

BRIAN GREENE



AŽ DO KONCE ČASU

VĚDOMÍ, HMOTA A NAŠE HLEDÁNÍ
SMYSLU VE VESMÍRU

Až do konce času

Vyšlo také v tištěné verzi

**Pa
se
ka**

Brian Greene

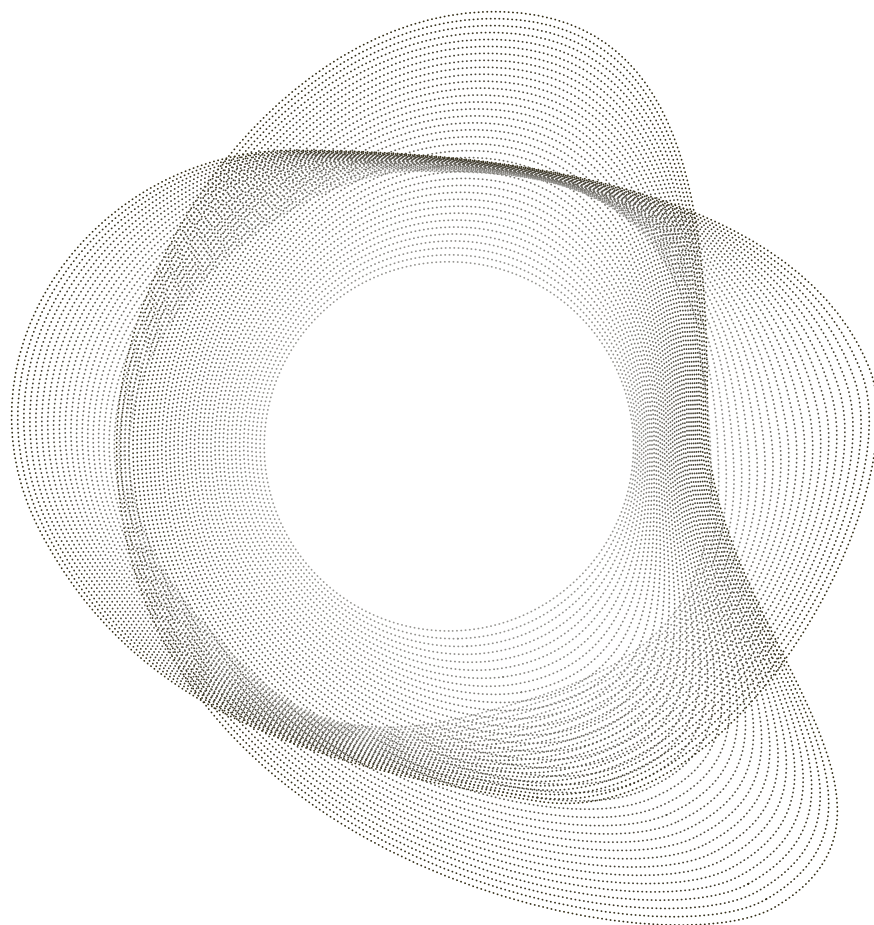
Až do konce času – e-kniha

Copyright © Paseka, 2021

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.

BRIAN GREENE

AŽ DO KONCE ČASU



VĚDOMÍ, HMOTA A NAŠE
HLEDÁNÍ SMYSLU VE VESMÍRU

NAKLADATELSTVÍ PASEKA

Přeložil David Petřů

UNTIL THE END OF TIME
Copyright © 2020 by Brian Greene
All rights reserved
Translation © David Petřů, 2021

ISBN tištěné knihy: 978-80-7637-209-2
ISBN ePUB: 978-80-7637-296-2
ISBN MOBI (Kindle): 978-80-7637-298-6
ISBN PDF: 978-80-7637-297-9

Věnováno Tracy

OBSAH

Předmluva ——— 9

1. Lákadlo věčnosti ——— 15

Začátky, konce a něco navíc

2. Jazyk času ——— 31

Minulost, budoucnost a přeměna

3. Počátek a entropie ——— 59

Od stvoření ke struktuře

4. Informace a vitalita ——— 85

Od struktury k životu

5. Částice a vědomí ——— 137

Od života k mysli

6. Jazyk a příběh ——— 187

Od mysli k představivosti

7. Mozky a víra ——— 219

Od představivosti k posvátnu

8. Pudy a tvůrčí duch ——— 255

Od posvátna k úžasnu

9. Trvání a pomíjivost ——— 283

Od úžasna k poslední myšlence

10. Soumrak času ——— 321

Kvanta, pravděpodobnost a věčnost

11. Ušlechtilost bytí ——— 355

Mysl, hmota a smysl

Poděkování ——— 373

Poznámky ——— 375

Literatura ——— 446

Rejstřík ——— 470

Předmluva

„Věnuju se matematice, protože jak se jednou dokáže, že matematická věta platí, tak platí navždycky.“¹ Toto tvrzení, jednoduché a jednoznačné, mi vyrazilo dech. Byl jsem tehdy ve druhém ročníku na vysoké a zmínil jsem se jednomu svému staršímu příteli, který mě řadu let zasvěcoval do rozsáhlých oblastí matematiky, že na kurz psychologie píšu esej o lidské motivaci. Jeho poznámka mi změnila život. Až do té chvíle jsem na matematiku takto vůbec nepohlížel. Byla to pro mě úžasná abstraktní, puntičkářská hra, pěstovaná zvláštní komunitou lidí, kteří se náramně baví pointami založenými na druhé odmocnině nebo dělení nulou. Díky jeho poznámce však všechny dílky skládačky najednou zapadly na své místo. *No jo*, proběhlo mi hlavou, *v tomhle je skutečná krása matematiky*. Tvůrčí myšlení svázané logikou a sadou axiomů vymezuje mantinely, v nichž lze upravovat a kombinovat naše úvahy tak, aby nás dovedly k nezpochybnitelným pravdám. Slavná Pythagorova věta platí pro každý pravoúhlý trojúhelník narýsovaný kdykoli před Pythagorem nebo po něm. Bez výjimek. Jistě, můžete změnit výchozí předpoklady a pustit se do průzkumu nových oblastí, například trojúhelníků narýsovaných na zakřivený povrch, třeba na basketbalový míč, kde Pythagorovy závěry platit nebudou. Ale stačí stanovit jasné podmínky, pečlivě po sobě všechno překontrolovat,

a výsledky se mohou tesat do kamene. Není třeba kvůli tomu šplhat na vrcholky hor, přecházet pouště nebo dobývat podsvětí. K tomu, abyste se navždy zapsali do dějin, stačí pohodlně sedět u stolu a mít k dispozici tužku, papír a bystrou mysl.

Tato perspektiva mi odhalila nové obzory. Do té doby jsem se nikdy pořádně nezamyslel nad tím, proč mě vlastně matematika a fyzika tolik přitahují. Odjakživa mě lákalo řešení problémů, poznávání, jak je vesmír poskládaný dohromady. A teď jsem si uvědomil, že mě k těmto disciplínám táhne ještě něco – to, jak se nehybně tyčí nad pomíjivostí každodenního života. Ačkoli byly moje mladistvé představy nejspíš přehnané, nastavily mi jasný kurz: byl jsem na jednu pevně rozhodnutý vydat se společně s ostatními na cestu vstříc poznatkům tak zásadním, že se nikdy nezmění. Ať si vlády padají a vznikají nové, ať Světový pohár vyhrává ten nebo onen, ať se filmové, televizní a divadelní hvězdy střídají na výsluní. Já chtěl v životě spatřit něco trvalejšího.

Ze všeho nejdřív jsem ale potřeboval napsat ten esej na psychologii. Zadáním bylo formulovat teorii, proč my lidé děláme to, co děláme, ale ať jsem na to šel z kterékoli strany, pokaždé jsem dokázal dát dohromady jen velmi mlhavou odpověď. Připadalo mi, že když rozumně působící myšlenky zabalím do toho správného jazyka, můžu napsat prakticky cokoli. Zmínil jsem se o tom u večere na koleji a jeden starší student mi poradil, ať se podívám na *Zánik Západu* Oswalda Spenglera. Tento německý historik a filozof se dlouhodobě zajímal jak o společenské vědy, tak o matematiku – nepochybně právě proto mi dotyčný jeho knihu doporučil.

Názory, které knize vysloužily slávu i opovržení – předpovědi politického kolapsu, skrytá podpora fašismu –, jsou hluboce znepokojivé a od doby svého zveřejnění byly využity k podpoře nejedné zákeřné ideologie, já jim však vzhledem ke svému úzce vymezenému zájmu nevěnoval pozornost. Namísto toho mě nadchla Spenglerova vize sady všeobjímajících principů, které by mohly odhalit jednotné skryté vzorce platné v rozličných kulturách a srovnatelné se vzorci matematické analýzy a eukleidovské geometrie, které

proměnily naše chápání ve fyzice a matematice.² Spengler hovořil mým jazykem. Fascinovalo mě, že pojednání o dějinách se při hledání šablony pokroku obrací k matematice a fyzice. Potom však přišel postřeh, který mě skutečně zaskočil: „Člověk je jediná bytost, která zná smrt. Všechny ostatní stárnou, ale s vědomím veskrze omezeným na okamžik, který se jim musí zdát věčný.“ Tímto poznáním se lidem vštěpuje „čistě lidská úzkost ze smrti“. Spengler z toho vyvodil, že „odsud vychází každé náboženství, každé zkoumání přírody, každá filosofie“.³

Vzpomínám si, jak jsem přemítal o té poslední větě. Tento pohled na lidskou motivaci mi dával smysl. Kouzlo matematického důkazu je nejspíš v tom, že platí navěky. Působení přírodního zákona je patrné v jeho nadčasovosti. Co nás však pohání k tomu, abychom po této věčné platnosti a nadčasovosti tolik prahli? Možná to všechno souvisí právě s naším ojedinělým uvědoměním, že sami vůbec nadčasoví nejsme, že náš život najisto věčně nepotrvá. Tato představa souzněla s mým novým pohledem na matematiku, fyziku a lákadlo věčnosti a připadalo mi, že mě navedla na správný kurz. Šlo o přístup, který lidskou motivaci vnímal jako logickou reakci na poznání neodbytné skutečnosti. Šlo o přístup, který byl něčím víc než nahodilou myšlenkou oděnou do správných slov.

Čím víc jsem o tomto závěru přemítal, tím ve mně narůstal pocit, že slibuje ještě něco většího. Věda, jak uváděl Spengler, je jen jednou z odpovědí na vědomí nevyhnutelného konce. Další je náboženství. A další filozofie. Ale proč bychom se tady měli zastavit? Podle Otto Ranka, jednoho z prvních Freudových žáků, jehož fascinovala lidská kreativita, bychom rozhodně neměli. Umělec je podle Ranka člověk, jehož „tvůrčím impulzem... je snažit se o proměnu pomíjivého života v osobní nesmrtelnost“.⁴ Jean-Paul Sartre zašel ještě dál a prohlásil, že život sám přijde o veškerý význam, „když jsme ztratili iluzi věčnosti“.⁵ Tito myslitelé i další, kteří následovali po nich, tedy podporovali představu, že většina lidské kultury – od umělecké tvorby až po vědecké bádání – je důsledkem života, jenž se snaží vypořádat s vlastní konečností.

To je hloubka, panečku. Kdo by byl tušil, že posedlost vším, co souvisí s matematikou a fyzikou, může člověka přivést až k vizím sjednocené teorie lidské civilizace poháněné plodnou dualitou života a smrti?

No dobrá. Zhluboka se nadechnu a připomenu svému dávnému studentskému já, ať se nenechává příliš unést. Na druhou stranu musím poznamenat, že vzrušení, které jsem tehdy cítil, nebyl jen pomíjivý intelektuální úžas. Tato témata mě provázejí už bezmála čtyři desetiletí, byť často dočasně odstavená na vedlejší kolej mých duševních pochodů. Zatímco ve svém každodenním bádání se zabývám sjednocenými teoriemi a počátky vesmíru, při přemítání o širším významu vědeckých pokroků se opakovaně vracím k otázkám času a jeho omezeného množství, jež je každému z nás vyměřeno. V důsledku svého vzdělání i své povahy jsem obecně skeptický vůči všeobjímajícím vysvětlením – fyzika je plná neúspěšných sjednocených teorií přírodních sil –, zejména v komplexním světě lidského chování. A skutečně jsem dospěl k závěru, že ačkoli vědomí mého nevyhnutelného konce má značný vliv na spoustu věcí, které dělám, rozhodně jím nelze vysvětlit úplně všechno. Předpokládám, že to ve větší či menší míře platí pro většinu lidí. Přesto existuje jedna oblast, v níž se stín smrtelnosti projevuje obzvláště výrazně.

Ve všech kulturách a historických epochách si lidé vysoce cení trvalosti. Lze to doložit bezpočtem příkladů: jeden hledá absolutní pravdu, druhý touží zanechat nehynoucí odkaz, další staví působivé monumenty, jiní pátrají po neměnných zákonitostech a ještě další se horlivě obracejí k té či oné verzi věčného. Věčnost, jak tyto činnosti ukazují, má mocný vliv na mysl, která si je vědoma své omezené hmotné existence.

V naší éře se vědcům vybaveným nástroji experimentů, pozorování a matematické analýzy podařilo otevřít novou cestu do budoucnosti, cestu, která nám poprvé odhalila hlavní rysy finálního, byť stále značně nejasného obrazu našeho světa. Přestože je pořád na mnoha místech rozpíjý či rozostřený, jeho celková podoba začíná být dostatečně zřetelná na to, abychom si my, uvažující tvorové,

mohli udělat mnohem lepší představu než kdykoli dřív, jak zapadáme do nezměrné rozlohy času.

V tomto duchu se na následujících stranách projdeme po časové ose vesmíru a prozkoumáme fyzikální principy, které ve světě předurčeném k zániku daly vzniknout uspořádaným strukturám, od hvězd a galaxií až po život a vědomí. Zamysleme se nad argumenty, podle nichž jsou omezenou délkou existence postiženi nejen lidé, ale i sám jev života a inteligence ve vesmíru. Skutečně je velmi pravděpodobné, že v jistém okamžiku nebude existence jakékoli uspořádané hmoty možná. Prozkoumáme, jak se uvažující tvorové vypořádávají s napětím, jež z tohoto uvědomění vyplývá. Rodíme se díky zákonům, které, alespoň se zdá, jsou nadčasové, a přece existujeme jen kratičkový zlomek času. Řídí nás zákony, které nemají žádný cíl, a přece se sami sebe neustále ptáme, kam spějeme. Formují nás zákony, pro něž podle všeho neexistuje žádný hlubší důvod, a přece ve všem neúnavně hledáme smysl a účel.

Zkrátka si prohlédneme vesmír od počátku času až po cosi srovnatelného s jeho koncem a cestou prozkoumáme, jakými úžasnými způsoby naše neposedná a vynalézavá mysl odhalovala pomíjivost všeho a jak na ni reagovala.

Při našem bádání nás povedou postřehy z nejrůznějších vědeckých disciplín. Pomocí analogií a metafor si všechny nezbytné myšlenky vysvětlíme laickými slovy, s přispěním jen těch nejzákladnějších vědomostí. U obzvláště složitých představ připojíme stručné shrnutí, které vám umožní pokračovat a neztratit nit. V závěrečných poznámkách pak určité věci rozebereme obsírněji, objasníme konkrétní matematické podrobnosti a přidáme odkazy a náměty k další četbě.

Protože zvolené téma je nesmírně obsáhlé a počet našich stránek omezený, rozhodl jsem se vydat jen po úzké pěšině a zastavovat na rozličných křižovatkách, které považuji za podstatné pro poznání našeho místa v širším kosmologickém příběhu. Tuto cestu nám umožnila věda, význam jí dodává naše lidství a je zdrojem neutu-
chajícího a obohacujícího dobrodružství.

1

Lákadlo věčnosti

ZAČÁTKY, KONCE A NĚCO NAVÍC

Od počátku do konce času všechno, co žije, také zemře. Více než tři miliardy let, zatímco si jednoduché i složité organismy hledaly místo v pozemské hierarchii, dopadal na pučící život neustále stín kopy smrti. Čím dál rozmanitější formy života vylezly z oceánů, ovládly souš a vznesly se do nebes. Účetní kniha života a smrti, s větším množstvím položek, než kolik je hvězd v Galaxii, však dříve či později s nezáujatou přesností vždy vyrovná účet. Průběh žádného jednotlivého života nelze předpovídat. Konečný osud každého jednotlivého života je předem pevně daný.

A přece se zdá, že si tohoto konce, stejně nevyhnutelného jako západ slunce, jsme vědomi jenom my lidé. Dlouho před naším příchodem každé dunivé zahřmění bouřkových mračen, každý zuřivý výbuch sopky, každý mocný záchvěv třesoucí se země jistě pobídly k úprku všechno, co bylo úprku schopno. Jenže takový útěk je čistě instinktivní reakcí na momentální nebezpečí. Většina života žije přítomným okamžikem a strach se v něm rodí z bezprostředních vjemů. Jenom vy a já a ostatní našeho druhu dokážeme přemítat o vzdálené minulosti, představovat si budoucnost a chápat temnotu, která nás čeká.

Jde z ní hrůza. Ne taková, při níž sebou trháme nebo se rozběhneme do úkrytu. Spíš je to neblahé tušení, které tiše žije uvnitř v nás, a my se ho naučíme potlačovat, přijímat, zlehčovat. Ale pod těmito ochrannými vrstvami vytrvale sídlí znepokojivá realita toho, co nás čeká, vědomost, kterou William James popsal jako „červa hlodajícího přímo na jádře našich obvyklých zdrojů rozkoše“.¹ Pracovat a bavit se, přát si a usilovat, toužit a milovat, to vše nás čím dál pevněji vplétá do tapiserie našich sdílených životů, a jestli to má potom všechno zmizet – inu, abychom parafrázovali Stevena Wrighta, to by člověka dokázalo vyděsit napůl k smrti. Dvakrát.

Většina z nás se samozřejmě v zájmu zachování zdravého rozumu na konec neupíná. Procházíme světem a soustředíme se na světské záležitosti. Přijímáme nevyhnutelné a energii věnujeme jiným věcem. Nicméně poznání, že náš čas je omezený, je neustále s námi, ovlivňuje, jaká rozhodnutí děláme, jaké cíle si stanovujeme, po jakých cestách se dáваме. Jak prohlásil kulturní antropolog Ernest Becker, jsme vystaveni neustálému existenciálnímu napětí, přitahování k nebesům intelektem, jenž může vystoupat do výšin Shakespeara, Beethovena či Einsteina, ale zároveň připoutání k zemi tělesnou schránkou, která se jednou rozpadne v prach. „Člověk je doslova rozpolcen ve dvě: uvědomuje si svou úchvatnou jedinečnost, díky níž v přírodě majestátně ční nade vše ostatní, a přece se vrací pár stop pod zem, aby tu slepě a němě zetlel a zmizel navždy.“² Podle Beckera nás toto uvědomění pohání, abychom smrti odepřeli možnost nás nadobro vymazat. Někteří těmto existenciálním touhám ulevují oddaností rodině, týmu, hnutí, náboženství nebo národu – tedy konstruktům, které přežijí dobu přidělenou na tomto světě danému jedinci. Jiní po sobě zanechávají osobité výtvořky, artefakty, které symbolicky prodlouží trvání jejich přítomnosti. „Utíkáme se ke Kráse,“ píše Emerson, „coby útočišti před hrůzami konečné přírody.“³ Další se snaží porazit smrt vítězením či dobýváním, jako by postavení, moc a bohatství poskytovaly imunitu nedostupnou běžným smrtelníkům.

Jedním z důsledků byla v průběhu tisíciletí fascinace vším, ať skutečným či smyšleným, co souvisí s nekonečností. Od prorocktví posmrtného života přes učení o reinkarnaci až po modlitební mlýnky poháněné větrem jsme vyvíjeli strategie, jak se bránit vědomí vlastní pomíjivosti a – často s nadějí, někdy s odevzdáním – vzhlížet k věčnosti. Teprve v dnešní době nám pozoruhodná moc vědy přinesla srozumitelný příběh nejen o minulosti, počínaje velkým třeskem, ale také o budoucnosti. Samu věčnost naše rovnice nejspíš nikdy zachytit nedokážou, zato už nám analýzy odhalily, že vesmír, jak ho dnes známe, je také pomíjivý. Nic, od planet po hvězdy, od slunečních soustav po galaxie, od černých děr po vířící mlhoviny, nevydrží navěky. Ba zdá se, že konec nečeká jen každý jednotlivý život, ale i život jako takový. Planeta Země, kterou Carl Sagan popsal jako „zrnko prachu lapené ve slunečním paprsku“, je prchavým kvítkem v překrásném vesmíru, který nakonec zůstane dočista pustý. Zrnka prachu, blízká či vzdálená, tančí ve slunečních paprscích jen okamžik.

Přesto jsme tady na Zemi během svého okamžiku dosáhli úžasných věcí na poli poznání, tvořivosti a vynalézavosti – každá generace, s pomocí úspěchů generací předešlých, touží objasnit, jak to všechno začalo, pochopit, kam to všechno spěje, a najít odpověď na otázku, proč na tom všem záleží.

A o tom všem je tato kniha.

PŘÍBĚHY O TĚMĚŘ VŠEM

Jsmo živočišný druh, který si libuje v příbězích. Pozorujeme realitu, všímáme si zákonitosti a spřádáme je do narativů, které dokážou uchvátit, poučit, vylekat, pobavit i dojmout. Množné číslo – narativy – je tu nesmírně důležité. V knihovně lidských úvah nenajdeme pouze jediný, sjednocený svazek, který by zprostředkoval veškeré poznání. Namísto toho jsme napsali spoustu provázaných příběhů, jež zkoumají rozličné oblasti lidského pátrání a zkušenosti: příběhy, jež rozebírají zákonitosti reality pomocí rozdílné gramatiky

a slovní zásoby. Protony, neutrony, elektrony a další elementární částice jsou nezbytné k vyprávění redukcionistického příběhu, který analyzuje realitu, od planet po Picassa, na úrovni jejich mikrofyzikálních složek. Metabolismus, replikace, mutace a adaptace jsou nezbytné k vyprávění příběhu o vzniku a vývoji života, příběhu, který analyzuje biochemické chování pozoruhodných molekul a buněk, jež ovládají. Neurony, informace, myšlenky a vědomí jsou nezbytné pro příběh o mysli – a tady se narativy množí dál: od mýtů po náboženství, od literatury po filozofii, od výtvarného umění po hudbu, vše vypráví o lidském boji o přežití, vůli k poznání, touze po vyjádření a pátrání po smyslu.

Žádný z těchto příběhů není uzavřený, všechny nadále rozvíjejí myslitelé ze široké škály rozličných oborů. To je pochopitelné. Sága, která obsahuje vše od kvarků až po vědomí, musí být pořádně tlustá bichle. Přesto jsou jednotlivé příběhy navzájem propojené. *Don Quijote* vypráví o lidské touze po hrdinství, ústy křehkého Alonsa Quijana, postavy zrozené ve fantazii Miguela de Cervantese, živé, dýchající, myslící a vnímající soustavy kostí, tkání a buněk, která po dobu svého života umožňovala organické procesy přeměny energie a vylučování odpadu, jež zároveň závisely na pohybech atomů a molekul zdokonalených miliardami let evoluce na planetě stvořené z trosk po výbuchu supernovy roztroušených ve vesmírném prostoru, který vzešel z velkého třesku. Četbou o strážnících dona Quijota však získáme poznatky o lidské povaze, které by nám najisto zůstaly skryty, pokud by se líčení věnovalo pohybům molekul a atomů v těle potulného rytíře nebo pokud bychom sledovali spletitou činnost neuronů v Cervantesově mozku během psaní románu. Ačkoli spolu jednotlivé příběhy rozhodně souvisejí, je každý z nich vyprávěn jiným jazykem a věnuje se jiné úrovni reality, a proto také každý přináší zcela odlišné poznání.

Možná jednou dokážeme hladce přecházet z jednoho příběhu do druhého a propojíme všechny výtvořiny lidského myšlení, ty reálné i fiktivní, vědecké i imaginativní. Možná jednou zformulujeme sjednocenou teorii obsahující všechny jednotlivé přísady a s její pomocí

vysvětlíme mocnou obrazotvornost Rodinovu i bezpočet reakcí, které jeho *Občané z Calais* vyvolávají v divácích. Možná plně pochopíme, jak zdánlivě všední jev, záblesk světla na točícím se talíři, dokáže nastartovat pronikavou mysl Richarda Feynmana a dovést ho až k tomu, že přepíše základní fyzikální zákony. Ba co víc, možná jednou porozumíme fungování mysli a hmoty do takové míry, že pro nás nic nebude skrývat sebemenší tajemství, černé díry ani Beethoven, kvantová podivnost ani Walt Whitman. Ale i dnes, kdy nám k takové úrovni poznání pořád chybí obrovský kus cesty, rozhodně stojí za to se do těchto příběhů – vědeckých, tvůrčích, imaginativních – ponořit, načerpat poučení z toho, kdy a jak vzešly ze svých předchůdců odvíjejících se na časové ose kosmu, a sledovat vývoj, kontroverzní, a přece nezvratný, jenž je dovedl na čelní místo mezi výklady světa.⁴

V celé této sbírce příběhů se budeme setkávat se dvěma silami, které se dělí o roli hlavní postavy. Ve druhé kapitole se seznámíme s první z nich: *entropií*. Přestože je mnohým známá díky spojení s chaosem a díky často citovanému tvrzení, že chaos je neustále na vzestupu, má entropie i další vlastnosti, které fyzikálním soustavám umožňují vyvíjet se nepřeborným množstvím způsobů, až se někdy dokonce zdá, že plavou proti entropickému proudu. To si ukážeme ve třetí kapitole, na důležitém příkladu částic, které po velkém třesku ve zdánlivém rozporu se zákony chaosu vytvořily organizované struktury jako hvězdy, galaxie a planety – a nakonec i taková uspořádání hmoty, v nichž se zažehl plamen života. Otázka, jak k tomu došlo, nás dovede ke druhé z oněch všudypřítomných sil: *evoluci*.

Přestože je zejména hlavním hybatelem postupných proměn, jimiž procházejí živé soustavy, uplatňuje se evoluce přirozeným výběrem dlouho předtím, než mezi sebou začnou soupeřit první formy života. Ve čtvrté kapitole se setkáme s molekulami, které se potýkají s jinými molekulami, budeme svědky zápasů o přežití v aréně neživé hmoty. Právě díky bezpočtu kol molekulárního darwinismu, jak se takovým chemickým soubojům říká, pravděpodobně vznikala

čím dál robustnější uspořádání, až se z nich nakonec zrodily první soubory molekul, které bychom označili za živé. Podrobnosti jsou sice stále předmětem výzkumu v nejmodernějších laboratořích, po posledních desetiletích ohromujících pokroků však panuje obecná shoda, že se ubíráme správným směrem. Dokonce je dost dobře možné, že síly entropie a evoluce tvoří na této dlouhé cestě za zrodem života výborně vyvážený pár. Přestože takové partnerství může působit zvláště – entropie má u veřejnosti prakticky pověst chaosu, tedy zdánlivě pravého opaku evoluce či života –, nedávné matematické analýzy entropie naznačují, že život, nebo přinejmenším vlastnosti podobné životu, by docela dobře mohly být *přirozeným* výsledkem stavu, kdy dlouhodobý zdroj energie, jako je Slunce, bez ustání bombarduje teplem a světlem molekulární přísady, jež soupeří o omezené zdroje dostupné na planetě, jako je Země.

Ačkoli podobné představy jsou zatím značně nejisté, skutečnost zůstává, že zhruba miliardu let po zformování Země se její oceány hemžily životem, který se vyvíjel pod tlakem evoluce, takže následná fáze už je učebnicový darwinismus. Náhodné události jako zásah kosmickým zářením nebo molekulární nehoda při replikaci DNA vedou k nahodilým mutacím, z nichž některé mají jen minimální dopad na zdraví nebo prospěch daného organismu, zatímco jiné mohou zhoršit nebo zlepšit jeho schopnosti nezbytné k boji o přežití. Mutace zvyšující zdatnost mají větší šanci, že se přenesou na potomstvo, protože sám výraz „zdatnější“ znamená, že jejich nositel s větší pravděpodobností přežije do reprodukční dospělosti a přivede na svět zdatné potomky. Proto se vlastnosti, které zlepšují zdatnost, šíří generaci za generací čím dál víc.

O miliardy let později, zatímco tento dlouhý proces nepřetržitě pokračoval, určitý sled mutací obdařil některé formy života zlepšenou schopností vnímání. Jisté formy života nejenže si začaly uvědomovat, ale začaly si uvědomovat, že si uvědomují. Jinými slovy: život získal vědomí vlastního já. Tito tvorové schopní uvažovat sami o sobě se přirozeně začali tázat, co je to vědomí a jak vzniklo: Jak může shluk bezduché hmoty myslet a cítit? Řada vědců, jak si

povíme v páté kapitole, předjímá mechanistické vysvětlení. Tvrdí, že musíme do mnohem větších podrobností porozumět mozku – jeho součástem, jeho funkcím, jeho propojením –, a jakmile tyto vědomosti získáme, vyplyne z nich i vysvětlení pro vědomí. Jiní předpokládají, že úkol, před nímž stojíme, bude výrazně náročnější, protože vědomí je ta nejzapeklitější hádanka, s níž jsme se kdy setkali, a její rozřešení bude vyžadovat radikálně nový pohled nejen na mysl, ale na samu povahu reality.

Pokud jde o otázku, jak naše vytríbené vnímání ovlivnilo repertoár našeho chování, názory se opět sblíží. V průběhu desítek tisíc generací během pleistocénu se naši předkové sdružovali do skupin, které se živily lovem a sběrem. Časem díky své rostoucí duševní zdatnosti získali lepší schopnost plánovat, organizovat, komunikovat, učit, posuzovat, hodnotit a řešit problémy. Vlivem těchto zlepšených schopností jednotlivce narůstaly i společné schopnosti skupiny. Což nás přivádí k další sadě epizod, tentokrát zaměřených na vývoj toho, co nás dělá námi. V šesté kapitole prozkoumáme, jak jsme si osvojili jazyk a jak jsme následně propadli vyprávění příběhů; sedmá kapitola pak pojednává o jednom konkrétním žánru příběhů, o těch, které předznamenávají přechod k náboženským tradicím; a v osmé kapitole se zaměříme na dlouhodobé a široce rozšířené snahy o tvůrčí vyjádření.

Při pátrání po podnětech k uvedeným cestám vývoje, jak světských, tak posvátných, přišli vědci s celou řadou vysvětlení. Pro nás bude nadále hlavním principem darwinovská evoluce, nyní aplikovaná na lidské chování. Mozek je koneckonců jen další biologická soustava, která se vyvíjí prostřednictvím selektivních tlaků, a právě on určuje, co děláme a jak reagujeme. K tomuto závěru se během posledních několika desetiletí dopracovali evoluční psychologové i vědci zkoumající vnímání, kteří společně doložili, že síly darwinovského výběru neutvářely jen naše tělo, ale i naše chování. A tak se na cestě lidskou kulturou budeme často ptát, zda to či ono chování mohlo zlepšit vyhlídky na přežití a rozmnožení těch, kteří ho v dávných dobách praktikovali, díky čemuž se následně rozšířilo

v generacích jejich potomků. Jenže na rozdíl od protistojného palce nebo vzpřímené chůze – což jsou zděděné fyziologické rysy těsně spjaté s konkrétním adaptivním chováním – mnohé zděděné vlastnosti mozku vedou spíše jen k určitým preferencím než ke konkrétním činnostem. Tyto sklony k jistému chování nás sice ovlivňují, ale lidská činnost sama vychází až z jejich spojení s naší komplexní, hloubavou, rozjímající myslí.

Proto druhým, odlišným a neméně důležitým principem, na který se zaměříme, bude náš vnitřní život, jenž jde ruku v ruce s naším vytríbeným vnímáním. Ve stopách mnoha myslitelů dospějeme k zásadnímu odhalení: díky schopnosti poznávat jsme získali obrovskou moc, která nás postupně vynesla až na pozici celosvětově dominantního živočišného druhu. Jenže tytéž duševní vlohy, jež nám umožňují tvořit a vylepšovat, zároveň rozhánějí onu krátkozrakost, která by jinak udržovala naše soustředění úzce zacílené jen na přítomný okamžik. Schopnost promyšleně manipulovat s prostředím nám umožňuje změnit perspektivu, vznést se nad časovou osu a přemítat o tom, co bylo, nebo si představovat, co bude. Nemusí se nám to líbit, ale jakmile dospějeme k poznání: „Myslím, tedy jsem,“ v těsném závěsu po něm následuje nevyhnutelné: „Jsem, tedy zemřu.“

To je, mírně řečeno, zneklidňující uvědomění. Většina z nás se s ním však dokáže smířit. A přežití našeho druhu dokládá, že se s ním dokázali smířit i naši předkové. Ale jak to děláme?⁵ Podle jednoho názorového proudu vyprávíme a převypravujeme příběhy, v nichž zaujímáme ústřední postavení v celém nezměrném vesmíru, a možnost, že bychom nadobro zanikli, se v nich buďto zpochybňuje, nebo zcela opomíjí – zkrátka taková věc vůbec není ve hře. Vytváříme výtvarná, scénická a hudební díla, v nichž si osobujeme vládu nad stvořením a obdařujeme sami sebe mocí zvítězit nad vším konečným. Představujeme si hrdiny, od Herkula přes sira Gawaina až po Hermionu, kteří se zatvrzelým odhodláním hledí smrti do očí a názorně, byť ve světě fantazie, ukazují, že ji lze porazit. Budujeme vědu, díky níž poznáváme fungování reality, a své

poznatky přeměňujeme v síly, jaké předešlé generace připisovaly pouze bohům. Zkrátka dáváme vlkovi nažrat, a přitom nám koza – naše bystrá mysl, která nám kromě mnoha jiných věcí odhaluje i náš nevyhnutelný osud – zůstává celá. Díky svým tvůrčím schopnostem jsme vyvinuli mocné obranné mechanismy, které nám umožňují překonávat vnitřní neklid, jenž by nás jinak jistě brzy vyčerpал.

Na druhou stranu, protože pohnutky na rozdíl od zkamenělin nepřekážejí věky, může být hledání motivů lidského chování značně spleť. Možná za své tvůrčí průlomy, od jelenů v Lascaux až po rovnice obecné teorie relativity, vděčíme přirozeně vyvinuté, ale u člověka přebujelé schopnosti mozku rozpoznávat zákonitosti a dávat je do logických souvislostí. Možná jsou tyto a další související výkony jen bravurními, ale z hlediska adaptace nadbytečnými vedlejšími produkty dostatečně velkého mozku, který se zbavil nutnosti neustále se soustředit na zajišťování obživy a přístřeší. Jak uvidíme, teorií je přešel, ale nezpochybnitelné závěry nám stále unikají. Je však nesporné, že vymýšlíme, vytváříme a vnímáme díla, od pyramid přes *Devátou symfonii* až po kvantovou mechaniku, jež jsou zářnými doklady lidské vynalézavosti a jejichž životnost, ne-li sám jejich obsah, může být nadčasová.

A po tom všem, poté, co jsme se zamysleli nad zrodem vesmíru, prozkoumali formování atomů, hvězd a planet a probrali vznik života, vědomí a kultury, upřeme zrak vpřed, k oné říši, která celá tisíciletí doslova i symbolicky pohání i tiší náš vnitřní neklid související s naší rolí ve vesmíru. Zahledíme se, zkrátka a dobře, odsud až na věčnost.

INFORMACE, VĚDOMÍ A VĚČNOST

Než se dočkáme věčnosti, ještě to hodně dlouho potrvá. A hodně se toho do té doby stane. Nedočkaví futuristé a hollywoodské vědeckofantastické bijáky si představují, jak se život a civilizace promění za dobu, která nám lidem může připadat dlouhá, ale v kosmickém pojetí času vůbec nic neznamena. Odhadovat na základě krátkého

období exponenciálního technologického růstu, kam bude vývoj směřovat v budoucnu, je sice zábavná kratochvíle, jenže takové předpovědi se nejspíš budou zásadně lišit od toho, co se skutečně stane. Navíc se při nich držíme relativně všedních časových úseků: desetiletí, staletí, tisíciletí. V kosmickém měřítku jsou předpovědi takových maličkostí jen zbytečným mrháním energií. My se zde při našem zkoumání naštěstí budeme pohybovat po pevnější půdě. Rád bych vám vymaloval budoucnost vesmíru v sytých barvách, ale jen velmi rozmáchlými tahy. Na takové úrovni dokážeme možnou budoucnost znázornit s rozumnou mírou jistoty.

Zásadní roli tu hraje skutečnost, že je nám prakticky lhostejné, zda zanecháme nějaké stopy do budoucnosti, v níž nebude existovat nikdo, kdo by si jich všiml. Proto si, byť si to nejspíš neuvědomujeme, obvykle představujeme jen takovou budoucnost, v níž je přítomna spousta věcí, na nichž nám záleží. Evoluce jistě dovede život a mysl k nezměrnému množství podob podporovaných širokou škálou platforem – biologických, počítačových, hybridních a bůhvíjakých dalších. Avšak bez ohledu na nepředvídatelné podrobnosti fyzické podoby nebo životního prostoru si většina z nás představuje, že ve vzdálené budoucnosti nějaká forma života, a to zejména života inteligentního, existovat bude.

To vyvolává otázku, která nás bude provázet na celé naší cestě: Může vědomé myšlení přetrvat donekonečna? Nebo je uvažující mysl, stejně jako tasmánský tygr či datel knížecí, cosi krásného, co však existuje jen určitou dobu a potom vyhyne? A nejde mi tu o individuální vědomí, takže otázka nemá nic společného s vysněnými technologiemi – kryogenikou, digitalizací a podobně –, které by dokázaly uchovat jednu konkrétní mysl. Nikoli, ptám se, jestli sám jev myšlení, ať už probíhá v lidském mozku, v inteligentním počítači, ve shluku propojených částic vznášejících se v prázdnotě nebo v jakémkoli jiném relevantním fyzikálním prostředí, může samovolně přetrvat do daleké budoucnosti.

Proč by nemohl? Inu, vezměme si lidskou inkarnaci myšlení. Ta se vyvinula díky souhře příznivých životních podmínek, což vysvětluje,

proč myslíme právě tady, a ne na Merkuru nebo na Halleyově kometě. Myslíme tady, protože právě tady je prostředí vhodné pro život a pro myšlení, což je také důvod, proč nás tolik zneklidňují zhoubné změny pozemského klimatu. Méně zjevné už je to, že tyto závažné, byť poněkud zápecnické obavy lze přenést do kosmického měřítka. Bereme-li myšlení jako fyzikální proces (a z tohoto předpokladu budeme vycházet), je pochopitelné, že se může odehrávat jedině v prostředí, které splňuje jisté přísně dané podmínky, ať už tady a teď na Zemi nebo někdy jindy někde jinde. Proto se při pohledu na rozmáchlými tahy vykreslenou evoluci vesmíru zamyslíme nad tím, jestli podmínky, které v něm napříč prostorem a časem panují, dokážou podporovat inteligentní život donekonečna.

Naše úvahy se budou řídit poznatky z výzkumů v částicové fyzice, astrofyzice a kosmologii, jež nám umožňují předpovídat, jak se vesmír bude vyvíjet v časových epochách, vedle nichž i doba od velkého třesku do dneška působí nicotně. Samozřejmě toho ještě spoustu nevíme a já stejně jako většina vědců jsem plně připravený na možnost, že nám příroda jednoho dne vlepi políček za naše přehnané sebevědomí a odhalí nám překvapení, jaká jsme si vůbec nedokázali představit. Pokud však vycházíme z toho, co jsme zatím změřili, vypožorovali a vypočítali, zjistíme, jak si ukážeme v deváté a desáté kapitole, že budoucnost nevypadá růžově. Planety, hvězdy, sluneční soustavy, ba i černé díry jsou pomíjivé. Každá spěje ke konci v důsledku své vlastní osobité kombinace fyzikálních procesů, od kvantové mechaniky po obecnou relativitu, a zanechá po sobě jen opar částic plujících studeným a tichým kosmem.

Jak si vědomé myšlení povede ve vesmíru, který prochází takovou proměnou? Jazyk, jímž tuto otázku položíme a jímž na ni budeme odpovídat, opět vychází z entropie. A vydáme-li se touto entropickou cestou, dospějeme ke zcela reálné možnosti, že sám akt myšlení bez ohledu na to, jaká bytost a kde ho vykonává, může být zmařen nevyhnutelným nárůstem odpadního tepla v daném prostředí: ve vzdálené budoucnosti dost možná všechno, co myslí, shoří žářem vlastních myšlenek. Myšlení samo bude fyzikálně nemožné.

Přestože argumenty proti nekonečné existenci myšlení se budou zakládat na konzervativních předpokladech, pokusíme se zvážit i alternativy: možné budoucnosti více nakloněné životu a myšlení. Nejupřímnější závěry však v současnosti naznačují, že život, zejména ten inteligentní, je pomíjivý. Interval na kosmické časové ose, v němž podmínky umožňují existenci tvorů schopných uvažovat o sobě samých, je možná dokonce velmi krátký. Pokud bychom celou dobu trvání vesmíru jen zběžně prosvištěli, možná bychom si života vůbec nevšimli. Nabokovův popis lidského života jako „štěrbiny slabého světla mezi dvěma temnými věčnostmi“ by se dal vztáhnout k jevu života samotnému.⁶

Truchlíme pro svou pomíjivost a utěšujeme se symbolickou transcencí, odkazem, který spočívá v tom, že jsme se cesty vůbec zúčastnili. Vy ani já tu nebudeme, ale ostatní ano, a to, co vy a já děláme, co vy a já vytváříme, co po sobě vy a já zanecháme, přispívá k tomu, co jednou bude a jak bude budoucí život žít. Jenže ve vesmíru, v němž nakonec nebude existovat žádný život ani vědomí, se dokonce i takový symbolický odkaz – zašeptání určené našim vzdáleným potomkům – rozplyne v prázdnu.

Co nám tedy zbývá?

ÚVAHY O BUDOUCNOSTI

Poznatky o vesmíru obvykle vstřebáváme na intelektuální úrovni. Dozvíme se nějakou novou skutečností o čase, sjednocených teoriích nebo černých dírách. Nakrátko zaujme naši mysl, a pokud je dostatečně zajímavá, udrží se v ní. Abstraktní povaha vědy většinou vede k tomu, že její obsah vnímáme rozumově, a teprve následně, a pouze ve vzácných případech, má toto porozumění šanci zasáhnout nás také v emoční rovině. Pokud však dojde k tomu, že věda osloví zároveň rozum i cit, může být výsledek skutečně mocný.

Typický příklad: Když jsem před lety začal uvažovat o vědeckých predikcích ohledně vzdálené budoucnosti vesmíru, šlo v podstatě o čistě racionální prožitek. Vstřebával jsem související materiály

coby fascinující, ale abstraktní soubor idejí vystavěných na základě matematiky přírodních zákonů. Když jsem se však přinutil k tomu, abych si skutečně představil, že všechen život, všechny myšlenky, všechno úsilí a všechny úspěchy jsou jen prchavou anomálií na jinak neživé časové ose kosmu, najednou to na mě začalo působit jinak. Dokázal jsem to vnímat. Dokázal jsem to cítit. A nebojím se přiznat, že při prvních několika příležitostech to byl značně depresivní prožitek. Během desítek let studia a vědeckého výzkumu jsem často zažil okamžiky euforie a úžasu, ale zatím nikdy mě výsledky matematiky a fyziky nenaplnily čirou hrůzou.

Časem se moje emocionální odezva na tyto představy zlepšila. Když o vzdálené budoucnosti uvažuji dnes, většinou cítím klid a určitou sounáležitost, jako by na mém já prakticky nezáleželo, protože ho přebíjí pocit, který nedokážu popsat lépe než jako vděk za dar života. Jelikož mě s největší pravděpodobností osobně neznáte, dovoluji, ať to uvedu do kontextu. Jsem objektivně uvažující člověk, který klade velký důraz na přesnost. Pohybuji se ve světě, kde se argumentuje rovnicemi a ověřitelnými daty, ve světě, v němž se o platnosti rozhoduje prostřednictvím jednoznačných výpočtů, jejichž předpovědi se do poslední číslice musejí shodovat s výsledky experimentů, často až na deset míst za desetinnou čárkou. Takže když jsem poprvé zažil tento pocit poklidné sounáležitosti – shodou okolností jsem právě byl v New Yorku ve Starbucks –, přistupoval jsem k němu silně podezřívavě. Nedali mi do čaje zkažené sojové mléko? Nepřicházím o rozum?

Dnes vím, že nešlo ani o jedno z toho. Jsme zkrátka výsledkem dlouhého rodokmenu lidí, kteří svou existenciální úzkost tišili představou, že po sobě zanechají nějakou stopu. A čím trvalejší taková stopa je, čím nesmazatelnější je otisk lidského života, tím smysluplnější nám připadá. Slovy filozofa Roberta Nozicka – ale stejně dobře by mohla pocházet od George Baileyho z filmu Život je krásný – „Smrt vás vymaže... A být kompletně vymazán, včetně veškerých stop, které jste po sobě mohli zanechat, to člověka prakticky připraví o smysl života.“⁷

U lidí, jako jsem já, lidí bez tradiční náboženské víry, může pak důraz na to, aby nebyli „vymazáni“, toto houževnaté úsilí o trvalost, skutečně prosakovat úplně do všeho. Jeho vliv se podepsal na mé výchově, mém vzdělání, mé kariéře i veškerých mých prožitcích. Ve všech fázích svého života jdu vpřed se zrakem upřeným ke vzdáleným horizontům, za dosažením něčeho, co přetrvá. Těžko tedy někoho překvapí, že jsem si vybral profesi, které vévodí matematické analýzy prostoru, času a přírodních zákonů; snad si ani nelze představit jinou vědeckou, v níž by člověk s takovou samozřejmostí soustředil každodenní myšlenky na otázky přesahující přítomný okamžik. Jenže sám vědecký pokrok staví tuto perspektivu do jiného světla. Život a myšlení pravděpodobně obývají jen titěrnou oázu na kosmické časové ose. Přestože vesmíru vládnu elegantní matematické zákony, které umožňují všelijaké úžasné fyzikální děje, život a mysl jsou v něm pouze dočasnými hosty. Když toto uvážíte ve všech důsledcích a představíte si budoucnost světa bez hvězd a planet a myslících tvorů, váš vztah k naší éře se může přiblížit až zbožné úctě.

A právě tento pocit jsem zažil tehdy ve Starbucks. Onen klid a sounáležitost značily posun od zoufalé snahy pevně sevřít unikající budoucnost k uvědomění, jak úchvatnou, byť pomíjivou obýváme přítomnost. Byl to posun, k němuž mě přivedl kosmologický ekvivalent oněch poučení, jichž se nám v průběhu věků dostává od básníků a filozofů, spisovatelů a výtvarných umělců, duchovních mudrců a učitelů meditace, abychom jmenovali alespoň některé z mnoha, kteří nám sdělují prostou, ale překvapivě hlubokou pravdu, že život spočívá v tom, co je tady a teď. Je to princip, kterým je těžké se vždy řídit, ale prosákl do uvažování mnoha z nás. Vidíme ho v básni „[Věčnost] se skládá z dnešních dní“⁶⁸ Emily Dickinsonové i v Thoreauově „věčnosti v každém okamžiku“⁶⁹. Jak jsem zjistil, rozumnost této perspektivy vyjde najevo obzvláště tehdy, když se pohroužíme do celého rozsahu času – od počátku do konce –, neboť kosmologické kulisy s nepřekonatelnou zřetelností ukazují, jak jedinečné a prchavé to naše tady a teď doopravdy je.

Účelem této knihy je poskytnout právě takto zřetelnou perspektivu. Vydáme se na cestu časem, od našich nejdetailejších poznatků o jeho počátku až tak blízko jeho konci, jak jen nás věda dokáže zavést. Prozkoumáme, jak se z původního chaosu zrodily život a myšlení, a budeme se zajímat, co soubor zvědavých, zanícených, horlivých, sebezpytujících, vynalézavých a skeptických myslí dokáže, zejména pokud si uvědomí vlastní smrtelnost. Probádáme vznik náboženství, nutkání k tvůrčímu vyjádření, vzestup vědy, hledání pravdy a touhu po nadčasovosti. Tato hluboce zakořeněná žádostivost po něčem trvalém, kterou Kafka označil jako naši potřebu čehosi „nezničitelného v sobě“¹⁰, nás na našem dalším putování nasměruje do vzdálené budoucnosti, abychom posoudili vyhlídky všeho, co je nám drahé, všeho, z čeho sestává realita, jak ji známe, od planet a hvězd, galaxií a černých děr po život a mysl.

V průběhu celé cesty nás bude provázet lidský objevitelský duch. Jsme ctižádostiví průzkumníci, kteří touží poznat realitu v její nezměrné šíři. Stovky let úsilí nám osvětlily mnohá temná zákoutí hmoty, mysli a kosmu. V následujících tisíciletích se osvětlené oblasti budou rozrůstat a nadále projasňovat. Naše dosavadní poznání už nesporně prokázalo, že realitě vládou matematické zákony lhostejné k zásadám chování, standardům krásy, potřebám spolitosti, touhám po porozumění a pátráním po účelu. Přesto se nám prostřednictvím jazyka a příběhů, umění a mýtů, náboženství a vědy podařilo ovládnout svůj maličký koutek nezaujatého, neúprosného, mechanicky se vyvíjejícího kosmu a dát hlas své nepotlačitelné potřebě srozumitelnosti, hodnoty a smyslu. Jde o úchvatný, leč dočasný výsledek. Jak naše putování časem ukáže, život je pravděpodobně pomíjivý a veškeré poznání, které vzešlo z jeho existence, se s jeho zánikem téměř jistě vytratí. Nic není věčné. Nic není absolutní. A tak při hledání hodnoty a smyslu mají význam jen naše vlastní poznatky a naše vlastní odpovědi. Během své kratičké chvíle na výsluní máme vznešený úkol: sami si najít smysl své existence.

Pusťme se do toho.

2 Jazyk času

MINULOST, BUDOUCNOST A PŘEMĚNA

Večer 28. ledna 1948 uvedl rozhlas BBC, mezi záznamem Schubertova kvartetu a moll a pásmem anglických lidových písní, debatu jednoho z nejvlivnějších intelektuálů dvacátého století, Bertranda Russella, s jezuitským knězem Frederickem Coplestonem.¹ Téma? Existence Boha. Russell, jemuž novátorská díla na poli filozofie a humanismu vynesla v roce 1950 Nobelovu cenu za literaturu a jenž byl za své obrazoborecké politické a společenské názory propuštěn z univerzity v Cambridgi i ze City College v New Yorku, v této debatě vyslovil četné argumenty zpochybňující, ne-li přímo vylučující existenci stvořitele.

Jedna myšlenka, na níž Russell stavěl své stanovisko, je důležitá i pro naše zkoumání zde. „Tak dalece, jak vůbec lze z vědeckých důkazů usuzovat,“ poznamenal Russell, „dospěl vesmír řadou povlnových stadií k poněkud žalostnému výsledku, který vidíme na této zemi, a stále žalostnějšími stadii bude se blížit stavu vesmírné smrti.“ Na základě těchto neveselých vyhlídek Russell uzavřel: „Máme-li brát tohle za důkaz nějakého záměru, smím snad jen poznamenat, že se mi takový záměr nijak nezamlouvá. Nevidím proto důvod

věřit v boha jakéhokoli druhu.“² Teologickou stránku rozebereme v pozdějších kapitolách. Na tomto místě se chci věnovat Russellově zmínce o vědeckých důkazech „vesmírné smrti“. Odkazuje tím na jistý objev z devatenáctého století, objev s velmi prostými kořeny, ale dalekosáhlými důsledky.

V polovině devatenáctého století naplno probíhala průmyslová revoluce a v krajíně poseté továrnami a zpracovatelskými závody byl hlavním tahounem výroby parní stroj. Nicméně i přes onen zásadní skok od manuální práce k mechanické byla účinnost parního stroje – vykonaná užitečná práce v poměru k množství spotřebovaného paliva – skrovná. Zhruba devadesát pět procent tepla vytvořeného spalováním dřeva nebo uhlí unikalo coby odpad do okolního prostředí. To vedlo hrstku vědců k důkladnému zamyšlení nad fyzikálními principy, na jejichž základě parní stroje fungují, a k hledání způsobů, jak spalovat méně a získávat více. Výzkum po mnoha desetiletích postupně dospěl k věhlasnému výsledku, který si svou slávu právem zaslouží: *druhý termodynamický zákon*.

Tento zákon říká, (velmi) laicky podáno, že tvorba odpadu je nevyhnutelná. A nejpodstatnější na něm je to, že ačkoli podnětem k jeho formulování byly parní stroje, zákon sám platí všeobecně. Popisuje totiž základní a nedílnou vlastnost veškeré hmoty a energie, bez ohledu na strukturu či formu, bez ohledu na to, zda jsou živé, či neživé. Druhý zákon ukazuje (opět volně přeloženo), že všechno ve vesmíru má nezvratnou tendenci se vybíjet, rozpadat, chřadnout.

Vyjádríme-li druhý termodynamický zákon tímto prostým jazykem, hned začíná být jasnější, o čem hovořil Russell. Budoucnost s sebou podle všeho přinese pokračující rozklad, neúprosnou přeměnu přínosné energie v neužitečné teplo, zkrátka postupné vybíjení baterií, které pohánějí realitu. Přesnější chápání vědecké podstaty druhého zákona však odhaluje, že uvedené stručné shrnutí vývoje reality zastírá mnohem bohatší a komplikovanější proces, který se pozvolna odvíjí od velkého třesku a bude nadále pokračovat do vzdálené budoucnosti. Je to proces, který pomáhá vysvětlit naše místo na kosmické časové ose, ozřejmuje, jak na pozadí rozpadu

a rozkladu může vznikat krása a řád, a také nabízí potenciální způsoby, ač mohou působit neobvykle, jak obejít onen bezútěšný konec, který předjímal Russell. A protože nás na většině naší cesty bude provázet právě věda zahrnující koncepty, jako je entropie, informace nebo energie, bude užitečné, věnujeme-li trochu času jejímu lepšímu porozumění.

PARNÍ STROJE

Nechci ani omylem naznačovat, že se smysl života ukrývá kdesi v upachtěných hlubinách supícího parního stroje. Ale pochopení principu, jak parní stroj vstřebává žár z hořícího paliva a transformuje ho v repetitivní pohyb kol lokomotivy nebo pumpy v uhelném dole, je nezbytné k tomu, abychom porozuměli, jak se energie – libovolného druhu a v libovolném kontextu – proměňuje v průběhu času. Právě to totiž předurčuje budoucnost hmoty, myslí a celého uspořádání vesmíru. Sestupme tedy ze vznešených výšin života a smrti, účelu a záměru, k neumdlévajícímu supění a řinčení parního stroje z osmnáctého století.

Vědecký základ parního stroje je prostý, ale geniální: Voda v plynném skupenství – pára – při zahřívání zvětšuje objem, takže se roztahuje do okolního prostoru. Parní stroj tento jev zužitkovává tak, že zahřívá páru v nádobě, která je na konci opatřena těsně doléhajícím pístem volně klouzajícím nahoru a dolů po vnitřním povrchu nádoby. Jak zahřátá pára zvětšuje objem, tlačí velkou silou na píst a ten může roztáčet kolo a pohánět například mlýn nebo tkalcovský stav. Jakmile pára prostřednictvím zmíněného tlaku předá energii, zároveň se ochladí a píst se vrátí do původní polohy, kde čeká na to, až ho nově ohřátá pára znovu vytlačí vzhůru – tento cyklus se opakuje tak dlouho, dokud máme dostatek hořícího paliva na to, aby páru opakovaně ohřívalo.³

Dějiny dokládají, že v průmyslové revoluci sehrál parní stroj ústřední roli, neméně významné jsou však i otázky, které nastolil pro fundamentální vědu. Dokážeme parnímu stroji porozumět

s matematickou přesností? Existuje při přeměně tepla v užitečnou práci nějaký strop účinnosti? Jsou základní procesy, které v parním stroji probíhají, v nějakém ohledu nezávislé na konstrukčních detailech jeho mechanismu a na použitých materiálech, a daly by se z nich tedy vyvodit nějaké obecně platné fyzikální principy?

Při hloubání nad těmito tématy položil francouzský fyzik a vojenský inženýr Sadi Carnot základy termodynamice – vědě o teple, energii a práci. Na základě prodeje jeho pojednání *Úvahy o hybné síle ohně*,⁴ vydaného v roce 1824, byste to nejspíš nehádali, ale ačkoli se jeho myšlenky ujímaly jen pomalu, postupně v průběhu celého následujícího století inspirovaly vědce k radikálně novému pohledu na fyziku.

STATISTICKÝ POHLED

Tradiční vědecký pohled, jemuž vtiskl matematickou podobu Isaac Newton, nám říká, že fyzikální zákony dokážou s neotřesitelnou přesností předpovídat, jak se věci pohybují. Zadejte polohu a rychlost tělesa v konkrétním okamžiku, zadejte síly, které na ně působí, a Newtonovy rovnice se postarají o zbytek: předpoví následnou trajektorii daného tělesa. Ať jde o Měsíc přitahovaný gravitací Země nebo o baseballový míček, který jste právě odpálili do středního pole, pozorování potvrzují, že tyto předpovědi jsou naprosto přesné.

Ale má to háček. Pokud jste měli na střední škole fyziku, možná si vzpomenete, že když analyzujeme trajektorie makroskopických těles, obvykle automaticky pracujeme se spoustou zjednodušení. U Měsíce i baseballového míčku opomíjíme jejich vnitřní strukturu a představujeme si je čistě jako jednu celistvou částici. Což je obrovské zobecnění. I zrnko soli obsahuje zhruba miliardu miliard molekul – obyčejné zrnko soli! Při pohybu Měsíce po oběžné dráze je nám obyčejně jedno, jak se postrkují molekuly kdesi v prachu Moře klidu. Při letu baseballového míčku se nestaráme o vibrace té či oné molekuly v jeho korkovém jádře. Zajímá nás jen souhrnný pohyb

Měsíce či baseballového míčku jako celku. A na tyto zjednodušené modely nám Newtonovy zákony skutečně postačují.⁵

Tyto úspěchy jen podtrhují, před jakou výzvou stáli fyzici devatenáctého století zkoumající parní stroje. Horká pára, která tlačí na píst, sestává z obrovského množství molekul vody, dost možná z bilionu bilionů částic. Jenže tuto vnitřní strukturu nemůžeme opomíjet stejně jako při analýze pohybu Měsíce nebo baseballového míčku. Právě pohyb těchto částic – to, jak narážejí do pístu, jak se odrážejí od jeho povrchu, dopadají na stěny nádoby a znovu se valí proti pístu – je totiž samou podstatou fungování parního stroje. Problém je v tom, že nikdo, nikde, byť by byl sebeinteligentnější nebo měl k dispozici sebevýkonnější počítače, nedokáže vypočítat všechny jednotlivé trajektorie tak obrovského množství molekul vody.

Je tudíž tento problém neřešitelný?

Mohlo by to tak vypadat. Naštěstí nás však zachránila změna perspektivy. I s velkými soubory objektů lze někdy účinně nakládat zjednodušeným způsobem. Bylo by rozhodně těžké, ne-li přímo nemožné, předpovědět, kdy přesně příště kýchnete. Pokud se však místo toho zaměříme na soubor všech lidí na Zemi, dokážeme předpovědět, že v příští sekundě se po celém světě ozve zhruba osmdesát tisíc kýchnutí.⁶ Vtip je v tom, že jakmile se přesuneme do statistické perspektivy, přestane být ohromná světová populace překážkou a stane se naopak klíčem k našim předpovědím. Velké skupiny často vykazují statistické pravidelnosti, které na úrovni jedinců neexistují.

Obdobný přístup k velkým skupinám atomů a molekul razili James Clerk Maxwell, Rudolf Clausius, Ludwig Boltzmann a mnozí jejich kolegové. Zastávali názor, že lze upustit od detailních úvah o jednotlivých trajektoriích ve prospěch statistických popisů průměrného chování velkých souborů částic. Ukázali, že tento přístup nejenže dostatečně zjednodušuje matematické výpočty, ale lze díky němu kvantifikovat právě ty fyzikální vlastnosti, na kterých nejvíc záleží. Například pro tlak na píst parního stroje není konkrétní dráha té či oné molekuly vody v podstatě vůbec důležitá. Tlak narůstá

díky průměrnému pohybu bilionů a bilionů molekul, které každou sekundu narážejí do povrchu pístu. Na *tom* záleží. A *to* vědci díky statistickému přístupu dokázali vypočítat.

V dnešní době politických průzkumů veřejného mínění, populační genetiky a obecně velkých objemů dat se posun ke statistickému systému nejeví jako nijak radikální. Dnes už jsme na užitečnost statistických závěrů získávaných studiem velkých skupin zvyklí. V devatenáctém a začátkem dvacátého století však statistické dedukce znamenaly odklon od rigidní přesnosti, která do té doby ve fyzice panovala. Navíc nezapomínejme, že ještě na začátku dvacátého století se našli uznávaní vědci, kteří zpochybňovali existenci atomů a molekul – tedy sám základ statistického přístupu.

Navzdory těmto odpůrcům netrvalo nijak dlouho, než statistické uvažování prokázalo svoji užitečnost. V roce 1905 sám Einstein kvantitativně vysvětlil těkavý pohyb pylových zrněk vznášejících se ve sklenici vody: způsobuje ho neustálé bombardování molekulami H_2O . Po tomto úspěchu už o existenci molekul pochybovali jen ti opravdu nejzarytější odmítači. Co víc, rozrůstající se archiv teoretických a experimentálních pojednání ukázal, že závěry založené na statistické analýze velkých souborů částic – popisující, jak částice poletují v nádobách, čímž vyvolávají tlak na určitý povrch, získávají určitou hustotu nebo se zklidňují na určité teplotu – se shodují s daty tak přesně, že zpochybňování přínosnosti tohoto přístupu je prakticky vyloučeno. A tak se zrodil statistický přístup k tepelným dějům.

Byl to velký triumf, který fyzikům umožnil pochopit nejen parní stroje, ale celou širokou škálu tepelných soustav – od zemské atmosféry přes sluneční korónu až po obrovský soubor částic hemžících se v neutronové hvězdě. Ale jak to všechno souvisí s Russellovou vizí budoucnosti a s jeho prognózou vesmíru zvolna postupujícího vstříc smrti? Dobrá otázka. Vydržte. Už se k tomu blížíme. Ale ještě nás čeká pár zastávek. Na té následující využijeme právě popsánoho pokroku k tomu, abychom objasnili tu nejtýpčtější vlastnost budoucnosti: zásadně se odlišuje od minulosti.

OD TOHOTO K TAMTOMU

Rozdíl mezi minulostí a budoucností je tím nejprostším a zároveň i nejzásadnějším lidským prožitkem. Narodili jsme se v minulosti. Zemřeme v budoucnosti. V mezidobí jsme svědky bezpočtu dějů sestávajících z určitého sledu událostí, které by určitě působily absurdně, kdyby probíhaly v obráceném pořadí. Van Gogh namaloval *Hvězdnou noc*, ale nemohl potom opačnými tahy štětce barvy znovu setřít, aby získal prázdné plátno. *Titanic* se otřel o ledovec a roztrhl si o něj trup, ale nemohl potom zařadit zpětný chod, o kus se vrátit a tím škodu napravit. Každý z nás roste a stárne, ale nemůžeme pak přetočit své vnitřní hodiny nazpátek a opět omládnout.

Vzhledem k tomu, že nevratnost je takto zásadní vlastností většiny dějů, nejspíš byste očekávali, že odhalit ve fyzikálních zákonech její matematický původ nebude nic těžkého. Jistě bychom měli být schopni najít onu konkrétní sadu rovnic, která zajišťuje, že se věci mohou přeměnit z *tohoto* v *tamto*, a zároveň brání tomu, aby se přeměnily zpět z *tamtoho* v *toto*. Přesto nám rovnice, které dáváme dohromady celá staletí, nic takového nenabízejí. Naopak, přestože fyzikální zákony neustále pilujeme, přestože prošly rukama Newtonovi (klasická mechanika), Maxwellovi (elektromagnetismus), Einsteinovi (relativistická fyzika) a desítkám fyziků zodpovědných za kvantovou fyziku, v jednom ohledu zůstávají pořád stejné: vytrvale naprosto ignorují to, čemu my lidé říkáme budoucnost a minulost. Matematickým rovnicím je úplně jedno, zda se daný děj bude odvíjet z přítomného okamžiku do budoucnosti, nebo do minulosti. Zatímco pro nás má tento rozdíl naprosto zásadní význam, fyzikální zákony ho přecházejí, jako by nehrál o nic větší roli než to, jestli hodiny na stadionu ukazují odehraný, nebo zbývajících čas. To znamená, že pokud fyzikální zákony umožňují, aby proběhl určitý sled událostí, zároveň je podle nich automaticky možné, aby tytéž události proběhly ve sledu opačném.⁷

Když jsem se o tom jako student poprvé dozvěděl, připadalo mi to bezmála absurdní. V reálném světě přece nevidíme olympijské

soutěžící ve skocích do vody vylétat nohama napřed z bazénu a poklidně přistávat na skokanském prkně. Nevidíme střípky barevného skla vyskakovat z podlahy a skládat se zpět do podoby vitrážové stolní lampy. Film puštěný pozpátku je zábavný právě proto, že scény, které v něm sledujeme, se tak výrazně odlišují od veškerých našich prožitků. A přece, čistě matematicky vzato, tyto pozpátku přehrávané scény nijak neporušují žádné fyzikální zákony.

Proč jsou tedy naše prožitky tak jednostranné? Proč vidáme události probíhat vždy jen v jednom časovém sledu, a nikdy v opačném? Klíčová část odpovědi leží v pojmu *entropie*, který bude nezbytný pro naše porozumění kosmickému vývoji.

ENTROPIE: PRVNÍ NÁSTIN

Entropie patří mezi poněkud matoucí pojmy elementární fyziky, což ovšem nijak nezmenšuje kulturní sklony bezelstně se ho dovolávat při popisu všedních situací, které se vyvíjejí od řádu k chaosu nebo jednodušeji od dobrého ke špatnému. Pokud jde jen o použití v hovorovém jazyce, je to tak v nejlepším pořádku; sám to občas dělám také. Ale jelikož nás vědecké chápání entropie bude provázet na celé naší cestě – a navíc je samou podstatou Russellovy temné vize budoucnosti –, pojďme se podívat na její přesný význam.

Začneme přirovnáním. Představte si, že energicky zatřesete měšcem se stovkou mincí a pak je vysypete na jídelní stůl. Kdyby na všech bez výjimky padla panna, jistě by vás to překvapilo. Ale proč? Odpověď se zdá evidentní, ale stojí za to se nad ní hlouběji zamyslet. Nepřítomnost byť jediného orla znamená, že každá z té stovky mincí, které se v měšci nahodile natřásaly, poskakovaly a odrážely jedna od druhé, musela dopadnout na stůl tak, aby panna zůstala nahore. Každá od první do poslední. To skutečně není jen tak. Takto jedinečný výsledek je silně nepravděpodobný. Pro srovnání, pokud si představíme výsledek jen o maličko jiný, řekněme s jedním orlem (a na všech zbylých devadesáti devíti mincích jsou pořád panny), rázem máme sto možností, jak k tomu mohlo dojít: ten jediný orel

mohl padnout na první minci nebo na druhé nebo na třetí a tak dále až po stou minci. Získat devadesát devět panen je tudíž stonásobně snazší – stonásobně pravděpodobnější – než získat samé panny.

Pojďme dál. S trochou počtů dospějeme k tomu, že existuje 4950 možností, jak získat dva orly (první a druhá mince je orel, první a třetí je orel, druhá a třetí je orel, první a čtvrtá je orel, a tak dále). O něco složitější počty nás dovedou k tomu, že existuje 161 700 možností, jak získat tři orly, téměř čtyři miliony možností, jak získat čtyři orly, a zhruba 75 milionů možností, jak získat pět orlů. O přesná čísla ani tolik nejde, podstatný tu je obecný trend. S každým dalším orlem se ohromně – přímo fenomenálně – zvyšuje počet možností, jimiž takového výsledku lze dosáhnout. K nejvyššímu číslu se dostaneme u padesáti orlů (a padesáti panen), pro něž existuje zhruba sto miliard miliard miliard možných kombinací (přesně je jich 100 891 344 545 564 193 334 812 497 256).⁸ Získat padesát panen a padesát orlů je tím pádem sto miliard miliard miliardkrát pravděpodobnější než získat samé panny.

Proto by nás tolik šokovalo, kdyby padly samé panny.

Moje vysvětlení vychází ze skutečnosti, že většina z nás intuitivně analyzuje soubor mincí víceméně stejně, jako Maxwell a Boltzmann doporučovali analyzovat nádobu s párou. Stejně jako vědci odmítali analyzovat páru molekulu po molekule, my obvykle nehodnotíme nahodilý soubor mincí jednu po druhé. Vůbec nezaregistrujeme, jestli je dvacátá devátá mince panna nebo sedmdesátá první orel. Místo toho vnímáme celý soubor jako celek. A naši pozornost upoutá celkový počet panen v poměru k celkovému počtu orlů: Je tu víc panen než orlů, nebo víc orlů než panen? Dvakrát víc? Třikrát víc? Zhruba stejně? Výrazné změny v poměru panen a orlů nám neuniknou, ale nahodilá přeskupení, při nichž poměr zůstane zachován – jako obrácení dvacáté třetí, čtyřicáté šesté a devadesáté druhé mince z orla na pannu a současné obrácení sedmnácté, padesáté druhé a osmdesáté první mince z panny na orla –, jsou pro nás prakticky nepostižitelná. Rozděлил jsem pro vás všechny možné výsledky do skupin podle toho, kolik obsahují mincí jednoho druhu, a spočítal

jsem, jak je každá taková skupina velká: kolik je možných výsledků bez orla, kolik jich je s jedním orlem, kolik jich je se dvěma orly, a tak dále, až do výsledku s padesáti orly.

Klíčové je tu poznání, že tyto skupiny nejsou stejně velké. Ani zdaleka. Díky tomu je zřejmé, proč by nás tolik šokovalo, kdyby se mezi nahodile vysypanými mincemi neobjevil žádný orel (je to skupina s jedním členem), o trošičku méně by nás šokovalo, kdyby mezi nahodile vysypanými mincemi byl jeden orel (skupina se sto členy), ještě o trochu méně bychom byli šokováni při nálezů dvou orlů (skupina s 4950 členy), ale kdybychom získali výsledek s polovinou panen a polovinou orlů (skupina se zhruba stovkou miliard miliard miliard členů), zívali bychom nad ním nudou. Čím více je v dané skupině členů, tím větší je pravděpodobnost, že nahodilý výsledek bude náležet právě do ní. Na velikosti skupiny záleží.

Pokud je pro vás tento materiál nový, patrně jste si zatím neuvědomili, že jsme právě demonstrovali základní koncept entropie. Entropií daného uspořádání mincí je velikost jeho skupiny – počet příbuzných uspořádání, která na první pohled vypadají prakticky stejně jako dané uspořádání.⁹ Pokud je takových příbuzných hodně, má dané uspořádání vysokou entropii. Pokud je takových příbuzných málo, má dané uspořádání nízkou entropii. Za neměnných podmínek bude uspořádání nahodile vysypaných mincí pravděpodobněji patřit do skupiny s vyšší entropií, protože takové skupiny mají větší počet členů.

To platí i pro hovorové užívání entropie, o němž jsem se zmiňoval na začátku této podkapitoly. „Chaotická“ uspořádání (představme si psací stůl s hromadou dokumentů a změtí propisek a kancelářských sponek) mají vysokou entropii, protože jednotlivé prvky můžeme zpřeházet spoustou různých způsobů a výsledek bude pořád působit stejně; když nahodile přerovnáme chaotické uspořádání, získáme opět chaotické uspořádání. Úhledná uspořádání (představme si psací stůl, na němž jsou všechny dokumenty, pera a kancelářské sponky vyrovnány na svých místech) mají nízkou entropii, protože jen málo nahodilých přerovnáání jejich prvků bude působit

stejně. Podobně jako u mincí vysoká entropie vítězí, protože počet chaotických uspořádání dalece převyšuje počet těch úhledných.

ENTROPIE:

SE VŠÍM VŠUDY

Příklad s mincemi je obzvlášť užitečný, protože ilustruje přístup, který vědci vyvinuli pro zacházení s fyzikálními soustavami tvořenými obrovskými soubory částic, ať už jde o molekuly vody poletující sem a tam v rozpáleném parním stroji, nebo o molekuly vzduchu zvolna plující místností, ve které právě dýcháte. Stejně jako u mincí ani zde nevěnujeme pozornost detailům jednotlivých částic – jestli je jedna molekula vody či vzduchu tady nebo tam, nehraje žádnou roli – a místo toho se zajímáme o skupiny takových uspořádání částic, která vypadají prakticky stejně. U mincí pro nás byl rozhodujícím kritériem poměr panen a orlů, protože o vlastnosti té či oné konkrétní mince se obvykle nestaráme a obecně si všímáme jen celkového vzhledu jejich uspořádání. Jenže co si pod „vypadají prakticky stejně“ představit u velkého souboru molekul plynu?

Vezměte si vzduch, který právě vyplňuje váš pokoj. Většinu obyčejných lidí nejspíš vůbec nebude zajímat, jestli zrovna tato molekula kyslíku poletuje u okna a tamta molekula dusíku se odráží od podlahy. Budete se starat hlavně o to, jestli vdechujete dostatečné množství vzduchu k uspokojení potřeb svého těla. Ale nejspíš vás bude zajímat ještě pár dalších věcí. Jistě by vás nepotěšilo, kdyby byla teplota vzduchu tak vysoká, že by vám spálil plíce. Také byste nebyli rádi, kdyby v něm panoval tak vysoký tlak (a vy byste ho mezitím nevyrovnali s tlakem vzduchu ve svých Eustachových trubíčkách), že by vám z něj praskly bubínky. Zajímá vás tedy objem vzduchu, jeho teplota a jeho tlak. Což jsou přesně tytéž makroskopické vlastnosti, o něž se zajímají fyzici od dob Maxwella a Boltzmannova až po dnešek.

V případě velkého souboru molekul v nádobě tudíž říkáme, že různá uspořádání „vypadají prakticky stejně“, pokud zaujímají

stejný objem, mají stejnou teplotu a působí stejným tlakem. Podobně jako u mincí také příbuzná uspořádání molekul sdružujeme do skupin a říkáme, že každý člen skupiny se nachází v téměř *makrostavu*. Entropií daného makrostavu je celkový počet uspořádání v odpovídající skupině. Za předpokladu, že právě nezapínáte topení (což by ovlivnilo teplotu), neinstalujete nějakou neprodyšnou přepážku (což by ovlivnilo objem) a nepumpujete dovnitř dodatečný kyslík (což by ovlivnilo tlak), náležitě všechna neustále se proměňující uspořádání molekul vzduchu, které poletují sem a tam po vašem pokoji, do téže skupiny – všechna vypadají prakticky stejně –, protože všechna vykazují přesně tytéž makroskopické vlastnosti, které právě pociťujete.

Sdružování částic do skupin příbuzného uspořádání je neobyčejně mocný nástroj. Stejně jako budou nahodile vysypané mince s větší pravděpodobností náležet do skupiny s větším počtem členů (s vyšší entropií), platí totéž i pro nahodile poletující částice. Toto přímočaré poznání má dalekosáhlé důsledky: ať se poletující částice nacházejí v parním stroji, ve vašem pokoji nebo kdekoli jinde, porozumíme-li typickým vlastnostem jejich nejběžnějších uspořádání (těch, která spadají do skupin s největším počtem členů), můžeme na jejich základě předpovídat makroskopické vlastnosti celé soustavy – tedy přesně ty vlastnosti, na kterých nám záleží. Jistě, jsou to vždy jen statistické predikce, ale s úžasně vysokou pravděpodobností přesnosti. A hlavní je, že toho všeho dosáhneme bez nepřekonatelně komplikované analýzy trajektorií absurdně velkého počtu částic.

Abychom vůbec mohli k predikcím přistoupit, musíme se nejprve naučit rozlišovat mezi běžnými uspořádáními částic (vysoká entropie) a těmi vzácnými (nízká entropie). Jinými slovy, musíme být schopni na základě daného stavu fyzikální soustavy odhadnout, jestli existuje hodně, nebo málo způsobů, jak přeskupit její prvky tak, aby celá soustava vypadala prakticky stejně. Jako případovou studii můžeme využít například vaši koupelnu, která je právě plná páry po dlouhém sprchování. Abychom určili entropii

páry, potřebujeme zjistit, kolik různých uspořádání molekul – tedy všechny možné pozice molekul se všemi možnými rychlostmi – má shodné makroskopické vlastnosti, tj. stejný objem, stejnou teplotu a stejný tlak.¹⁰ Matematické výpočty jsou u souboru molekul H_2O náročnější než obdobné výpočty u souboru mincí, ale většina vysokoškolských studentů fyziky je zvládne už v druhém ročníku. Přímočařejší, a také poučnější, však bude zjistit, jak objem, teplota a tlak kvalitativně ovlivňují entropii.

Nejprve objem. Představte si, že se poletující molekuly H_2O všechny stěsnaly v jednom koutě koupelny a vytvořily tu husté klubko páry. V tomto uspořádání se počet možných přeskupení molekul rázem drasticky snížil, protože se všechny molekuly mohou přesouvat jen v rámci tohoto klubka, jinak by pozměněné uspořádání vypadalo na první pohled jinak než to původní. Pro srovnání, když je pára rovnoměrně rozprostřená po celé koupelně, je hra molekul na škatulata mnohem méně omezená. Molekuly u toaletního stolku si mohou vyměnit pozici s těmi u světla, ty u sprchového závěsu s těmi u okna, a přece bude pára pořád vypadat prakticky stejně. Povšimněte si, že čím větší máte koupelnu, tím je v ní víc prostoru, do něhož se molekuly mohou rozprostřít, což zároveň zvyšuje počet možných přeskupení. Závěr je tedy ten, že menší a zhuštěnější uspořádání molekul mají nižší entropii, zatímco větší a rovnoměrně rozprostřená uspořádání mají entropii vyšší.

Dále teplota. Co na úrovni molekul rozumíme teplotou? Odpověď je dobře známá. Teplota je průměrná rychlost souboru molekul.¹¹ Věc je studená, když je průměrná rychlost jejich molekul nízká, a horká, když je jejich průměrná rychlost vysoká. Abychom zjistili, jak teplota ovlivňuje entropii, musíme vlastně zjistit, jak ji ovlivňuje průměrná rychlost molekul. A stejně jako v případě polohy molekul je po ruce kvalitativní hodnocení. Když je teplota páry nízká, možných změn molekulárních rychlostí bude poměrně málo: aby teplota zůstala neměnná – a všechna uspořádání tím pádem vypadala prakticky stejně –, je třeba každé zvýšení rychlosti jedné molekuly vyvážit odpovídajícím snížením rychlosti jiné. Problém při nízké

teplotě (nízké průměrné rychlosti molekul) je ten, že ke snižování rychlosti není mnoho prostoru, protože záhy narážíme na samé dno, nulu. Škála dostupných rychlostí je tudíž úzká a možnosti, jak změnit rychlosti molekul, omezené. Naproti tomu když je teplota vysoká, hra na škatulata se opět rozproudí: Při vyšším průměru se škála rychlostí – z nichž některé jsou vyšší než průměr a některé nižší – značně rozšíří, díky čemuž se nabízí více možností, jak rychlost jednotlivých molekul upravit, aniž by došlo ke změně průměru. A protože při vyšší teplotě lze rychlosti molekul uspořádat větším množstvím způsobů tak, aby celek pořad vypadal prakticky stejně, znamená to, že vyšší teplota jde obecně ruku v ruce s vyšší entropií.

A nakonec tlak. Tlak páry na vaši kůži nebo na stěny koupelny vzniká tím, jak poletující molekuly H_2O do zmíněných povrchů narážejí: dopad každé jednotlivé molekuly vytváří maličký tlak, proto čím větší počet molekul, tím větší celkový tlak. Za neměnné teploty i objemu je tedy tlak dán celkovým počtem molekul páry v koupelně, a jaký má tato veličina vliv na entropii, lze odhadnout velmi snadno. Když je v koupelně méně molekul H_2O (dali jste si kratší sprchu), znamená to méně možných uspořádání, a proto je entropie nižší; když je molekul H_2O více (dali jste si delší sprchu), znamená to více možných uspořádání, a proto je entropie vyšší.

Abychom to shrnuli: Máme-li méně molekul nebo nižší teplotu nebo menší objem, je výsledkem nižší entropie. Máme-li více molekul nebo vyšší teplotu nebo větší objem, je výsledkem vyšší entropie.

Po tomto krátkém výkladu bych rád zdůraznil jednu věc, která je při uvažování o entropii důležitá – není sice moc přesná, ale je to užitečné obecné pravidlo. Dá se očekávat, že se v životě budeme setkávat se stavy s vysokou entropií. Protože takových stavů lze dosáhnout velkým počtem různých uspořádání zúčastněných částic, jsou běžné, tuctové, snadno dostupné, nevýjimečné. Naproti tomu narazíte-li na stav s nízkou entropií, měl by upoutat vaši pozornost. Nízká entropie znamená, že existuje mnohem méně způsobů, jak mohl daný makrostav ze svých dílčích složek nastat, a proto jsou taková uspořádání vzácná, jsou nezvyklá, jsou často záměrně

naaranžovaná, jsou výjimečná. Když po dlouhém sprchování vylezeme ze sprchy a pára je rovnoměrně rozprostřená po koupelně: vysoká entropie a žádné překvapení. Když po dlouhém sprchování vylezeme ze sprchy a zjistíme, že se všechna pára shlukla do podoby dokonalé, nevelké krychle zavěšené před zrcadlem: nízká entropie a něco mimořádně nezvyklého. Dokonce tak nezvyklého, že kdybyste na takové uspořádání narazili, vnímali byste nejspíš vysvětlení, že jste se zkrátka stali svědky jedné z oněch velmi nepravděpodobných událostí, k nimž někdy může dojít, silně skepticky. Ano, takový stav skutečně mohl nastat sám od sebe. Ale vsadil bych boty, že nenastal. Stejně tak byste předpokládali, že těch sto mincí na jídelním stole, na nichž je všude panna, takto neleží samo od sebe, ale z nějakého důvodu (patrně proto, že někdo cíleně obrátil všechny, na nichž byl orel). Zkrátka u každého uspořádání s nízkou entropií, na které narazíte, byste měli pátrat po vysvětlení, protože nejspíš nevzniklo náhodou.

Tyto úvahy se vztahují i ke zdánlivě všedním věcem, jako když někde objevíte vejce, mraveniště nebo hrnek. Pravidelná, účelná povaha těchto uspořádání s nízkou entropií si žádá vysvětlení. Je sice teoreticky možné, že se ty pravé částice nahodilým pohybem shluknou právě do tvaru vejce, mraveniště nebo hrnku, ale je to silně nepravděpodobné. Namísto toho máme nutkání najít přijatelnější vysvětlení a samozřejmě nemusíme hledat dlouho: vejce, mraveniště i hrnek jsou výtvoři konkrétních forem života, které skládají jinak nahodilá uspořádání částic v prostředí do pravidelných struktur. K otázce, čím to je, že život dokáže vytvářet tak dokonalý řád, se vrátíme v pozdějších kapitolách. Nyní nám postačí jednoduché ponaučení, že uspořádání s nízkou entropií bychom měli vnímat jako znamení či náповědu, že za řádem, na který jsme narazili, se nejspíš skrývá nějaká mocná tvořivá síla.

Koncem devatenáctého století dospěl rakouský fyzik Ludwig Boltzmann, vyzbrojen těmito ideami, z nichž mnohé vzešly právě z jeho hlavy, k přesvědčení, že dokáže odpovědět na otázku, kterou jsme si položili v úvodu této rozpravy: Co odlišuje budoucnost od

minulosti? Jeho odpověď vycházela z jisté vlastnosti entropie, kterou vyjadřuje druhý zákon termodynamiky.

ZÁKONY TERMODYNAMIKY

Zatímco entropie a druhý zákon se těší velkému množství kulturních odkazů, o první zákon termodynamiky jeví veřejnost zájem mnohem menší. Přesto abychom plně porozuměli druhému zákonu, bude dobré se nejprve zaměřit na ten první. Vlastně i on je všeobecně dobře známý, jenže pod přezdívkou. Je to zákon zachování energie. Totéž množství energie, které máte na začátku určitého děje, budete mít i na konci. Je při tom samozřejmě třeba vést puntičkářské účetnictví a zahrnout všechny formy, do nichž se výchozí energie mohla přeměnit – ať už je to kinetická energie (energie pohybu), potenciální energie (uskladněná energie, jako třeba v natažené pružině), záření (energie nesená poli, například elektromagnetickým či gravitačním) nebo teplo (nahodilý neuspořádaný pohyb molekul a atomů). Pokud však všechno pečlivě zaznamenáte, první zákon termodynamiky zajišťuje, že bilance energie bude vyrovnaná.¹²

Druhý zákon termodynamiky se soustředí na entropii. Na rozdíl od prvního druhý zákon není zákonem zachování. Je zákonem růstu. Druhý zákon stanoví, že v průběhu času má entropie převažující tendenci narůstat. Jinými slovy, jedinečná uspořádání mají sklony měnit se v běžná uspořádání (vaše pečlivě vyžehlená košile se pomáčká), řád má sklony upadat do chaosu (vaše uklizená garáž se zvrhne v nepřehlednou změť nářadí, krabic a sportovního vybavení). Tyto příklady nám sice dokážou přiblížit, o čem hovoříme, ale Boltzmannovo statistické vyjádření entropie nám umožňuje popsat druhý zákon ještě přesněji, a co je stejně důležité, umožňuje nám jasně porozumět, proč je pravdivý.

V podstatě je to jen hra s čísly. Vraťme se opět k mincím. Pokud je pečlivě naaranžujeme tak, aby na všech byla panna, tedy do uspořádání s nízkou entropií, a potom s nimi trochu zatřeseeme, dá se předpokládat, že dostaneme alespoň několik orlů, tedy uspořádání

s vyšší entropií. Pokud s nimi zatřeseme ještě jednou, je možné, že se všechno vrátí do původního stavu a budeme mít jen panny, to by však vyžadovalo, aby třesení proběhlo konkrétním, přesně daným způsobem, při němž by se otočilo právě jen těch několik mincí, na kterých je teď orel. To je vysoce nepravděpodobné. Nesrovnatelně pravděpodobnější je možnost, že se při třesení obrátí náhodné mince. Některé z těch několika, na nichž byl orel, se mohou otočit zpátky na pannu, ale z těch, na nichž byla panna, se spousta dalších otočí na orla. I velmi prostá logika – žádná komplikovaná matematika, žádné přehnaně abstraktní představy – ukazuje, že pokud začneme se samými pannami, nahodilé třesení povede ke zvyšování počtu orlů. Jinými slovy, povede ke zvyšování entropie.

Vývoj směrem k vyššímu počtu orlů bude pokračovat, dokud nebude poměr panen a orlů zhruba 50:50. Od této chvíle se při každém zatřesení otočí zhruba stejný počet panen na orly jako orlů na panny, a tak se bude uspořádání mincí většinu času držet mezi členy nejpočetnějších skupin s nejvyšší entropií.

Co platí pro mince, platí i pro všechno ostatní. Když budete péct chleba, můžete se spolehnout, že se jeho vůně zakrátko roznese i do pokojů daleko od kuchyně. Zpočátku jsou molekuly uvolněné při pečení chleba nashromážděné v těsném okolí trouby. Postupně se však začnou šířit do prostoru. Z podobného důvodu, který platil pro mince: existuje mnohem více způsobů, jak se molekuly mohou šířit, než způsobů, jak mohou zůstat shromážděné na jednom místě. Je proto mnohem pravděpodobnější, že se nahodilým poletováním a odrážením začnou rozptylovat, než že zůstanou pohromadě. Uspořádání molekul kolem trouby má nízkou entropii, proto přirozeně začne přecházet do stavu s vysokou entropií, kdy jsou molekuly rozptýlené po celém domě.¹³

Abychom to řekli ještě obecněji: pokud se fyzikální soustava zatím nenachází ve stavu nejvyšší možné entropie, je velice pravděpodobné, že se bude tímto směrem vyvíjet. Vysvětlení, jak jsme viděli na příkladu s vůní chleba, vychází z velmi prosté úvahy: protože různých uspořádání s vyšší entropií je mnohem více než těch s nižší

entropií (což vyplývá ze samotné definice entropie), je mnohem pravděpodobnější, že nahodilé pohyby – neúnavné postrkování a těkání atomů a molekul – povedou soustavu k vyšší entropii, a ne nižší. Tento vývoj bude pokračovat, dokud nezískáme uspořádání s nejvyšší možnou entropií. Od tohoto okamžiku už se jednotlivé prvky soustavy budou nahodile přesouvat jen v rámci (obvykle) nesmírného počtu uspořádání s nejvyšší entropií.¹⁴

Právě to je druhý zákon termodynamiky. A právě proto platí.

ENERGIE A ENTROPIE

Předešlý výklad by vás mohl vést k závěru, že první a druhý zákon spolu nemají nic společného. Koneckonců první se zabývá energií a jejím zachováním a druhý entropií a jejím růstem. Přesto mezi nimi existuje hluboké pouto, které podtrhuje jistou skutečnost vyplývající z druhého zákona, k níž se budeme opakovaně vracet: ne všechny druhy energie jsou si rovny.

Představte si například tyčku dynamitu. Protože veškerá energie obsažená v dynamitu je spoutaná v pevném, kompaktním, úhledném chemickém balení, je snadno použitelná. Stačí dynamit umístit tam, kde chceme energii uvolnit, a pak zapálit roznětku. A je to. Po výbuchu veškerá uvolněná energie nadále existuje. To je dáno prvním zákonem. Ale protože se přeměnila v rychlý a chaotický pohyb částic rozptýlených ve velkém prostoru, bylo by teď nesmírně těžké ji znovu spoutat. A tak ačkoli celkové množství energie se nezměnilo, její povaha ano.

Před výbuchem říkáme o energii dynamitu, že má vysokou kvalitu: je koncentrovaná a snadno přístupná. Po výbuchu o ní říkáme, že má nízkou kvalitu: je rozptýlená a obtížně využitelná. A protože výbuch dynamitu se poslušně řídí druhým zákonem, od řádu k chaosu – od nízké entropie k vysoké –, spojujeme nízkou entropii s energií vysoké kvality a vysokou entropii s energií nízké kvality. Ano, já vím. Jedno je vysoké, druhé nízké, není snadné se v tom zorientovat. Závěr je však jednoznačný: zatímco první zákon termodynamiky

říká, že množství energie se v průběhu času nemění, druhý zákon říká, že kvalita energie se v průběhu času zhoršuje.

Proč se tedy budoucnost liší od minulosti? Vzhledem k tomu, co jsme si právě vyvodili, odpověď zní, že budoucnost je poháněna energií nižší kvality, než jakou byla poháněna minulost. Budoucnost má vyšší entropii než minulost.

Nebo to tak přinejmenším tvrdil Boltzmann.

BOLTZMANN A VELKÝ TŘESK

Boltzmann byl rozhodně na správné cestě. Druhý zákon však potřebuje drobné upřesnění a po pravdě řečeno i Boltzmannovi nějakou dobu trvalo, než plně docenil jeho důsledky.

Druhý zákon není zákonem v tradičním smyslu. Druhý zákon netvrdí, že se entropie *nemůže* snižovat. Říká jen, že je takové snížení nepravděpodobné. U mincí jsme si to vyčíslili. Oproti jedinému konkrétnímu uspořádání se samými pannami je sto miliard miliard miliardkrát pravděpodobnější, že po nahodilém zatřesení získáme libovolné uspořádání s padesáti pannami a padesáti orly. Pokud tímto uspořádáním s vysokou entropií zatřeseme znovu, není vyloučeno, že získáme uspořádání s nižší entropií, jako třeba samé panny, ale vzhledem k silně nevyrovnanému poměru pravděpodobností se to v praxi nestává.

U všedních fyzikálních soustav tvořených mnohem více než stovkou prvků je šance, že by se entropie snížila, ještě mizivější. Při pečení chleba se uvolňuje mnoho miliard molekul. Uspořádání, v nichž se tyto molekuly šíří po domě, jsou drasticky početnější než ty, v nichž se houfně stahují zpátky k troubě. Molekuly by se při svém nahodilém postrkování a poskakování sice mohly vydat ve vlastních stopách zpátky k bochníku, obrátit celý proces pečení naruby a zanechat vám v troubě hroudu studeného, syrového těsta, ale pravděpodobnost, že se něco takového stane, je ještě blíže nule než pravděpodobnost, že nahodilým plácáním barvy na plátno vytvoříte kopii *Mony Lisy*. Přesto je důležité mít na paměti, že kdyby

k takovému ději snižujícímu entropii došlo, neznamenalo by to se-
bemenší porušení fyzikálních zákonů. I když je to nesmírně neprav-
děpodobné, fyzikální zákony umožňují, aby se entropie snižovala.

Nevykládejte si to chybně. Vůbec tím nechci naznačovat, že jed-
noho dne „odpečeme“ chleba nebo budeme svědky toho, jak se na-
bourané auto samo opraví či shořelý papír znovu povstane z popela.
Chci jen zdůraznit jednu důležitou zásadu. Mluvil jsem tu o tom, že
z pohledu fyzikálních zákonů jsou si budoucnost a minulost rovný.
Fyzikální zákony zajišťují, aby děje, které probíhají v jednom časo-
vém sledu, mohly proběhnout i v opačném. A jelikož tytéž zákony
řídí úplně všechno, včetně fyzikálních procesů zodpovědných za
to, jak se v průběhu času mění entropie, bylo by skutečně zvlášť-
ní, ba přímo absurdní, kdybychom zjistili, že tyto zákony umožňují
pouze nárůst entropie. Neumožňují. Všechny procesy, při nichž se
zvyšuje entropie a jichž jste celý život denně svědky – od těch bezvý-
znamných, jako je rozbití skleničky, až po ty zásadní, jako je tělesné
stárnutí –, mohou probíhat i opačně. Entropie může klesat. Jen je to
neuvěřitelně nepravděpodobné.

Co to přesně znamená pro naše pátrání po odpovědi na otázku,
proč se budoucnost liší od minulosti? Inu, vzhledem k tomu, že dneš-
ní uspořádání vesmíru nedosahuje maximální entropie, podle
druhého zákona je silně pravděpodobné, že se budoucnost bude li-
šit, protože entropie se s téměř naprostou jistotou bude zvyšovat.
Všechna uspořádání hmoty s nižší než maximální možnou entropií
pracují na tom, aby svou entropii zvýšila. A po tomto poznání si ně-
kteří pátrači po rozdílu mezi minulostí a budoucností už mnou ruce
v domnění, že svůj úkol splnili.

Jenže ho zatím nesplnili. Je neméně důležité najít vysvětlení pro
skutečnost, že se dnes nacházíme v tak jedinečném, nepravděpo-
dobném, překvapivém stavu nižší než maximální entropie – ve
vesmíru plném pravidelných struktur od planet a hvězd až po pávy
a lidi. Kdyby tomu tak nebylo, kdyby dnešní uspořádání bylo oče-
kávaným, běžným, nepřekvapivým stavem maximální entropie,
potom by vesmír s velkou pravděpodobností v tomto stavu setrval