představuje vyústění více než dvacet let trvajícího válečného konfliktu lidských mozků ohledně osudu informací padajících do černé díry. Nebyla to válka rozeštvaných nepřátel, její hlavní účastníci jsou ve skutečnosti všichni přátelé. Šlo nicméně o zuřivé zápolení myšlenek mezi lidmi, kteří se sice hluboce respektují, ale také spolu zásadně nesouhlasí.

Existuje jeden velmi rozšířený názor, který musím vyvrátit. Lidé si představují fyziky, zejména ty teoretické fyziky, jako šprty a suchary, kteří se zajímají o věci mimozemské, nelidské a nudné. To je ale naprostá hloupost. Ti skvělí fyzici, které znám – a že jich je hodně – jsou obvykle extrémně charismatičtí lidé se silným zápalem pro věc a s fascinující myslí. Rozdíly mezi jejich osobnostmi a tím, jak ve svém oboru přemýšlejí, mě nepřestávají udivovat. Psát o fyzice pro širší publikum a z textu vyloučit tuto lidskou stránku mi proto připadá takové nemastné neslané; opomíjí se tím prostě to zajímavé. Proto jsem se snažil při psaní této knihy zachytit vedle vědecké stránky i emocionální část příběhu.

Poznámka o velkých a malých číslech

Při čtení této knihy narazíte na spoustu hodně velkých a hodně malých čísel. Lidský mozek se nevyvinul, aby si představoval čísla větší než 100 nebo menší než 1/100. Tento nedostatek však můžeme zlepšit tréninkem. Protože jsem zvyklý pracovat s čísly, můžu si například víceméně představit, co je milion, ale rozdíl mezi bilionem a biliardou je už za hranicí i mé představivosti. Spousta čísel v této knize je přitom větší než bilion či biliarda. Jak se v nich tedy orientovat? Klíč leží v jednom z největších mozkových přepojení všech dob: ve vynálezu *exponentů* a *vědeckého zápisu*.

Začněme s docela velkým číslem. Populace lidí na Zemi činí asi šest miliard. Jedna miliarda je číslo 10 znásobené samo sebou devětkrát. Můžeme ji vyjádřit také jako jedničku následovanou devíti nulami.

Jedna miliarda = 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 = 1 000 000 000

Zkrácený zápis pro číslo deset znásobené sebou devětkrát je 10^9, což čteme jako *deset na devátou*. Tudíž populace Země je zhruba dána výrazem

$$6 \text{ miliard} = 6 \times 10^9.$$

V tomto případě číslu 9 říkáme exponent.

Teď přichází mnohem větší číslo: celkový počet protonů a neutronů na Zemi.

Počet protonů a neutronů na Zemi (přibližně) = 5×10^{51}.

Toto číslo je zřejmě mnohem větší než počet lidí na Zemi. Kolikrát větší? Deset na padesátou první je složeno z desítky vynásobené sebou 51krát. Miliarda ale vznikne z desítky vynásobené sebou jen devětkrát. Takže 10^{51} má oproti 10^{9} exponent vyšší o 42. Proto počet neutronů a protonů na Zemi je asi 10^{42}krát větší než počet lidí. (Všimněte si, že jsem v předchozích výrazech ignoroval násobitele 5 a 6. Pětka a šestka se od sebe moc neliší, takže když chcete jen hrubý „řádový odhad“, můžete je ignorovat.)

Vezměme si dvě opravdu velká čísla. Celkový počet elektronů v té části vesmíru, kterou můžeme pozorovat nejsilnějšími dalekohledy, je asi 10^{80}. Celkový počet fotonů[10] je asi 10^{90}. Číslo 10^{90} nemusí vypadat o moc větší než 10^{80}, ale pocit klame: 10^{90} je 10^{10}krát větší – a 10 000 000 000 je velmi vysoké číslo. Vlastně i 10^{80} a 10^{81} vypadají skoro stejně, ale druhé číslo je desetkrát větší než první. Takže i malá změna v exponentu může ve výsledku znamenat enormní změnu velikosti čísla, které tento zápis reprezentuje.

Teď se chvíli věnujme velmi malým číslům. Velikost atomu je asi sto miliardtin metru. V desetinném zápise:

Velikost atomu = 0,0000000001 metru.

Všimněte si, že jednička se nalézá na desátém desetinném místě. Vědecký zápis tohoto čísla je složen ze záporného exponentu, v tomto případě –10.

$$0{,}0000000001 = 10^{-10}$$

Čísla se zápornými exponenty jsou malá a čísla s exponenty kladnými velká.

Zkusme ještě jedno malé číslo. Elementární částice, jako elektrony, jsou ve srovnání s obyčejnými předměty velice lehké. Kilogram je hmotnost odpovídající asi litru vody. Hmotnost elektronu je neporovnatelně menší. Ve skutečnosti hmotnost jediného elektronu činí asi 9×10^{-31} kilogramů.

Ve vědeckém zápise je násobení a dělení čísel velmi jednoduché. Stačí, když budete sčítat a odčítat exponenty.

Pár příkladů níže:

$$10^{51} = 10^{42} \times 10^{9}$$

$$10^{81} \div 10^{80} = 10$$

$$10^{-31} \times 10^{9} = 10^{-22}$$

Exponenty nejsou jediným možným zkráceným zápisem, který lidé používají k popisu nesmírně velkých čísel. Některá z těchto čísel mají i svá vlastní jména. Například *googol* je 10^{100} (jednička následovaná stovkou nul) a *googolplex* je 10^{googol} (jednička a za ní googol nul), což je nesrovnatelně větší číslo.

S těmito základy se vydejme do jaksi méně abstraktního světa – v tomto případě do San Franciska v době, kdy prezident Ronald Reagan byl ve třetím roce svého prvního volebního období, studená válka dosahovala horečnatého vrcholu a další válka visela ve vzduchu.